



Plan de trabajo

Análisis de Riesgo Ambiental en Bahía San Jorge, Antofagasta

Octubre 2018

CONTROL DEL DOCUMENTO			
Versión	Fecha	Elaborado por	Aprobado por
0	30/08/2018	Diego Arce Patricio Bahamondes José María Peralta	José María Peralta Manuel Contreras
1	09/10/2018	Diego Arce Patricio Bahamondes	José María Peralta Manuel Contreras

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	ÁREA DE ESTUDIO	4
3	OBJETIVOS	5
3.1	Objetivo general.....	5
3.2	Objetivos específicos	5
4	METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL ESTUDIO	5
5	ACTIVIDADES POR OBJETIVO.....	8
5.1	Actividades a desarrollar OE-0.....	8
5.2	Actividades a desarrollar OE-1.....	8
5.3	Actividades a desarrollar OE-2.....	11
5.4	Actividades a desarrollar OE-3.....	14
5.5	Actividades a desarrollar OE-4.....	51
5.6	Actividades a desarrollar OE-5.....	54
6	RESUMEN DE ACTIVIDADES	57
7	RESUMEN DE PRODUCTOS, SUBPRODUCTOS Y RESULTADOS	58
8	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	61
9	CALENDARIO DE INFORMES, CONTENIDOS Y FECHAS DE ENTREGA	65
10	EQUIPO PROFESIONAL.....	66
11	ANEXO: METODOLOGÍAS DE MUESTREO ESTACIONAL DE CALIDAD DE AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA	69
11.1	Metodología muestreo y análisis de la columna de agua	73
11.2	Metodología muestreo sedimento submareal e intermareal	75
11.3	Metodología muestreo y análisis comunidades planctónicas.....	77
11.4	Metodología muestreo y análisis comunidades bentónicas	81
11.5	Metodología muestreo y análisis ictiofauna.....	84
11.6	Metodología análisis de metales e hidrocarburos en biota	85
12	BIBLIOGRAFÍA.....	86
12.1	Bibliografía según bases.....	86
12.2	Bibliografía complementaria	88

1 INTRODUCCIÓN

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

Las actividades han sido categorizadas en base a los objetivos específicos del estudio de la propuesta del consultor: 1) Caracterización en base a estudios previos, 2) Conceptualización y diagnóstico de la situación de la bahía, 3) Evaluación del riesgo ecológico y para la salud humana, 4) Medidas de manejo 5) Difusión del estudio. Esta categorización de actividades es similar a la utilizada en estudios de similares características que ha desarrollado el Centro de Ecología Aplicada en Bahía Quintero (Región de Valparaíso), Bahía Coronel (Región del Bio Bio) y Bahía Mejillones del Sur (Región de Antofagasta). La experiencia en estos estudios muestra que el trabajo con la comunidad, antes, durante y en forma posterior al desarrollo de iniciativas que buscan resolver problemas complejos, es una estrategia necesaria para identificar adecuadamente las causas y responsables, asegurar resultados perdurables, continuidad de las iniciativas y satisfacción del conjunto (mandante-actores-ejecutor) que está involucrado en el estudio o proyecto. Ese modelo de trabajo, de tipo colaborativo, donde se mezclan posiciones, intereses, opciones y criterios objetivos permite generar acuerdos y propuestas mejores que las logradas sin acuerdo previo. Es por lo anterior, que cada una de las actividades es desarrollada en conjunto con todos los actores, que permitan identificar de forma consensuada los niveles de impacto ambiental que puedan existir en bahía San Jorge.

2 ÁREA DE ESTUDIO

La zona que comprende el estudio se localiza en la comuna de Antofagasta, específicamente en la Bahía San Jorge, entre los sectores de Punta Jorge y Punta Coloso, entre las coordenadas 334.708 E y 7.399.428 N, y 349.927 E y 7.371.645 N. (Figura 3.1.1). El estudio cubre toda la bahía de San Jorge (cerca de 307 km²), incluyendo columna de agua, sedimentos y su biota.

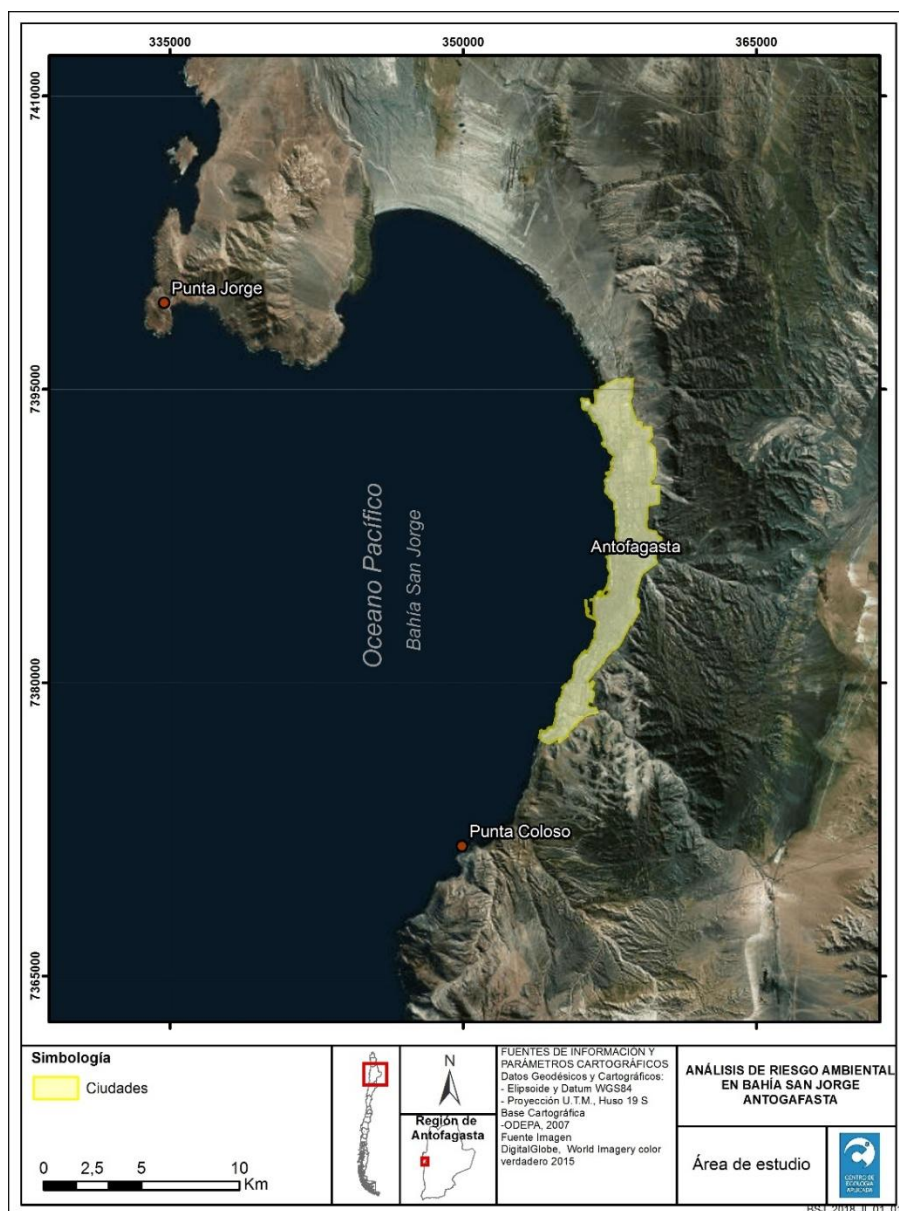


Figura 3.1.1 Ubicación geográfica de la bahía San Jorge, Región de Antofagasta.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

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

3.2 Objetivos específicos

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

4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

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

- a) Recopilar y sistematizar toda la información existente
- b) Definir un modelo conceptual de los elementos potencialmente contaminantes en las matrices ambientales.
- c) Identificar del peligro: determinar los contaminantes que, atendiendo a sus propiedades puedan suponer un riesgo al ecosistema.
- d) Evaluar la exposición: determinar la concentración ambiental esperada (PEC). Establecer los mecanismos por los cuales los agentes pueden llegar a alcanzar a los receptores según su exposición.
- e) Evaluar el efecto: determinar la concentración sin efecto ecológico probable (PNEC) del xenobiótico presente en el ecosistema, con tal que no genere un efecto inaceptable sobre el sistema ecológico.
- f) Caracterizar el riesgo: con la determinación del PEC y PNEC se deberá caracterizar el riesgo, a través del cociente de riesgo (RQ).

- g) Proponer medidas de gestión: una vez determinado el nivel de riesgo al que están expuestos lo habitantes del área de estudio y del ecosistema, se identificarán y propondrán medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo.
- h) Elaborar una cartera de proyectos de acuerdo con los resultados del estudio, con acciones destinadas a prevenir efectos ambientales adversos de origen antrópico y/o remediar sitios con presencia de contaminantes.

Estas actividades son reestructuradas a una serie de etapas o procesos, donde además se han incorporado un conjunto de nuevas actividades que complementan el estudio y sus resultados. Las 8 actividades principales se pueden identificar en la columna 1 de la Figura 3.2.1 con su letra respectiva y en la segunda columna se indican las actividades propuestas.

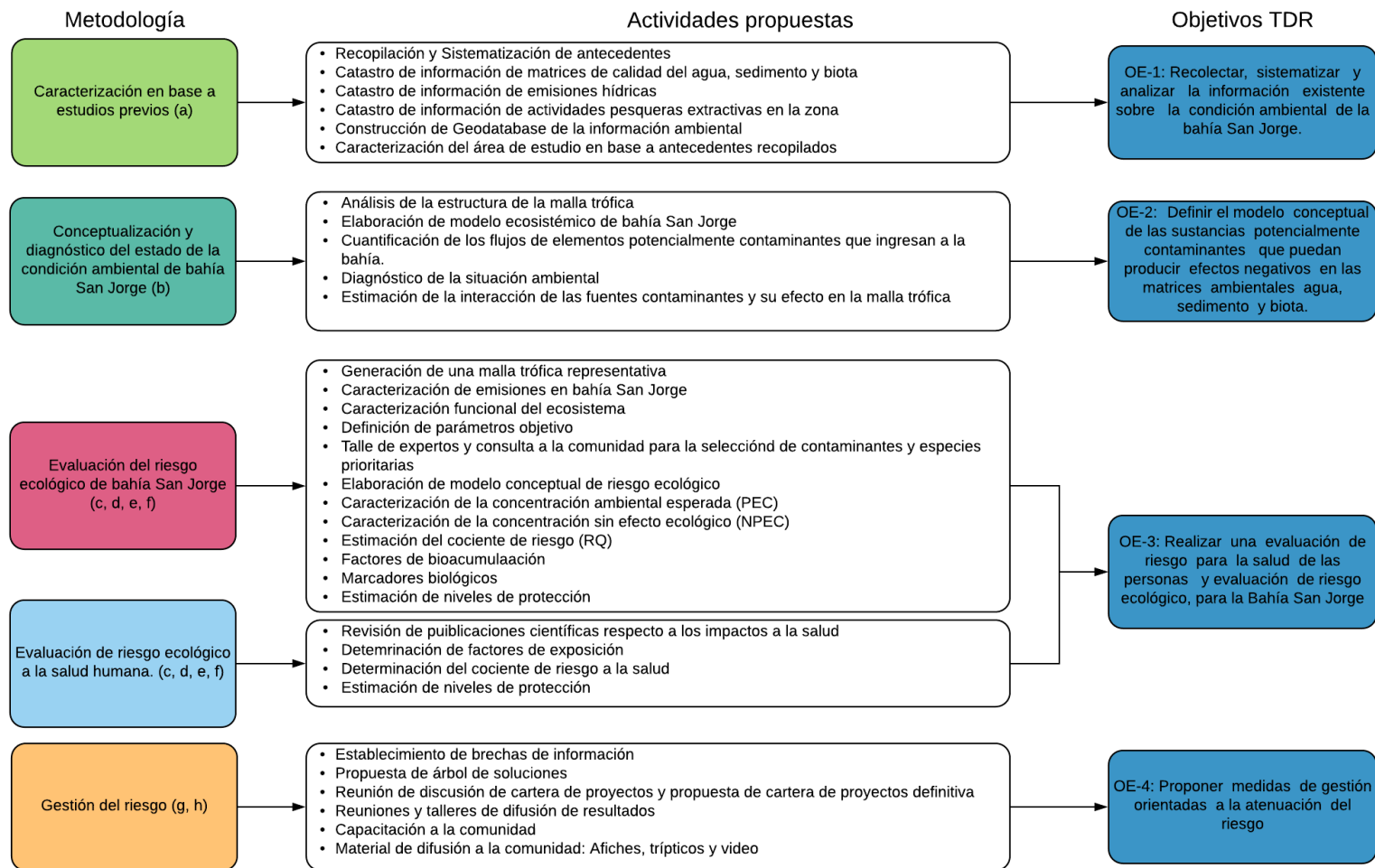


Figura 3.2.1 Metodología propuesta para dar cumplimiento a los OE del proyecto. (Entre paréntesis se indica la actividad de acuerdo con las actividades identificadas en las bases técnicas).

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

5 ACTIVIDADES POR OBJETIVO

5.1 Actividades a desarrollar OE-0

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

El presente objetivo específico cuenta con una sola actividad, que corresponde al ajuste metodológico y al desarrollo de un Plan de Trabajo y Metodología ajustada, en acuerdo con la contraparte técnica. El presente documento da cuenta de este objetivo.

Paralelamente a la ejecución de este objetivo, y aplicando la estrategia de involucramiento de los actores del territorio, el proponente desarrollará una identificación y categorización de los actores locales. Se considerarán las comunidades locales, mientras que los actores secundarios, serán aquellos que tienen incidencia en los procesos de gestión, fiscalización y control de los servicios ecosistémicos que provee el sistema marino (servicios públicos con presencia local y regional).

Posterior a esta identificación, se realizarán reuniones y acercamientos con la comunidad en el territorio (actores clave), de forma tal de poder transmitir los objetivos y las actividades propuestas y comprometidas con el proyecto. A partir de estas reuniones y en base a acuerdos surgidos desde la exposición de parte de la comunidad de sus percepciones e intereses, se propone la generación opcional de un **Plan de Trabajo Definitivo y Metodología Ajustada Modificado (PTDMAM)**, el cual deberá ser vinculante al desarrollo del proyecto y reemplazar el Plan de Trabajo y Metodología Ajustada entregado según las bases técnicas de licitación.

5.2 Actividades a desarrollar OE-1

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

Para cumplir este objetivo se recopilará toda la información ambiental disponible, así como los instrumentos normativos, considerando para ello, entre otros, los organismos públicos competentes, empresas privadas emplazadas en el sector, centros académicos e

investigación, etc., la cual será sistematizada y analizada desde la perspectiva del objetivo general del estudio. Este OE responde directamente a la actividad (a) descrita en las bases técnicas del estudio.

En primer lugar, se efectuará una revisión detallada del estudio “Levantamiento de información para el control ambiental de la bahía de San Jorge” (Valdés et al, 2012), a modo de rescatar la recopilación e identificación de muestreos realizados tanto por las entidades públicas como privadas, retomar esta base de datos y actualizarla con información a la fecha.

En segundo lugar, se realizará una revisión exhaustiva de las matrices ambientales de agua, sedimento y biota que pudieren encontrarse adicional al estudio anterior, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de la bahía.

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

Por último, y a modo de analizar el riesgo a la salud de la población, se recopilará información asociada a las actividades pesqueras extractivas de la zona.

Dados los puntos anteriores, se recopilarán las siguientes bases de datos que guarden relación con la zona de estudio:

- i) Estudios de Impacto Ambiental (EIA), Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) existentes en la zona del estudio;
- ii) Programas de Vigilancia Ambiental (PVAs) de las empresas;
- iii) Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) de la DIRECTEMAR;
- iv) Registros de fiscalizaciones y monitoreos de emisiones hídricas la SISS, SMA y Autoridad Sanitaria;
- v) Informes de estudios que recogen la sistematización de los datos anteriores (PVAs, POAL, monitoreos, etc.); Acuerdos de Producción Limpia (APL) que tengan incidencia en el área y componentes involucrados en el estudio;
- vi) Publicaciones científicas y estudios técnicos desarrollados por Organismos Públicos, Universidades y Privados;
- vii) Imágenes satelitales de libre acceso, que sean un aporte a nivel regional de ciertos parámetros sobre la zona de estudio;
- viii) Información proporcionada por el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC);
- ix) Registro del Servicio Nacional de Pesca, particularmente el catastro de actividades pesqueras extractivas de bahía de San Jorge.
- x) Antecedentes recopilados de los análisis y resultados de estudios aportados por la Contraparte Técnica;

- xi) Denuncias llevadas a cabo por la ciudadanía respecto al área y componentes del estudio;
- xii) Estudios e investigaciones realizados en la bahía de San Jorge;
- xiii) Estudios de casos en bahías de similares características;
- xiv) Otro tipo de información que contribuya para la caracterización física, química y biológica de la bahía.

La información recopilada y sistematizada será incorporada en un sistema de base de datos (geodatabase) y analizada utilizando herramientas cuantitativas de tipo estadística descriptiva e inferencial, según sea el caso y, en forma cualitativa, para ser finalmente vaciada en los informes respectivos.

Lo anterior incluirá una comparación de los valores de la normativa nacional e internacional de referencia, además de parámetros de otras bahías de similares características también influenciadas por los fenómenos de surgencia característicos del lugar.

Esta base de datos contendrá información de cada una de las descargas con incidencia en la bahía e información disponible por matrices ambientales agua, sedimento y biota, información que se entregará actualizada.

Asimismo, se incorporará toda la información de otras fuentes que contribuyan a la contaminación del medio ambiente marino, sin perjuicio que ellas estén reguladas y sean periódicamente fiscalizadas.

Con la información de especies y/o grupos funcionales del lugar, se procederá a la confección de una malla trófica representativa de la zona de estudio. Esto permitirá efectuar un análisis de bioacumulación en conjunto con muestreos en tejido de organismos, lo cual permitirá evaluar el riesgo ecológico y a la salud humana desde un punto de vista integrado.

La totalidad de la información recopilada y sistematizada sobre estudios, monitoreos o cualquier otro antecedente de importancia sobre la bahía San Jorge, será entregada en un informe aparte con sus anexos respectivos. Tales anexos incluirán un geodatabase de las matrices de datos sistematizadas, en conjunto con planillas Excel para su posterior análisis.

Luego, las actividades propuestas a desarrollar serán las especificadas en la Tabla 5.2.1.

Tabla 5.2.1 Actividades, productos y resultados asociados al OE-1 del presente estudio.

Actividad	Duración de la actividad	Producto o resultado esperado	Tipo de resultado
Recopilación de la información ambiental disponible de la bahía San Jorge.	140 días	Antecedentes bibliográficos identificados y recopilados, estudios anteriores, informes técnicos o cualquier antecedente sobre la bahía San Jorge.	Intermedio
Sistematización de la información ambiental disponible de la bahía San Jorge.	40 días	Información ambiental de la bahía San Jorge sistematizada en planillas Excel.	Intermedio
Construcción de una geodatabase con la información ambiental de la bahía San Jorge.	50 días	Geodatabase de la información ambiental.	Final
Caracterización del área de estudio en base a los antecedentes recopilados	90 días	Informe consolidado sobre la recopilación, sistematización y análisis de todos los antecedentes de Bahía San Jorge	Final

5.3 Actividades a desarrollar OE-2

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

Considerando la información recopilada, sistematizada y analizada para el objetivo anterior puntualmente las fuentes emisoras, tanto puntuales como difusas presentes en el área de estudio y los potenciales contaminantes relevantes asociados a ellas, se elaborará un modelo conceptual preliminar de la incidencia de la contaminación en las matrices ambientales (agua, sedimento y biota). Para esto, se considerarán las características físico-químicas de los potenciales contaminantes, y los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan la transformación y el transporte de potenciales contaminantes desde la fuente hasta los medios ambientales.

Se propone desarrollar un modelo conceptual ecosistémico que describa e integre las emisiones que son descargadas en la bahía y su relación con las características ecológicas de la biota marina. Este modelo describirá los flujos de materiales y su mezcla en los

compartimentos principales del sistema; agua, sedimento y biota, de forma tal de analizar su interacción dinámica con las cadenas tróficas del ecosistema marino y la población humana. La Figura 5.3.1 muestra el modelo conceptual genérico a utilizar que asocia fuentes contaminantes, vías y componentes ecológicos del ecosistema de la bahía de San Jorge.

El modelo conceptual será validado por el Ministerio del Medio Ambiente, a través de oficio emitido por la Sección de Recursos Naturales, Residuos y Evaluación de Riesgo de la SEREMI del Medio Ambiente de la región de Antofagasta, basados en la metodología propuesta por la Agencia de Protección de EEUU (EPA).

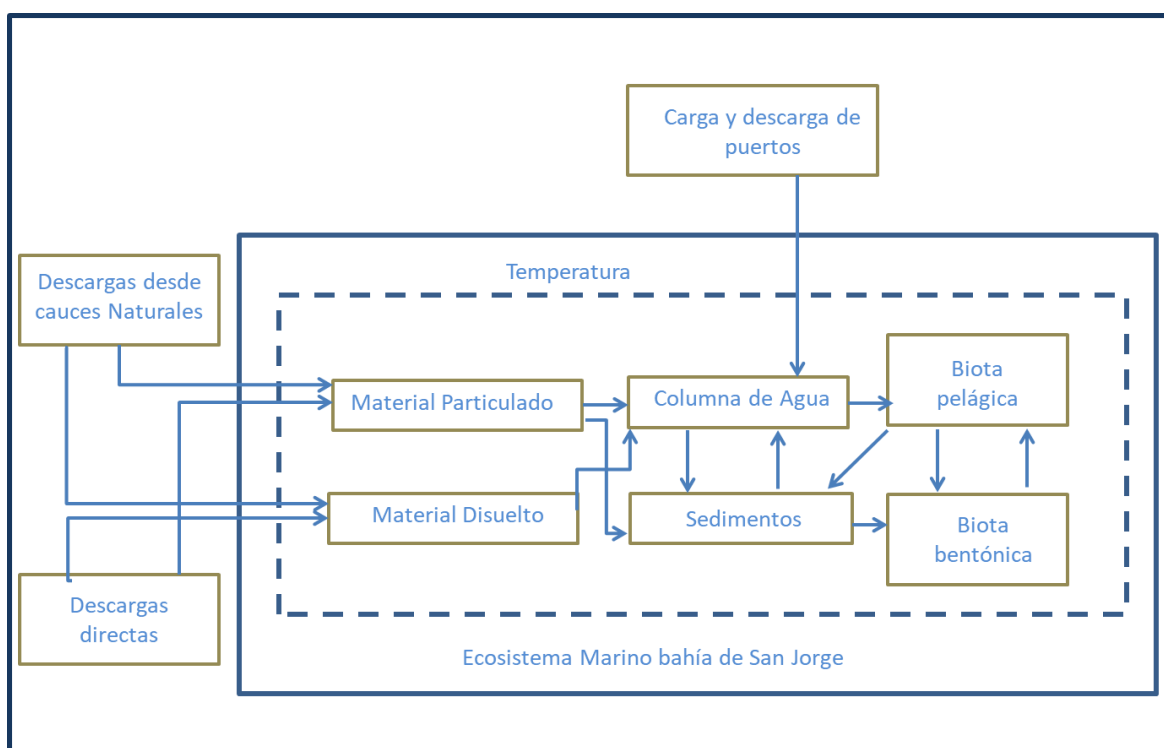


Figura 5.3.1 Modelo conceptual genérico preliminar de fuentes contaminantes, vías y componentes ecológicos del ecosistema de bahía de San Jorge

Algunas de las propiedades físico-químicas de los contaminantes que serán consideradas para el análisis son: densidad, solubilidad en agua y otros solventes, coeficiente de partición n-octanol-agua ($\log K_{ow}$), entre otras; propiedades que permitirán estimar la biodisponibilidad, movilidad y persistencia de las sustancias en el ambiente y orientar el estudio hacia aquellos analitos que efectivamente pueden estar impactando

negativamente a las matrices ambientales, y por tanto en el ecosistema y en la salud humana.

El resultado de esta etapa es un modelo conceptual que describirá la coexistencia de varias fuentes de compuestos contaminantes provenientes de diversas fuentes, su eventual mezcla en los diversos compartimentos ambientales y una estimación de su interacción dinámica y efecto diferencial en las tramas tróficas del ecosistema marino.

Este modelo será complementado con información de los monitoreos que se realizarán en la Etapa 3 de este estudio.

Dado lo anterior, las actividades a desarrollar serán las especificadas en la Tabla 5.3.1 y los resultados esperados y/o productos son los siguientes, para este objetivo:

Tabla 5.3.1 Actividades, productos y resultados asociados al objetivo 2 del presente estudio.

Actividad	Duración de la actividad	Producto o resultado esperado	Tipo de resultado
Análisis de la estructura de la malla trófica de la bahía de San Jorge y definición de modelo conceptual preliminar	60 días	Estructura histórica de la malla trófica de la zona de estudio	Intermedio
Cuantificación de los flujos másicos de elementos contaminantes, principalmente ETM's, hacia la bahía de San Jorge	60 días	Flujos másicos de los principales contaminantes que impactan la bahía de San Jorge	Intermedio
Cuantificación de la evolución histórica de la extracción de la zona de estudio.	50 días	Extracción histórica de la bahía de San Jorge	Intermedio
Conceptualización y diagnóstico del estado actual del sitio en estudio	20 días	Modelo conceptual ecosistémico definido	Final
Estimación de la interacción de las fuentes contaminantes y su efecto en la malla trófica	15 días	Efecto de la contaminación en las mallas tróficas, estimado.	Final

5.4 Actividades a desarrollar OE-3

OE3: Realizar una evaluación de riesgo para la salud de las personas y evaluación de riesgo ecológico, para la Bahía San Jorge.

Para desarrollar una evaluación de riesgo ecológico y para la salud de las personas, es necesario realizar una serie de etapas secuenciales. Para cumplir este objetivo se propone un enfoque metodológico orientado a identificar agentes contaminantes que tengan un real efecto sobre el ecosistema y sobre la salud humana. Sin embargo, una de las dificultades del estudio es la articulación de una Evaluación de Riesgo Ecológica (ERE) y un análisis de riesgo a la salud humana (ERS). La Figura 5.4.1 da cuenta de los pasos clave para el desarrollo de estas dos evaluaciones.

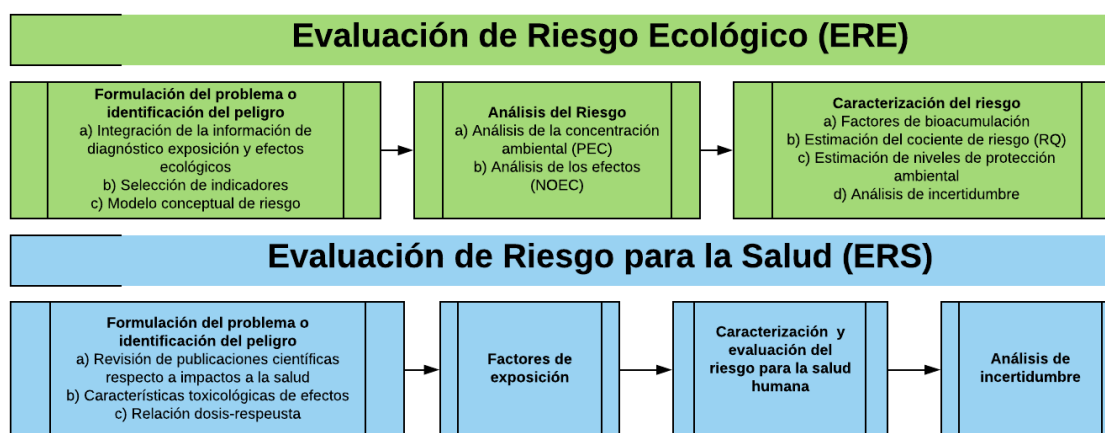


Figura 5.4.1 Esquema metodológico base de la Evaluación de Riesgo Ecológico y para la Salud.

Para lograr integrar ambos análisis es conveniente recordar las similitudes y diferencias.

Similitudes

- Estructura similar; ambos tipos de evaluación riesgo consisten en una formulación del problema, evaluación de incidentes, evaluación de exposición y caracterización del riesgo.
- Ambos pueden usar modelos para estimar la exposición de los receptores (i.e., la evaluación de riesgo de salud humana evalúa la exposición a las personas vía ingestión, inhalación, contacto dérmico; mientras que la evaluación de riesgo ecológico puede evaluar exposición a animales terrestres vía ingestión).
- Ambos comparan medidas de concentraciones ambientales de químicos contra guías de calidad ambiental en la fase de formulación del problema.

Diferencias

- La *evaluación de riesgo de salud* está normalmente relacionada con la protección de la vida de **seres humanos individuales**. La *evaluación de riesgo ecológico* está más relacionada con **poblaciones de organismos** (i.e., especies individuales de peces en el mar o la integridad ecológica).
- Los modelos de exposición en evaluación de riesgo ecológico son similares a los modelos de exposición en evaluación de riesgos en salud humana, pero solamente consideran vías de **ingestión para los animales**. El mismo modelo también considera rango de forrajeo para los animales.

Por otro lado, las metodologías para una ERE han evolucionado dado que ha sido necesario obtener respuestas a distintos niveles de organización biológica y ecológica (especies; organismos, poblaciones, comunidades, ecosistemas), en distintos tipos de ambientes (bosques, ríos, lagos, borde costero, ecosistemas marinos, etc.) (Chen et al 2013).

Originalmente, el foco principal del ERE fue el ingreso de tóxicos químicos a los ecosistemas y la evaluación se realizaba sobre la base de conocimiento existente y las técnicas analíticas de la biología, química ambiental y ecotoxicología (Bartell et al., 1999). Actualmente, las perturbaciones y otros incidentes exógenos tales como especies invasoras, proyectos de ingeniería, desastres naturales, derrames de petróleo, son abordados con ERA. De acuerdo con lo anterior, la descripción del ERE ha sido renovada, basado en la propuesta de trabajo de la USEPA (1992) y muchos índices y modelos mecanicistas se han desarrollado como técnicas de evaluación desde entonces (Jakson et al 2000; Suter 20001, Dale et al 2008).

Es importante destacar, que los modelos no son estandarizados, sino que son aproximaciones en la búsqueda de respuestas a preguntas en sistemas complejos como son los ecosistemas. Recientemente, se ha hecho una revisión del estado del arte del ERE y se han clasificado los tipos de modelos utilizados en un enfoque de **basado en sistemas** (Chen et al 2013) que ha reconocido tres tipos:

- modelos basados en mallas tróficas;
- modelos basados en ecosistemas;
- modelos socio-ecológicos.

En la Tabla 5.4.1 se muestran los distintos aspectos de las clases de modelos indicados.

Tabla 5.4.1 Comparación de diferentes aspectos de tres tipos de modelos de ERA basados en sistemas. **Fuente:** Chen et al, 2013.

Aspecto	Malla trófica	Ecosistema	Socio-ecológica
Escala de Aplicación	Desde poblaciones específicas a la	Componente biótico tanto como hábitat abiótico	Sistema interface de componentes ecológico y social

Aspecto	Malla trófica	Ecosistema	Socio-ecológica
	totalidad de la comunidad.		
Pregunta Objetivo	¿Ocurrirá la extinción de alguna especie o suceden cambios en la productividad?	¿Cómo responden los ecosistemas a la perturbación súbita por alteración de su estructura y patrón de funcionamiento?	¿Cómo interactuará el sistema ecológico y social con cada uno de los otros después de una actividad humana y cuáles serán los costos y beneficios?
Aproximación Matemática	Análisis de mallas tróficas, trazado de flujo de nutrientes, análisis biológico y fisiológico	Análisis de Flujo Ambiental, Análisis de función ecosistémica, umbrales ecológicos	Modelos costo-beneficios integrados, observaciones ecológicas de largo plazo, análisis social
Compartimento Ambiental	Especies locales (susceptibles y en peligro)	Componentes Bióticos y factores ambientales (luz solar, agua, suelo, sedimentos, etc.)	Todos los factores ambientales e interés social asociado
Entrada de datos	Biomasa, predación, respiración, calidad del agua, estresores cuantitativos	Diversidad y producción poblacional y comunitaria; flujos ambientales cuantitativos	Gradiente de impacto ecológico, factores ambientales cuantificados, actitudes y preferencias sociales
Dificultad de Aplicación	El riesgo puede ser disminuido y controlado con un buen modelo ERA	Riesgo difícil de prevenir y manejar por el uso de un único indicador y modelo	Esta considera el esfuerzo de ecólogos, ingenieros y científicos sociales para hacer una base para tomar decisiones de modo informado.

En Chile, se ha usado el **análisis de mallas tróficas** como una base para entender los impactos de un contaminante, como el cobre, en un ecosistema intermareal de Chañaral (Ramos-Jiliberto, et al 2011). La aproximación de análisis de redes ecológicas, específicamente de redes o mallas tróficas, constituye un avance hacia la comprensión de los mecanismos subyacentes en la alteración de ecosistemas por el hombre y permite identificar especies que pueden servir como puntos focales para el manejo y restauración de comunidades. De acuerdo a la clasificación de Chen et al (2013), la aproximación realizada en Chañaral, corresponde a un modelo *basado en sistemas del tipo malla trófica*.

En esta propuesta, el ERE se encuentra integrado a través del diseño del estudio, con modelos de mallas tróficas, análisis de bioacumulación, modelo oceanográfico y con el ERS. Esto indica que el modelo propuesto es basado en *mallas tróficas*, pero incorporando

algunos aspectos *ecosistémicos* y *socio-ecológicos*. No obstante, la metodología para ERE y ERS deben describirse separadamente, dado que, si bien presentan similitudes, el enfoque ecológico requiere de un análisis más extenso y no específico de una sola especie como es el caso del riesgo a la salud humana, por lo tanto, a continuación se presenta en primer lugar la metodología del ERE, para luego dar paso a la metodología de la ERS.

5.4.1 Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE)

Para el desarrollo del ERE se propone un enfoque metodológico orientado a identificar especies o grupos funcionales que presenten alguna afectación a ciertos agentes potencialmente contaminantes en el sistema.

Para lograr lo anterior, resulta importante recabar información adicional al monitoreo ambiental de los parámetros fisicoquímicos de las matrices ambientales agua-sedimento y biota, procedimiento que se desarrolla en el OE-1. Adicionalmente se debe analizar las fuentes, por lo que es necesario recabar información de las emisiones fijas que actualmente suceden en Bahía de San Jorge.

En primer lugar, se estimará el ingreso de las cargas máxicas totales de contaminantes que ingresan al ecosistema a través de la información de RILes en la zona de estudio, de modo tal de identificar cuáles son las mayores tasas de ingreso y su procedencia. Lo anterior permitirá dar paso a las medidas de gestión necesarias para mitigar posibles problemas de contaminación hídrica en la bahía.

En segundo lugar, se efectuará una recopilación relacionada a caracterizar la malla trófica en el área de estudio, que permita conocer las características de las especies o grupos funcionales locales, que permitan tener un conocimiento acabado de los organismos objetivo que se desee proteger.

El objetivo principal de un ERE (o ERA en sus siglas en inglés) es buscar la posible existencia de un riesgo al ecosistema por medio del análisis de tres factores que determinan si existe o no un riesgo: una fuente o presión ambiental, una vía de exposición, y un posible receptor. Si uno de estos elementos no existe, entonces no existe riesgo ambiental y el proceso termina sin mayor análisis, pero si se detectan estos tres elementos, resulta necesario ejecutar un análisis y caracterización del riesgo, los cuales dan paso a las medidas de gestión para evaluar una posible remediación o disminución de las presiones ambientales, dependiendo si el sistema puede recuperarse por sí solo.

Para el desarrollo de la metodología de la presente propuesta se utilizó como base las siguientes fuentes:

- United States Environmental Protection Agency (EPA) (1998). Guidelines for ecological risk assessment. EPA-630-R-95-002F; la cual corresponde al enfoque

clásico de la Evaluación de Riesgo Ecológico de 3 pasos: Formulación del problema, Análisis y Caracterización del Riesgo.

- United States Environmental Protection Agency (EPA) (1997). Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund, ERAGS: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments EPA 540-R-97-006; el cual corresponde a un análisis estructurado de 8 pasos, especializado en sitios contaminados para Estados Unidos.
- A new framework for the system-based ERA, (Chen et al. 2013). Ecological risk assessment on the system scale: A review of state-of-the-art models and future perspectives; corresponde a una revisión de todos los modelos ecológicos al 2013, estableciendo un nuevo modelo metodológico.

La primera metodología, de más uso a nivel mundial, resuelve en 3 pasos la ERE: Formulación del problema, Análisis y Caracterización del Riesgo. La segunda metodología se basa en los pasos anteriores, pero se suman una serie de subprocesos lo cuales resultan en una metodología de 8 pasos secuenciales, enfocados en la “remediación de sitios contaminados”. Por último, la metodología propuesta por Chen et. al proponen una estructura generalizada en base a todos los modelos de evaluación de riesgo ecológicos realizados a nivel mundial. Este esquema metodológico se reduce a 3 pasos: Formulación del problema, Caracterización del Riesgo, y Evaluación del Riesgo.

Para cumplir con este OE las actividades han sido agrupadas en cuatro etapas secuenciales según los lineamientos metodológicos del Ministerio del Medio Ambiente para el ERE (MMA, 2014): a) Formulación del problema, b) Análisis del riesgo y c) Caracterización del riesgo. La Figura 5.4.2 muestra el esquema metodológico seleccionado.

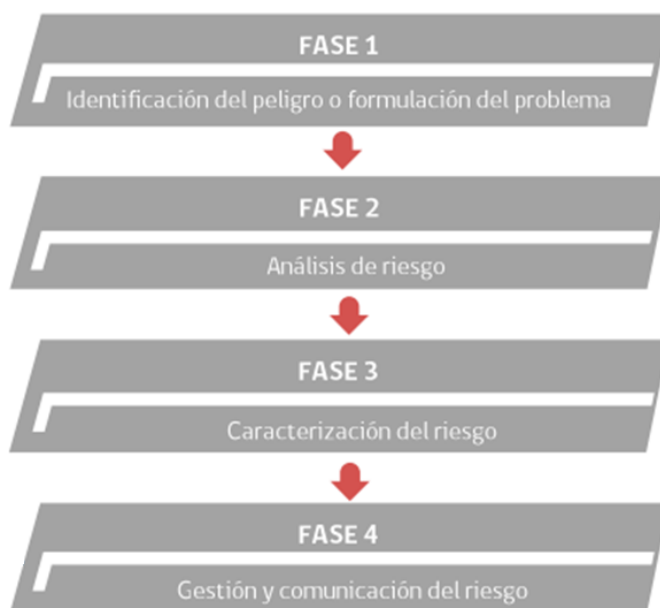


Figura 5.4.2 Esquema metodológico para la ERE en Bahía San Jorge, basado en los lineamientos metodológicos del Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2014), utilizada en la actualidad en bahía Mejillones del Sur

5.4.1.1.1 Identificación del peligro o formulación del problema

La **Formulación del problema**, corresponde al proceso más importante de la ERE, pues es el cual donde se definirán los parámetros objetivo (endpoints), punto inicial para todos los procesos y análisis procedentes. Esta etapa resulta ser crítica, por lo que es común invertir cerca del 80% del trabajo en este proceso, pues los pasos siguientes son más bien mecánicos y no requieren de un análisis profundo del sistema. Es importante señalar que el tipo de escala utilizado por la presente consultoría se basa en dos modelos: **basado en malla trófica y basado en el ecosistema**, esto permite elevar la escala del problema a un enfoque mucho más amplio, mirando el ecosistema funcional como un todo, lo cual permite detectar señales (variables) que no son detectadas con la malla trófica.

La Formulación del problema se divide a su vez en los siguientes pasos.

- **Integración de la información:** proceso en el cual se efectúa una revisión de la información disponible recopilada en el OE-1 y se analiza desde el punto de vista de caracterización física, fisicoquímica, ecológica, y funcional del sistema.

- **Definición de los parámetros objetivo:** una vez caracterizado el sistema, se deben escoger las variables que presenten un riesgo potencial. Tomando en cuenta niveles que se encuentren por sobre las normativas de calidad y preservación de ecosistemas, o de especial interés desde el punto de vista de la percepción local o política. Adicional a esta selección se debe reunir información de las vías de exposición de estos elementos o compuestos potencialmente contaminantes, y los posibles receptores (organismos). Este punto es analizado según las condiciones de biodisponibilidad de compuestos orgánicos y/o la biodisponibilidad de metales según las variables de estado del ambiente de Bahía San Jorge.
- **Desarrollo de modelo conceptual:** una vez definida la existencia del riesgo y seleccionadas las variables objetivo, se efectúa una descripción del modelo conceptual en el cual se interrelacionan las fuentes, vías de exposición y posibles receptores del sistema según un diagrama de flujo. Este punto es el resultado de la formulación del problema y da pie al plan de análisis que debe ejecutarse para caracterizar el riesgo asociado a las variables objetivo.

5.4.1.1.1.1 Integración de la información

Esta etapa complementaria pero necesaria, resulta de incorporar como base el diagnóstico de la bahía, lo cual permite orientar de mejor forma la formulación del problema.

Las actividades dedicadas a la **integración de la información** se presentan a continuación:

a) Creación de una malla trófica representativa

Se creará una malla trófica representativa de bahía San Jorge, con el objetivo de identificar las principales especies o grupos funcionales que se presenten en la zona de estudio, para luego definir su dieta característica y de este modo generar un mapa de interacciones entre ellas.

La malla trófica corresponde a una red de interacciones representadas formalmente por objetos matemáticos denominados “grafos” (Figura 5.4.3), que consiste en una colección de nodos (que representan especies o agrupaciones de especies) y aristas (que representan las interacciones tróficas entre especies).

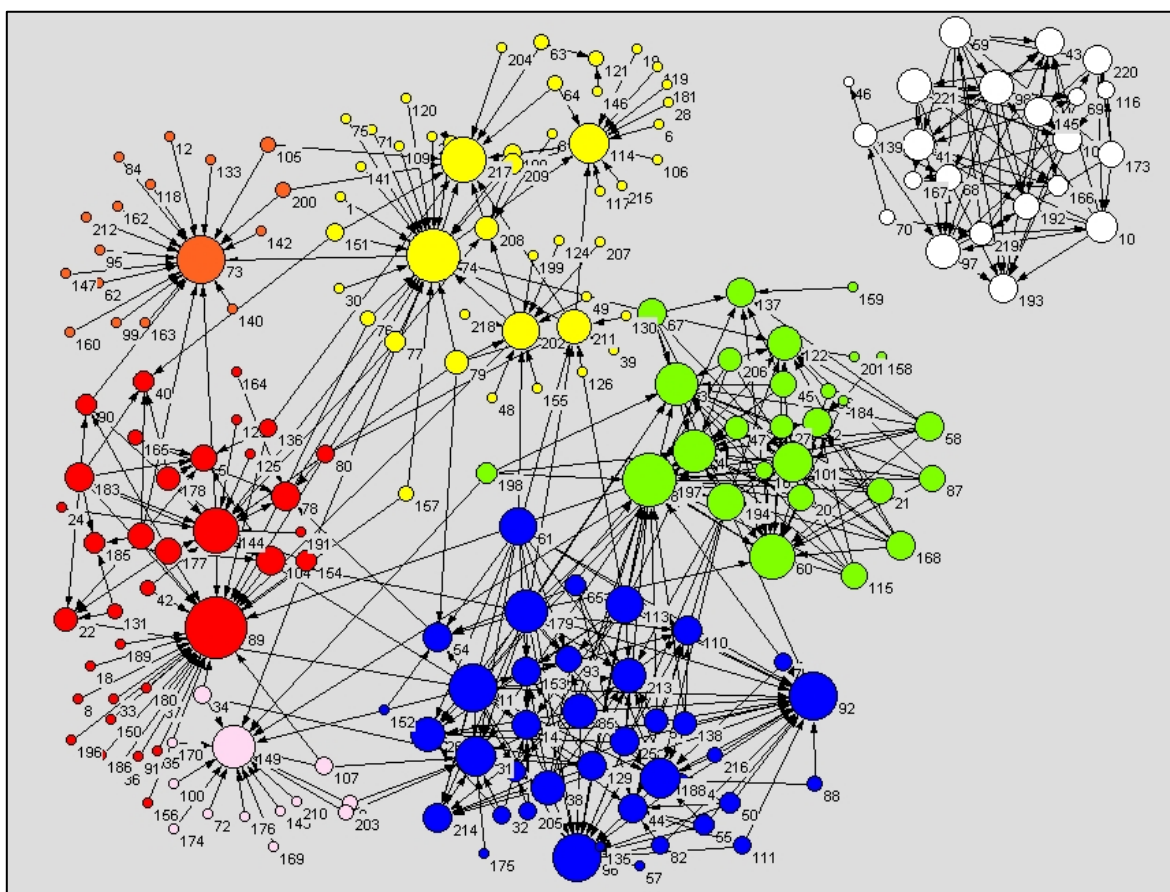


Figura 5.4.3 Ejemplo en forma de grafo de una malla trófica. Los nodos (círculos) representan especies o agrupaciones de especies. Las aristas (flechas rojas) representan interacciones tróficas, en la dirección presa \rightarrow depredador. Nótese que puede haber depredación dentro del mismo nodo, debido a canibalismo o a relaciones depredador-presa entre especies del mismo grupo funcional. Fuente: Malla trófica preliminar desarrollada por CEA en bahía Coronel.

La representación gráfica de una malla trófica contiene una enorme cantidad de información que, con el uso de las herramientas de la teoría de grafos (Newman, 2010), es potencialmente útil para entender aspectos fundamentales como: (a) la organización global de la comunidad, (b) el rol de cada especie para el mantenimiento de la organización de la comunidad, (c) los efectos esperados de la eliminación de una especie para la integridad del sistema ecológico.

Para describir la estructura de una malla trófica, se utilizan índices que miden algún aspecto de la organización de sus componentes. Los dos índices más sencillos y ampliamente utilizados en mallas tróficas son la conectancia y el tamaño de la red. Conectancia (C) es la

fracción observada sobre el total de interacciones posibles en la red. Se mide como $C=L/S^2$, donde L es el número de aristas (interacciones tróficas) registradas en la malla y S el tamaño de la red dado por el número de nodos que ésta contiene. La conectancia, junto al tamaño de la red, es una medida de la complejidad del ecosistema y define un número importante de propiedades estructurales (Dunne et al. 2002a) y dinámicas (Dunne et al. 2002b).

Como resultado de la recopilación y sistematización de la información obtenida, se elaborará una matriz de interacciones tróficas basada en la literatura científica disponible de las comunidades marinas de la zona centro norte de Chile. Con esta información se calculará la matriz de adyacencia para construir un modelo mediante un grafo específico a la malla trófica del área de estudio.

Una vez definida la malla trófica preliminar se identificarán los principales nodos basados en el número de interacciones de depredación. En una malla trófica, una especie puede tener interacciones donde ella es depredadora (K_{in}); donde esa especie es la presa de otras especies (K_{out}); y la suma de ambas que es el total de interacciones (K_{tot}). Así, la especie que tiene un K_{in} alto es la más conectada de la malla en función del número de especies presas que tiene. Entonces, desde el punto de vista de la contaminación potencial de las especies, en el área de estudio, el K_{in} es un descriptor que facilita la comprensión del potencial de contaminación en los nodos de la malla elaborada.

Adicionalmente establecerán las relaciones entre el modelo generado de la malla trófica del ecosistema de la bahía de San Jorge y las actividades pesqueras extractivas, que permitan identificar potenciales riesgos para la salud humana, en cuanto se conozcan las relaciones tróficas entre estas especies y el ser humano.

b) Cuantificación de emisiones fijas (RILes)

Se realizará una caracterización integrada de la totalidad de los Residuos Industriales Líquidos (RILes) que se encuentran actualmente operando en bahía de San Jorge. Se estimará una concentración promedio para cada residuo, ponderado en función del caudal de cada punto de descarga, que permita estimar un valor característico de concentración que ingresa al sistema. Posteriormente se estimarán las cargas másicas de contaminantes. Se utilizará la totalidad de la información temporal de caudales y concentración de contaminantes disponible con el objetivo de estimar un flujo másico característico de cada una de las descargas. Bajo un enfoque conservativo, se realizará una suma de las cargas medias mensuales históricas para desarrollar un análisis del ingreso desde el punto de vista de la masa total que ingresa en kilogramos (o tonelada) por día de contaminante. Esto permitirá identificar las principales fuentes contaminantes de origen antrópico, que podrían estar o no impactando la calidad ambiental de la bahía.

Como resultado de esta actividad, se tendrá una batería de contaminantes ordenados de forma descendente en base a la carga másica que ingresa a la bahía de San Jorge, lo cual permitirá proponer una selección de potenciales contaminantes objetivo.

c) Caracterización funcional del ecosistema

En la medida posible, se establecerán relaciones entre las variables fisicoquímicas de la columna de agua y sedimentos, y sus efectos en los procesos ecológicos generales como son la producción de biomasa (primaria) y degradación de ciertos agentes contaminantes. Se estudiarán los flujos de agentes contaminantes, variables de estado como el potencial Redox, pH, y parámetros de interés ambiental como la clorofila y el oxígeno disuelto, interrelación entre cada una de ellas, que permitan caracterizar el funcionamiento del ecosistema actual.

5.4.1.1.1.2 Definición de parámetros objetivo

Una vez integrada toda la información disponible mediante la caracterización del medio, el segundo punto de la formulación del problema corresponde a la **Definición de los parámetros objetivo**, la que se presentan a continuación:

a) Identificación de agentes estresores

Para la identificación de los agentes que son un potencial riesgo para el medio ambiente, en particular para los organismos, resulta necesario entender el funcionamiento ecosistémico. No obstante, para identificar los elementos que son un riesgo desde el punto de vista de las condiciones actuales del cuerpo de agua en bahía de San Jorge, se llevará a cabo un análisis de biodisponibilidad en metales y compuestos orgánicos.

La biodisponibilidad de elementos o compuestos será analizada de acuerdo a las propiedades fisicoquímicas del contaminante, y a las características ambientales presentes. Como producto de esta actividad se tendrá una propuesta de 5 potenciales contaminantes a evaluar.

Luego, se realizará una consulta a los potenciales usuarios de la información: Comisión de Evaluación, servicios públicos con competencias ambientales, esto es, la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, la Armada de Chile, la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Servicio Nacional de Pesca, Servicio de Evaluación Ambiental, I. Municipalidad de Mejillones y su Consejo, Gobierno Regional de Antofagasta y el Consejo Regional de Antofagasta. La consulta será a nivel de aprobar la propuesta de contaminantes seleccionados, donde al mismo modo se preguntará a los asistentes propuestas o alcances respecto a cuáles componentes a analizar. Esta consulta será canalizada a través de la contraparte técnica y será resuelta en un taller adicional a los 2 exigidos por las bases (Taller de Expertos) a ser convocado en forma extraordinaria para este fin

El producto de esta actividad será un listado de 5 agentes potencialmente contaminantes de interés a ser estudiados en la Evaluación de Riesgo Ecológico.

b) Identificación de vías de exposición

La vía de exposición es el camino que sigue un elemento contaminante potencialmente tóxico, en el ambiente desde su fuente de origen hasta que llega al receptor, ya sea un organismo o una población. El análisis de la vía de exposición permite describir la relación que existe entre las fuentes y los receptores.

La identificación de las vías de exposición se concentra en el análisis respecto a los contaminantes prioritarios identificados en el acápite anterior. Con ello se conocerán las vías de exposición desde el punto de vista de sus mecanismos de ecotoxicidad entre los elementos contaminantes y los posibles receptores en la bahía de San Jorge.

El producto de esta actividad será la identificación de todas las vías de exposición que pueden presentarse en el ecosistema.

c) Identificación de posibles receptores

Se empleará el catastro de especies elaborado en el proceso de búsqueda y recopilación de información asociada a la caracterización de organismos locales. Se seleccionarán organismos desde el punto de vista de su importancia trófica y a la vez que sean relevantes sobre el ecosistema funcional de bahía de San Jorge.

Juntamente con la consulta en la identificación de elementos potencialmente contaminantes en el Taller de Expertos, se mostrará una propuesta de 10 especies representativas del ecosistema de bahía San Jorge, a ser estudiadas tanto para los bioensayos como también para la búsqueda de organismos a ser extraídos en la zona para análisis de bioacumulación. La consulta será a nivel de aprobar el listado de especies escogido por el ejecutor, donde al mismo tiempo se preguntará a los asistentes sus propuestas o alcances.

El producto de esta actividad será un listado de especies de interés a ser estudiados en la Evaluación de Riesgo Ecológico.

5.4.1.1.1.3 Elaboración de modelo conceptual de Riesgo Ecológico

Finalmente, la actividad final de la Formulación del problema corresponde a la etapa del Desarrollo del **Modelo Conceptual de Riesgo Ecológico**.

Considerando la información recopilada, sistematizada y analizada para el OE-1 de las fuentes emisoras, tanto puntuales como difusas presentes en el área de estudio y los potenciales contaminantes relevantes asociados a ellas, se elaborará un modelo conceptual ecosistémico de la incidencia de la contaminación en las matrices ambientales (agua, sedimento y biota). Para esto, se considerarán las características físico- químicas de los potenciales contaminantes, y los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan la transformación y el transporte de potenciales contaminantes desde la fuente hasta los medios ambientales.

El modelo conceptual de riesgo ecológico resulta de incorporar la identificación de los tres componentes que definen el riesgo según la metodología de la EPA. Adicionalmente se desarrollará un modelo conceptual del ecosistema que integre la información de los flujos de contaminantes que ingresan al sistema, como también de sus componentes desde el punto de vista de la regulación estatal, pesquería artesanal e industrial, comunidad local, complejo industrial y el mismo ecosistema. Este modelo describirá los flujos de materiales y su mezcla en los compartimentos principales del sistema; agua, sedimento y biota, de forma tal de analizar su interacción dinámica con las mallas tróficas del ecosistema marino.

5.4.1.1.2 Análisis del riesgo ecológico

El **Análisis del Riesgo** corresponde a la Etapa de la ERE donde se estudia en detalle la exposición de los organismos al medio, evaluando las concentraciones de los agentes potencialmente contaminantes presentes en Bahía de San Jorge.

Adicionalmente se analiza la exposición de los contaminantes en función de la física del sistema, por medio de una simulación numérica en bahía San Jorge. A continuación, se detallan las actividades asociadas a caracterizar el riesgo.

5.4.1.1.2.1 Análisis de la exposición (PEC).

La determinación de la concentración ambiental esperada (PEC) en la bahía de San Jorge deberá considerar todas las vías de ingreso de xenobióticos a la bahía (descargas directas e indirectas). Para esto, se proponen las siguientes actividades:

- a) Modelos de distribución de contaminantes en el medio acuático.
- b) Modelos de calidad de agua.
- c) Incorporación al análisis de toda la información histórica de calidad fisicoquímica del agua, de sedimentos, de biota, recopilada y analizada en los objetivos anteriores.
- d) Actualización de información histórica complementaria de calidad de agua, sedimentos, biota, corrientes levantada por este mismo proyecto.

a) Determinación de la concentración ambiental (PEC)

La determinación de la concentración ambiental esperada (PEC) en Bahía San Jorge deberá considerar todas las vías de ingreso de xenobióticos (descargas directas e indirectas). Para ello, se tomará toda la información disponible de la columna de agua y sedimento, a modo de tener una base de datos ordenada de las concentraciones de contaminantes registrados en la bahía. Cabe señalar que se tomarán los contaminantes seleccionados según la consulta en el taller de expertos y a la comunidad para el análisis.

Como producto, se tendrán valores estadísticos tales como el promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de la PEC de los 5 contaminantes seleccionados para la evaluación de riesgo, los cuales serán utilizados en la caracterización del riesgo.

b) Generación de la batimetría digital de la bahía San Jorge

La metodología propuesta consiste en la digitalización de las cartas náuticas del SHOA indicadas en la Tabla 5.4.2, las cuales poseen información topobatimétrica de bahía San Jorge con una densidad de puntos en promedio de 400 m de espaciamiento, lo cual para efectos del estudio resulta de una resolución adecuada, principalmente para los propósitos de la simulación numérica propuesta en el acápite b). La digitalización corresponderá en extraer la nube de puntos disponible en el mapa cartográfico, para luego generar isóbatas cada 5 m por medio de un método de una rasterización de los puntos.

c) Simulación numérica de Bahía San Jorge

Para poder comprender la dinámica existente en Bahía San Jorge, se plantea el desarrollo de una simulación numérica que permita caracterizar de mejor forma la dinámica de las corrientes y las variaciones de la estructura de la columna de agua de la bahía, siendo ambas componentes las responsables de la movilización y mezcla de cualquier agente que sea descargado en la bahía tanto de forma local como de forma indirecta.

Una vez caracterizada la hidrodinámica del sistema, se plantea la inclusión en la simulación de las fuentes de contaminantes seleccionados, según sus RILes, que podrían tener algún tipo de influencia en la bahía. Así, contando con un entendimiento de las dinámicas en el área de estudio y de las formas en las cuales es posible que los contaminantes sean transportados, se podrán estimar las zonas con potencial riesgo, en términos de su acumulación y presencia en el dominio en estudio.

Se realizará la modelación de la circulación costera y el transporte y dispersión de masa que se produce en la bahía de San Jorge. Para cumplir con lo anterior se considera fundamental implementar y desarrollar las siguientes actividades:

- 1.- Recopilar información batimétrica, características de las descargas en la bahía, datos meteorológicos y de marea que permitan alimentar el modelo.
- 2.- Modelar numéricamente la variación temporal y espacial de la estructura tridimensional de salinidad y temperatura en bahía de San Jorge. En el modelo, se considera el efecto sinérgico de todas las captaciones y descargas que se efectúan al interior de la bahía.
- 3.- Modelar numéricamente el transporte y dispersión tridimensional de diferentes tipos de descargas en la bahía de San Jorge.

La modelación será desarrollada en el modelo numérico AEM3D, y la cual permitirá contar con una caracterización aproximada de la dinámica de corrientes y las variaciones de la estructura de la columna de agua de la bahía, siendo ambas componentes las responsables de la movilización y mezcla de cualquier agente que sea descargado en la bahía tanto de forma local como de forma indirecta.

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

La caracterización de este tipo de sistema requiere un periodo de simulación de un año completo. Esto permitirá incorporar las variaciones de la marea, junto con los cambios estacionales de las condiciones atmosféricas y los aportes de RILes en la bahía.

Un ejemplo de las capacidades y resultados del modelo ELCOM son los resultados que se muestran en la Figura 5.4.4, correspondientes al estudio de análisis de riesgo ecológico en bahía Quintero, desarrollado por el CEA en 2012.

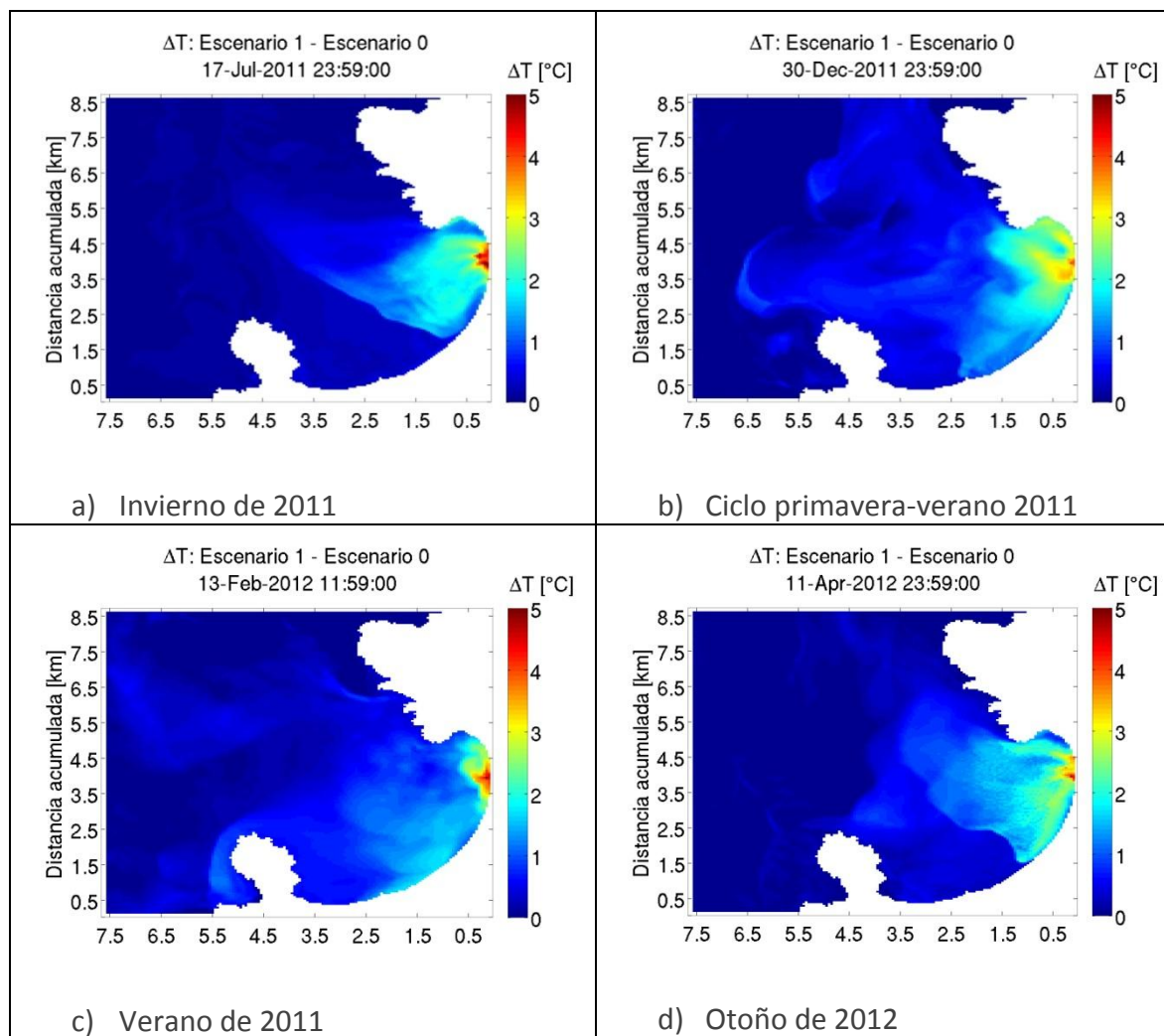


Figura 5.4.4 Exceso de temperatura superficial entre las situaciones con y sin descargas antrópicas en bahía Quintero (ejemplo). Fuente: Informe Final: “Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”, Ministerio del Medio Ambiente.

Para completar la modelación, se requiere información geométrica relacionada con la batimetría de la zona de estudio. Esta información se obtendrá a través de cartas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) que incluyen a bahía de San Jorge y otras, las que serán digitalizadas e incorporadas al modelo y la información complementaria levantada con este estudio (ver **Tabla 5.4.2**).

Tabla 5.4.2: Cartas náuticas del SHOA a ser utilizadas en este estudio

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

Las forzantes meteorológicas para el modelo se obtendrán de la información recopilada, o información meteorológica local, en su defecto, por el periodo de un año. Los datos de marea serán obtenidos de las publicaciones de tablas de marea del SHOA.

Se propone efectuar la modelación usando dominios anidados. De esta forma, el dominio regional (grilla gruesa) permitirá entender la circulación general de corrientes, mientras que el dominio local (contenido en el dominio regional, y con mayor resolución) aportará información detallada de la estructura tridimensional de temperatura, salinidad, corrientes y concentración de sustancias que sean descargadas en la bahía.

El resultado de la modelación oceanográfica permitirá desarrollar mapas con zonas de sensibilidad ambiental, desde el punto de vista de los tiempos de residencia de las partículas en la bahía de San Jorge.

d) *Actualización de la información de calidad de agua, sedimentos y biota de la bahía de San Jorge.*

Esta actividad corresponde a la realización de 4 campañas de monitoreo, estacionales (verano - invierno) donde se levantará información adicional de calidad de agua, de sedimentos y de biota de la bahía, para complementar la información ambiental existente para el área.

5.4.1.1.2.1.1.1 Monitoreo estacional de las matrices de calidad de agua, sedimento y biota de la bahía San Jorge.

Se realizarán 4 campañas de monitoreo de carácter estacional, distribuidas semestralmente durante la duración del proyecto, de preferencia asociadas a los periodos más contrastantes respecto a las condiciones oceanográficas de la bahía San Jorge. Estas campañas se realizarán en períodos de invierno y de verano.

El calendario aproximado para tales campañas se presenta en la Tabla 5.4.3.

Tabla 5.4.3 Fechas propuestas de monitoreo de las matrices de calidad de agua, sedimento y biota

Nombre terreno	Fecha propuesta
Campaña de monitoreo 1 (invierno 2018)	1era y 2da semana de septiembre 2018
Campaña de monitoreo 2 (verano 2018-2019)	1era y 2da semana de marzo 2019
Campaña de Monitoreo 3 (invierno 2019)	1era y 2da semana de septiembre 2019
Campaña de monitoreo 4 (verano 2019-2020)	1era y 2da semana de enero 2020

Las campañas de muestreo se desarrollarán, con embarcaciones, personal de apoyo y buzos locales (Antofagasta). En la zona de estudio se cuenta con un total de cuatro caletas, bordeando la costa de norte a sur son:

- Caleta Abtao (Juan López)
- Caleta La Chimba
- Caleta Antofagasta
- Caleta Coloso

En común acuerdo con la contraparte técnica y los distintos presidentes de cada asociación, se definirá una distribución equitativa de los trabajos de apoyo con sus embarcaciones y buzos, de forma tal que exista un trabajo colaborativo sin descartar actores de relevancia al estudio.

La Tabla 5.4.4 y Figura 5.4.5 muestran el diseño de muestreo ajustado en función de la propuesta técnica y las especificaciones de los TdR. En base a esto último, se consideró la ubicación de las siguientes estaciones asociadas a PVA de empresas:

- PVA Antofagasta Terminal Internacional/Empresa Portuaria Antofagasta: Estación de monitoreo ATI-2. (Estación CEA equivalente a BSJ-06)
- PVA Minera Escondida Puerto Coloso: Estación de monitoreo marino SM-12. (Estación CEA equivalente a BSJ-10)

Tabla 5.4.4 Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de calidad fisicoquímica y biológica en bahía San Jorge

WGS 84 Huso 19K		ID	Descripción	Sector asociado
UTM Este (m)	UTM Norte (m)			
341,892	7,395,939	BSJ-01		Punta Jorge
347,002	7,403,653	BSJ-02		La Rinconada
356,597	7,394,491	BSJ-03		La Chimba
357,200	7,387,975	BSJ-04	Calidad fisicoquímica agua	Las Petroleras
356,583	7,384,462	BSJ-05	y sedimento.	Puerto Antofagasta
356,501	7,383,847	BSJ-06*	Comunidades planctónicas	Puerto Antofagasta
355,405	7,384,622	BSJ-07	y submareales	Centro de la bahía
354,544	7,378,567	BSJ-08		Quebrada Carrizo
351,072	7,371,887	BSJ-09		Puerto Coloso
350,825	7,371,902	BSJ-10**		Puerto Coloso
357,733	7,391,014	TI-02		La Rinconada
357,438	7,385,029	TI-05	Calidad fisicoquímica	Cercano a playa Paraíso
			sedimento. Comunidades	
356,326	7,381,518	TI-06	intermareales	Cercano a Balneario municipal
351,355	7,371,702	TI-08		Puerto Coloso
341,939	7,396,135	TI-01		Punta Jorge
356,574	7,394,223	TI-03	Comunidades	La Chimba
357,975	7,387,930	TI-04	intermareales	Las Petroleras
354,902	7,378,605	TI-07		Quebrada Carrizo

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

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

+: Ubicación referencial. La ubicación final será definida en primer terreno, de acuerdo con las condiciones del sedimento.

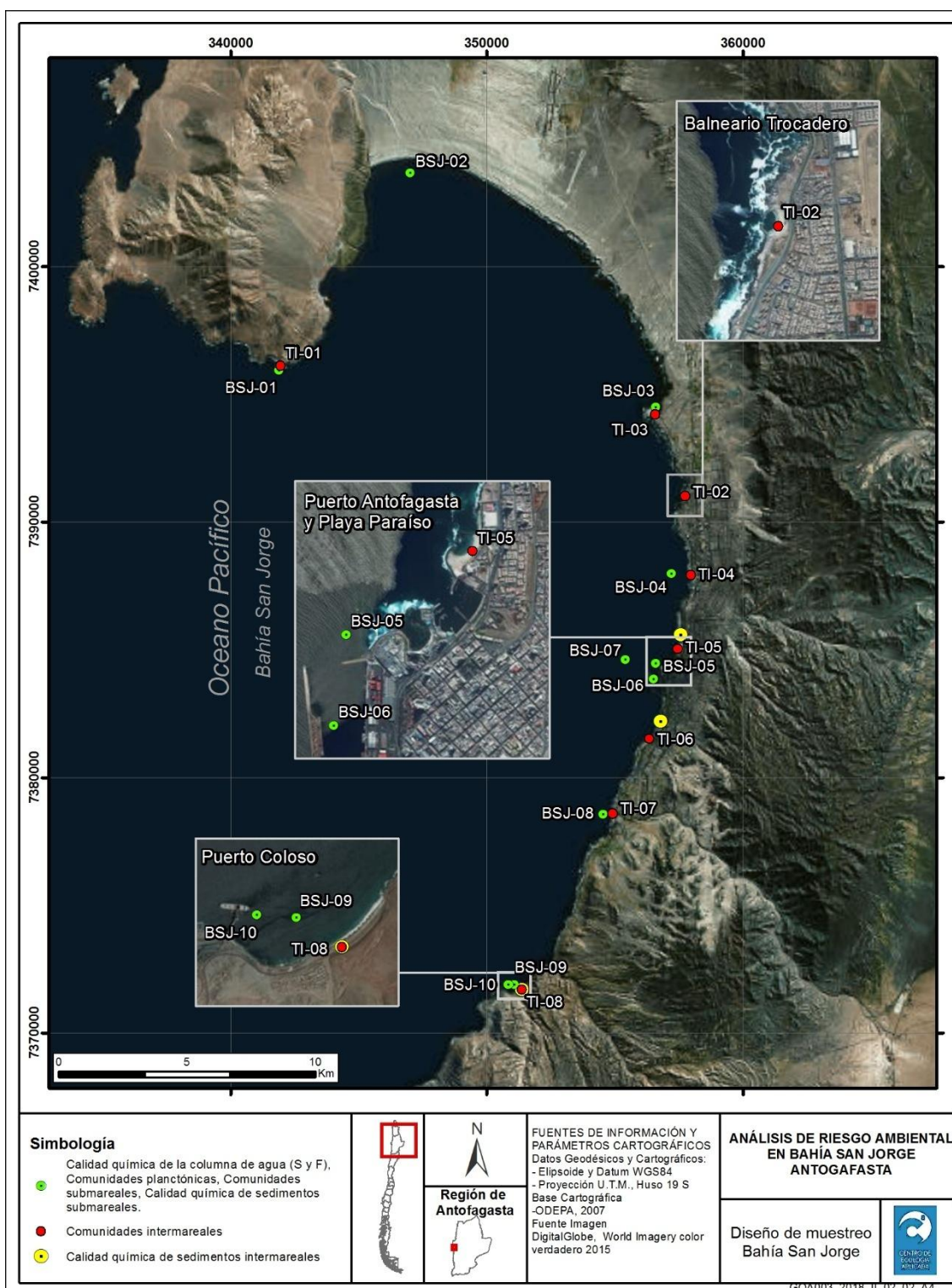


Figura 5.4.5 Ubicación geográfica de estaciones de muestreo de calidad fisicoquímica y biológica en bahía San Jorge

Se tomará una contramuestra de sedimento en las estaciones asociadas a los PVA de las empresas (BSJ-06 y BSJ-10), según lo establecido en las bases técnicas. Además dado el propósito de analizar tanto el ecosistema como los riesgos a la salud humana, se consideró de gran importancia establecer contramuestras en los análisis de tejido en organismos, análisis que es descrito en el Análisis de los efectos(NPEC), en la letra b) del acápite 5.4.1.1.2.1.2.

Otro de los aspectos a considerar en el monitoreo es el desarrollo de 3 grillas de muestreo en sedimento para el análisis de concentración de metales. Las grillas se han enfocado en 2 zonas con intervención antrópica: Coloso, Antofagasta, más una grilla adicional para un contraste respecto a una zona de menor intervención: La Rinconada. En cada grilla se consideran 10 muestras de sedimento los que serán realizados en la segunda campaña de terreno, una vez que se hayan identificado zonas de depositación, por medio de los resultados de la primera campaña. El objetivo de las grillas de muestreo es analizar la posible presencia de agentes potencialmente contaminantes, no evidenciados en los monitoreos POAL o los PVA de la industria. La Tabla 5.4.5 y Figura 5.4.6 dan cuenta de la ubicación geográfica propuesta de las grillas. Cabe señalar que la ubicación exacta puede sufrir modificaciones propias a las condiciones del terreno.

Tabla 5.4.5 Estaciones de muestreo para el análisis de concentración de metales en sedimento, en tres sectores de interés para el estudio

WGS 84 Huso 19K		ID	Descripción
UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
356,146	7,384,628	ANT-01	Análisis de metales en sedimento sector Antofagasta
356,364	7,385,089	ANT-02	
356,563	7,385,546	ANT-03	
356,743	7,386,007	ANT-04	
356,848	7,386,496	ANT-05	
356,369	7,386,632	ANT-06	
356,224	7,386,131	ANT-07	
356,045	7,385,707	ANT-08	
355,826	7,385,258	ANT-09	
355,631	7,384,831	ANT-10	
351,158	7,372,209	COL-01	Análisis de metales en sedimento sector Coloso
351,482	7,372,591	COL-02	
351,744	7,372,993	COL-03	
351,453	7,373,385	COL-04	
351,158	7,372,928	COL-05	
350,912	7,372,679	COL-06	
350,580	7,372,322	COL-07	
350,120	7,372,141	COL-08	
350,020	7,372,503	COL-09	

WGS 84 Huso 19K		ID	Descripción
UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
350,448	7,372,740	COL-10	
347,971	7,403,632	RIN-01	
348,569	7,403,300	RIN-02	
349,165	7,402,973	RIN-03	
349,580	7,402,712	RIN-04	
350,080	7,402,347	RIN-05	Análisis de metales en sedimento sector La Rinconada
349,779	7,401,923	RIN-06	
349,255	7,402,294	RIN-07	
348,791	7,402,563	RIN-08	
348,299	7,402,906	RIN-09	
347,717	7,403,171	RIN-10	

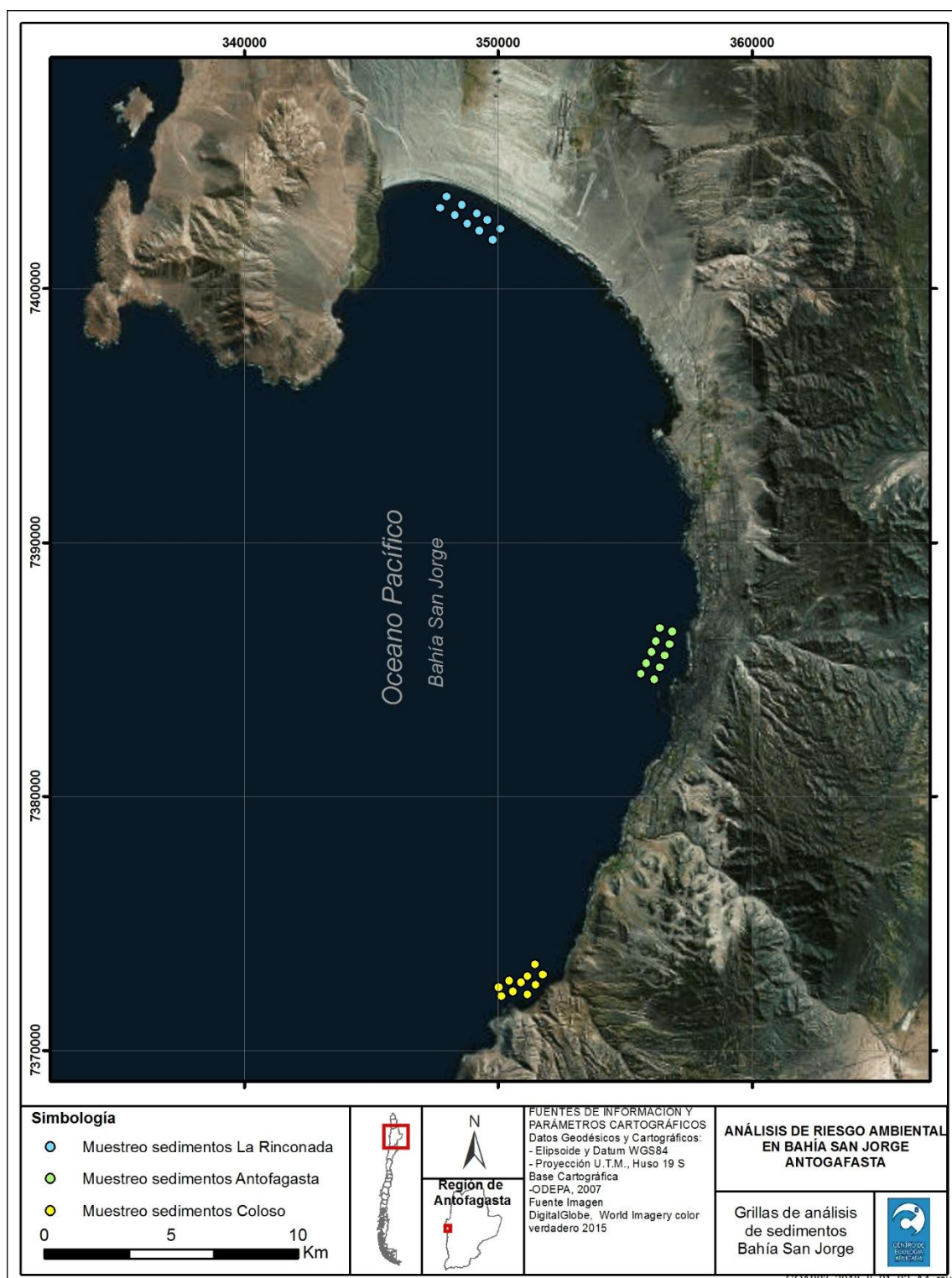


Figura 5.4.6 Ubicación geográfica del muestreo de sedimentos sobre las grillas de análisis de concentración de agentes potencialmente contaminantes

5.4.1.1.2.1.1.2 Muestreo de variables oceanográficas

Se realizarán 2 campañas de monitoreo de corrientes de carácter estacional en Bahía San Jorge durante el desarrollo del proyecto, con el objetivo de caracterizar en un ciclo anual las corrientes características de la bahía.

Se medirán las corrientes eulerianas y corrientes lagrangianas, permitiendo realizar una caracterización de la dirección y magnitud de la velocidad en la columna de agua, en el área de estudio.

Para la medición de tipo euleriana, será utilizado un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP), modelo Workhorse Sentinel 600, marca Teledyne (Figura 5.4.7). Este instrumento permitirá registrar las propiedades del campo de flujos en varias capas y en toda la profundidad en intervalos recomendados de registro de 10 minutos.



Figura 5.4.7 Perfilador de corrientes acústico Teledyne WorkHorse Sentinel 600.

Las mediciones de corrientes lagrangianas se realizarán en períodos similares a los del desarrollo del muestreo de calidad de agua y biota (verano e invierno). Para esto se determinarán los patrones advectivos mediante el uso de derivadores (boyas de deriva) (Figura 5.4.8), con el fin de determinar las líneas de flujo de las corrientes marinas en el área de proyecto. El objetivo básico de esta actividad es caracterizar el comportamiento espacial que experimentan las corrientes, describiendo el patrón general de circulación bajo las instancias de marea que generan condiciones de llenado (llenante) y vaciamiento de la bahía (vaciente). En cada una de las estaciones se realizará el lanzamiento de 2 derivadores, para así caracterizar dos estratos de la columna de agua, uno en superficie y otro a una profundidad de 5 metros; los cuales serán seguidos por un período mínimo de 30 minutos.



Figura 5.4.8 Ejemplo de derivador marino desplegado en la costa para registro de corrientes superficiales.

La Tabla 5.4.6 y Figura 5.4.9 da cuenta del diseño de muestreo de parámetros oceanográficos sobre la bahía San Jorge. Se ha realizado un ajuste en el muestreo de los derivadores a 3 sitios, con un diseño enfocado a estudiar las corrientes lagrangianas en los lugares de alto impacto industrial: Coloso, Puerto, más una zona de interés biológico correspondiente al saco de la bahía, en La Rinconada. En cada sitio serán lanzados 2 derivadores, a modo de tener una mejor representación por sector. Se optimizó el diseño considerando una distribución centrada también en las estaciones de muestreo biológico, lo cual es de utilidad para analizar el efecto de las corrientes sobre las comunidades planctónicas.

Tabla 5.4.6 Ubicación geográfica de estaciones de muestreo de parámetros oceanográficos en bahía San Jorge

WGS 84 Huso 19K		ID	Descripción
UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
350,941	7,371,966	C-DER-1	Lanzamiento de derivadores sector Puerto Coloso
351,211	7,372,143	C-DER-2	Lanzamiento de derivadores sector Puerto Coloso
347,234	7,402,473	R-DER-1	Lanzamiento de derivadores sector La Rinconada
348,057	7,401,998	R-DER-2	Lanzamiento de derivadores sector La Rinconada
355,615	7,384,571	P-DER-1	Lanzamiento de derivadores sector frente Antofagasta
356,470	7,386,120	P-DER-2	Lanzamiento de derivadores sector frente Antofagasta

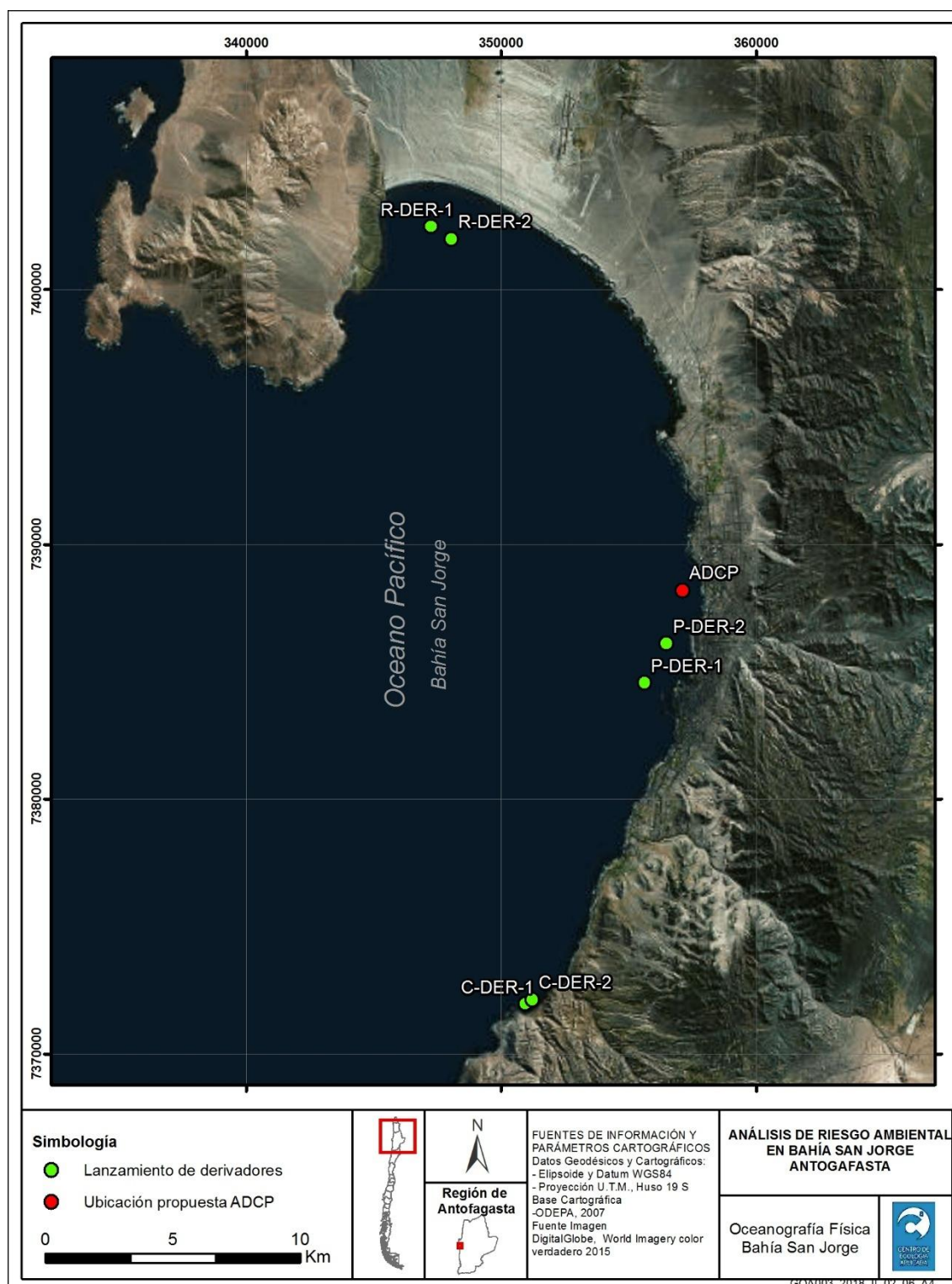


Figura 5.4.9 Muestreo de parámetros de oceanografía física propuesto para la bahía San Jorge

Como resultado del monitoreo de las variables físicas de la bahía, y en los casos en que sea posible, se entregarán como producto planillas Excel con los valores por variable, por estación, por campaña y muestra; tablas de datos; gráficos por variable, por campaña; cartas de distribución de variables. En el caso de los registros de ADCP, ellos serán entregados en el formato de origen de los equipos.

Del análisis de los datos asociados a las corrientes eulerianas, como productos de este muestreo se mencionan: tablas de incidencia e histogramas de magnitud y dirección de la corriente para las capas superficial, intermedia y fondo, y para una rosa de 8 direcciones.

Del análisis de los datos asociados a las corrientes lagrangianas, como productos de este muestreo se encuentran: trayectorias de los derivadores de la capa superficial y a 5 m de profundidad, tabla de velocidades medias (rapidez y dirección), esquemas y análisis de los patrones de circulación en función de la marea llenante y vaciante, armónicos de marea, elipsoides de corrientes, entre otros.

5.4.1.1.2.1.3 Generación de la batimetría digital de la bahía San Jorge

Se realizará la digitalización de las cartas batimétricas del SHOA que cubren el área de estudio, de modo de generar en formato shape, la batimetría de la bahía. Esta información será usada para desarrollar una modelación hidrodinámica de la bahía San Jorge.

5.4.1.1.2.1.2 Análisis de los efectos (NPEC)

Luego de la evaluación de la exposición (PEC), se determina la concentración de los agentes seleccionados, a la cual los organismos no presentan un efecto ecológico, esto significa estimar la concentración sin efecto ecológico (NPEC). Esta actividad tiene por objeto determinar la concentración del xenobiótico presente en el ecosistema para comprobar que no genera un efecto inaceptable sobre un sistema ecológico particular.

En esta etapa se establecerá la relación entre el nivel de exposición y la naturaleza, severidad y duración de los efectos del contaminante evaluado, determinándose la concentración sin efecto ecológico, a través de un enfoque probabilístico. Para ello, se considerarán los “end point” ecotoxicológicos, tanto agudos como crónicos (LC50, EC50, NOEC, LOEC), de las especies locales de relevancia ecológica, a través de bioensayos en, al menos tres niveles tróficos del ecosistema de la bahía San Jorge.

a) Análisis con marcadores biológicos

Se realizarán análisis de marcadores biológicos o moleculares sobre especies indicadoras o representativas del ecosistema, como la actividad o la cantidad de sustancias inducidas por la presencia de agentes potencialmente contaminantes.

Es importante señalar que los marcadores biológicos serán realizados por la Dra. Mariella Rivas y el Dr. Manuel Zapata Arcos, en el laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad (BIOAL), del Centro de Investigación Científico Tecnológico para la Minería (CICITEM), en colaboración con la Universidad de Antofagasta.

Esta actividad se realizará una vez finalizado el taller de expertos, donde se definirán las especies objetivo y los agentes potencialmente contaminantes de interés. Es por lo anterior que esta labor se realizará de forma posterior a la primera campaña de terreno.

a) Bioensayos de toxicidad aguda y crónica

Los bioensayos se desarrollarán en agua y en sedimentos, para un número de 5 contaminantes, los cuales serán obtenidos a partir del análisis crítico de la información

recopilada en esta y en etapas anteriores del estudio. En esta selección se considerará, en consulta con la contraparte técnica, convocar un panel de expertos para su realización.

Es importante señalar que tales experimentos guardan relación a los marcadores biológicos, por lo cual se evaluará el desarrollar éstos en el laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad (BIOAL), del Centro de Investigación Científico Tecnológico para la Minería (CICITEM). Será discutido con la contraparte técnica los alcances de estos análisis, de forma tal de poder seleccionar conjuntamente el laboratorio que los realice. En el caso de que no sea posible desarrollar estos bioensayos en este laboratorio, estos serán realizados por el Dr. Enrique Bay-Schmith (Laboratorio de Bioensayos, Universidad de Concepción).

Para los bioensayos se ha considerado la componente columna de agua y sedimentos. Esto último fue una de las principales recomendaciones del estudio realizado por el CEA en la bahía de Quintero, y se encuentran en desarrollo en bahía Mejillones del Sur. No obstante, dependiendo de la formulación del problema y de la definición del modelo conceptual de riesgo ecológico (definido en la fase 1 del ERE), se definirán las matrices ambientales clave a estudiar de modo tal de ahondar esfuerzos en las componentes que presenten un potencial riesgo.

Considerando la extensión temporal del estudio, se considera la ejecución de bioensayos con especies que ya se encuentren disponibles en protocolos estandarizados en el laboratorio de bioensayos y que correspondan a especies con distribución en el área de estudio. De cualquier manera, los bioensayos disponibles serán evaluados en el taller que se desarrollará para determinar los elementos químicos que serán evaluados, de esta forma, la cantidad de bioensayos dependerá de los agentes a analizar, como también de la disponibilidad estacional de organismos en laboratorio.

Esta actividad se realizará una vez finalizado el taller de expertos, donde se definirán las especies objetivo y los agentes potencialmente contaminantes de interés. Es por lo anterior que esta labor se realizará de forma posterior a la primera campaña de terreno.

b) Análisis de metales e hidrocarburos en biota

Se realizarán análisis de tejidos de organismos representativos de la malla trófica de la bahía de San Jorge y de aquellos que tengan importancia desde el punto de vista de la captura para consumo humano directo, desde las actividades de pesca artesanal. Se realizarán análisis de metales y de algunos hidrocarburos, para determinar bioacumulación de ciertos elementos en los organismos.

Con el objetivo de evidenciar posibles alteraciones ambientales, considerando la diversidad de usos del borde costero, se propone analizar y relacionar el contenido de metales en sedimentos intermareales y ejemplares de la especie *Emerita análoga*. Esta especie nativa

ha sido propuesta como bioindicadora y potencial receptor de varios polutantes, debido a su gran abundancia en la zona intermareal y por ser fuente importante de alimento para aves y peces costeros (Dugan et al., 1994, 1995).

Los organismos serán recolectados desde la zona submareal somera, idealmente a una profundidad de 1 m de columna de agua, considerando la distribución de organismos de mayor tamaño. La recolección se realizará mediante una poruña de PVC con una malla cernidora en la base. Los organismos serán seleccionados y dispuestos en bolsas de polietileno para su posterior análisis.

Para evaluar el contenido de metales pesados y/o hidrocarburos, los organismos recolectados serán separados de sus conchas y/o partes duras y sometidos a un proceso previo de digestión. Posteriormente, El método utilizado estará basado en lo que indica la EPA_SW-846. Método 3051 y 6010C. Los organismos de mayor tamaño (*e.g.* Loco y Lapa) serán analizados separando el estómago de la musculatura mayor (pie), siendo el pie nuestro objetivo de estudio.

Los contaminantes ambientales se acumulan en los invertebrados marinos, peces y mariscos y amenazan la salud humana, ya sea directa o indirectamente a través de la cadena alimentaria (Dixon et al. 2002). En este contexto, se propone analizar el contenido de metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos en los principales grupos funcionales de organismos marinos provenientes de los sectores norte y sur de la bahía en donde se encuentran las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB).

Esta actividad se realizará una vez finalizado el taller de expertos, donde se definirán las especies objetivo y los agentes potencialmente contaminantes de interés. Es por lo anterior que esta labor se realizará de forma posterior a la primera campaña de terreno.

Adicionalmente, se considerarán contramuestras en todos los organismos muestreados en terreno, en consideración a lo establecido en las bases técnicas y tomando en cuenta que estas muestras son de suma relevancia tanto para el diagnóstico medioambiental como también para la evaluación de riesgo a la salud humana.

c) Elaboración de base de datos ecotoxicológica

Adicionalmente, y como una forma de comparar los niveles de sensibilidad de las especies locales con las internacionales, se hará una revisión y análisis de las bases de datos ecotoxicológicas nacionales e internacionales considerando los endpoints ecotoxicológicos de familias y géneros similares a los presentes en Bahía San Jorge.

Como producto de esta actividad se tendrán los resultados de los bioensayos y una base de datos ecotoxicológica característica para Bahía San Jorge.

5.4.1.1.3 Caracterización del riesgo ecológico

En esta actividad se estiman indicadores que permiten evaluar de forma cuantitativa el nivel de riesgo existente para cada contaminante.

a) Factores de bioacumulación (FBA)

Los factores de bioacumulación (FBA) son un indicador que permite determinar si los organismos locales presentan un grado de acumulación de agentes contaminantes en su sistema. Los FBA guardan directa relación con el cociente de riesgo, pues permite tener un valor representativo del riesgo en relación con la biodisponibilidad de los contaminantes en el ambiente y sus posibles efectos en las mallas tróficas del ecosistema.

Para determinar los FBA se utilizarán los valores de concentración de metales disueltos promedio en agua o sedimento, esto dependiendo del hábitat del organismo, si es pelágico o bentónico, por ejemplo.

El factor de bioacumulación (FBA) en organismos será calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$FBA = \frac{\text{Concentración de metal en tejido}}{\text{Concentración de metal en columna de agua o sedimentos}^*}$$

**: Componente dependerá del hábitat del organismo en estudio.*

b) Estimación del cociente de riesgo (RQ)

En esta actividad se estimará el Cociente de Riesgo (RQ), que consiste en la razón entre la PEC (concentración de contaminante en el ambiente) y la PNEC (NOEC/ FS) (Medina & Encina 2010). Se utilizará un factor de seguridad (FS) de 10, de acuerdo con lo recomendado por la Directiva Marco de la Comunidad Europea (EC, 2005) y SETAC (2010).

Tanto para la PEC, como la PNEC, se estimarán sus funciones de distribución probabilísticas, para posteriormente mediante remuestreo de las distribuciones estimadas (Simulación de Montecarlo), utilizando el software de cómputo avanzado Matlab®, donde se estimarán los percentiles y la probabilidad que los RQ fueran mayores a 1. Cabe mencionar que los ajustes probabilísticos presentan la limitante en función de la cantidad de datos que haya disponible. Es por ello por lo que este análisis se realizará para cada contaminante, siempre y cuando exista un número adecuado de registros de datos para cada contaminante.

Se determinarán los niveles de protección estimados a partir de la evaluación de riesgo ecológico, los cuales debieran incluir tanto la variabilidad como la incertidumbre inherente

al problema, para lo cual se utilizarán métodos de simulación probabilística, que introducen una serie de ventajas por sobre los enfoques determinísticos, entre las que se cuentan:

- (i) Los valores de toxicidad (PNEC) y exposición (PEC), los que se pueden definir como distribuciones estadísticas que cubren el rango completo de valores posibles y son distribuidos de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia;
- (ii) Los parámetros de PNEC y (PEC) pueden variar aleatoria y simultáneamente, permitiendo la propagación de la incertidumbre a través del modelo;
- (iii) Las simulaciones de Montecarlo generan distribuciones de frecuencia estadísticamente válidas y totalmente caracterizadas, cubriendo el rango completo de valores posibles (Medina & Encina, 2004). Adicionalmente, se debe realizar un análisis de sensibilidad para determinar aquellas variables que influyen en mayor medida en el resultado final y análisis de importancia de la incertidumbre para determinar las variables que influyen en mayor medida en el resultado final, de tal forma que los valores protección ambiental permitan efectivamente proteger los ecosistemas.

Basado en los antecedentes descritos, surge la necesidad de establecer los niveles de protección de ecosistemas acuáticos y determinar las respuestas de los organismos frente a diversos xenobióticos. Si bien muchas de las pruebas ecotoxicológicas están estandarizadas, así como las especies a utilizar, el objetivo final es que los resultados permitan proteger los ecosistemas naturales. Complementariamente, los enfoques probabilísticos de estimación del riesgo ecológico incorporan la variabilidad e incertidumbre asociadas a las respuestas ecotoxicológicas de los diversos niveles tróficos, permitido realizar estimaciones de niveles de protección que efectivamente protejan los ecosistemas.

c) Estimación de niveles de protección

Sobre la base de las distribuciones probabilísticas de los NOEC obtenidos en las bases de datos y de los bioensayos ecotoxicológicos realizados en este estudio, se estimará una concentración que proteja el 95% de las especies consideradas en la distribución denominado HC5% (EC, 2005). Se considerará un valor de 10, como factor de seguridad (SETAC, 2010).

5.4.2 Evaluación de Riesgo para la Salud (ERS)

La Evaluación de Riesgo para la Salud será coordinada por la Dra. Patricia Matus Correa, especialista en Salud Pública, Magister en Epidemiología y Doctora en Salud Pública, la cual tiene una vasta experiencia en evaluaciones de riesgo para la salud.

Como punto de partida para la ERS, se considerarán los resultados de la Formulación del Problema del ERE, donde la relación entre los organismos y la salud de la población vienen dados por las relaciones tróficas asociada al consumo humano.

Para el desarrollo de la evaluación del riesgo para la salud humana para los habitantes cercanos la bahía de San Jorge, particularmente en la ciudad de Antofagasta, se propone ejecutar los siguientes puntos:

5.4.2.1 Revisión sistemática de publicaciones científicas

Se revisarán los registros públicos del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) y las bases de datos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, así como el Registro Público de Resoluciones de Calificación Ambiental de la Superintendencia de Medio Ambiente para determinar los contaminantes de interés para la salud pública potencialmente presentes en Antofagasta y su bahía de San Jorge.

Se evaluarán y analizarán todos los antecedentes disponibles sobre la característica y composición los residuos industriales líquidos, de suelo y gestión y almacenamiento de residuos sólidos presentes en Antofagasta, así como los resultados del muestreo de aguas, sedimento, biota y alimentos que se desarrollará durante el estudio.

5.4.2.2 Identificación del peligro

Con el buscador PubMed, se revisarán las publicaciones de los últimos 3 años, respecto de los impactos a la salud de los metales pesados y demás contaminantes de interés, que sean detectados y medidos en las matrices ambientales.

Se identificarán las principales características toxicológicas de los compuestos y sus efectos sobre las personas identificando efectos sistémicos, agudos y crónicos de cancerígenos. Se listarán los antecedentes sobre la relación dosis-respuesta identificada en la literatura médica y de la especialidad, así como los niveles de dosis de referencia que se puedan obtener. Toda la información sistematizada incluirá su fuente y referencia.

5.4.2.3 Factores de Exposición

Se establecerá el modelo conceptual de riesgo determinando las rutas, vías, presencia de mecanismos de migración de contaminantes y receptores sensibles, a modo de llegar a integrar todas las vías de exposición potencial y calcular las dosis totales de exposición. Se utilizarán las concentraciones encontradas en los medios ambientales (agua-suelo/sedimento) y en los alimentos.

Los supuestos de exposición se estimarán mediante una encuesta transversal. Para estimar el factor de exposición en función de la ingesta de alimentos con materiales contaminantes, se realizará una encuesta aleatoria representativa de residentes de la comuna de Antofagasta. Se incluirá de modo especial la revisión de la biota más significativa que forma parte de los recursos hidrobiológicos obtenidos en las AMERB que se encuentran en el área de estudio y que puedan formar parte de la dieta de la población local.

Se calcularán las dosis de exposición utilizando la integración de las exposiciones por todas las vías completas o potenciales de exposición siguiendo:

El cálculo de la dosis de exposición potencial o ingesta (d) se realizará con la siguiente fórmula, adaptada para cada una de las vías de exposición: digestiva y dérmica.

$$d = \frac{C \times Ir \times Cf}{pc}$$

Dónde:

- C = Concentración del Contaminante en el Medio, medido en mg/kg.
- Ir = Tasa de Ingesta o Tasa de Contacto. Este valor proviene de supuestos estandarizados por ATSDR y validados con los resultados locales.
- Cf = es un factor que estima la frecuencia y tiempo de la exposición. Este valor también provendrá de resultados locales levantados por las encuestas antes mencionadas.

pc = Peso corporal en kg.

5.4.2.4 Caracterización y Evaluación del riesgo para la salud humana

La evaluación del riesgo se llevará a cabo tomando en consideración los criterios establecidos en la Resolución Exenta No 406 que “Aprueba Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes y sus anexos” y la Guía Evaluación de Riesgo para la Salud de la Población del Servicio de Evaluación Ambiental.

- Superación de valores de exposición establecidos en normas primarias de calidad ambiental nacional.
- Superación de valores de exposición establecidos en normas primarias de calidad ambiental de los Estados que señala el Reglamento del SEIA.

- Aumento del riesgo preexistente.
- Superación del nivel de riesgo incremental aceptado para el caso de contaminantes cancerígenos, considerando los niveles, frecuencia y duración de la exposición.
- Cálculo de la razón de peligros (HR) y superación del nivel de riesgo incremental aceptado para el caso de contaminantes no cancerígenos, considerando los niveles, frecuencia y duración de la exposición.
- Se caracterizará el riesgo en función de los materiales que resulten relevantes del proceso de diagnóstico del ecosistema marino y de los resultados de la encuesta de consumo de productos alimenticios marinos, y en especial si tienen origen en las AMERB.

5.4.2.5 *Análisis de incertidumbre*

Se analizará cualitativamente las fuentes de incertidumbre presentes en la evaluación de riesgo. Esto incluye detallar claramente la naturaleza y magnitud de las fuentes de incertidumbre de manera de ser ponderadas a la hora de evaluar la necesidad de recopilar información adicional, incorporar factores de seguridad y elaborar las conclusiones de la evaluación.

Las incertidumbres en la evaluación de riesgo serán discutidas incluyendo, pero no limitado a, la calidad y cantidad de datos utilizados, así como los factores, supuestos y modelos utilizados que puedan llevar a sobrestimar o subestimar los resultados encontrados.

5.4.3 Integración del ERA y ERS

Los resultados del Análisis de Riesgo Ecológico y Riesgo para la Salud Humana se integrarán en un resultado integrado, de forma que la autoridad pueda tomar decisiones con fundamentos científico-técnicos más explícitos y puedan entregar esa información a la comunidad. Se formulará un modelo conceptual basado en la información de estudios de contaminación sobre los organismos, los resultados de monitoreos, los análisis de descargas de materiales realizados en RILes, y por fugas causadas en accidentes de las operaciones portuarias, un modelo de malla trófica y el riesgo para la salud humana.

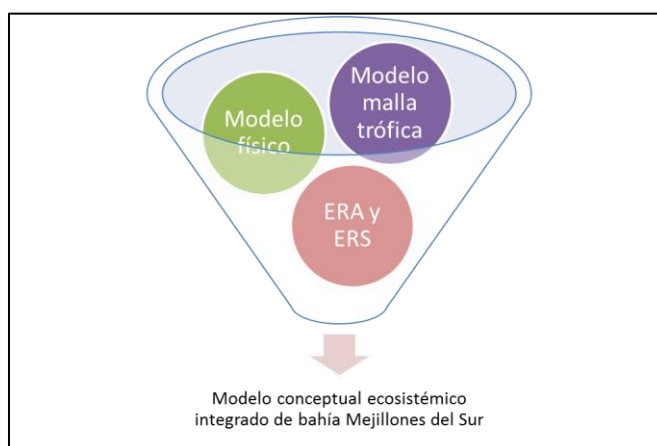


Figura 5.4.10 Esquema de integración de resultados propuesto en bahía de San Jorge.

5.4.4 Resumen de resultados OE-3

Dado lo anterior, las actividades a desarrollar para cumplir con el OE-3 son las especificadas en la Tabla 5.4.7 , y los resultados esperados y/o productos son los siguientes:

Tabla 5.4.7 Actividades, productos y resultados asociados al objetivo 3 del presente estudio.

Etapa	Actividad	Duración de la actividad	Producto o resultado esperado	Tipo de resultado
Formulación del Problema (ERE)	Integración de la información			
	Generación de una malla trófica de bahía San Jorge	60 días	Creación de una malla trófica representativa de la zona de estudio	Final
	Caracterización de emisiones	60 días	Estimación de las concentraciones y cargas másicas de entrada en la zona de estudio	Intermedio
	Caracterización funcional del ecosistema	50 días	Conceptualización del ecosistema	Final
	Definición de parámetros objetivo			
	Definición de parámetros objetivo	20 días	Selección de contaminantes y especies a estudiar en detalle a ser usadas en bioensayos y en muestreo de metales en biomasa	Final
	Taller de expertos para la selección de contaminantes	1 día	Selección de contaminantes y especies, según la mirada de especialistas	Intermedio

Etapa	Actividad	Duración de la actividad	Producto o resultado esperado	Tipo de resultado
	y especies prioritarias		de la región en la zona de estudio.	
	Consulta a la comunidad para la selección de contaminantes y especies prioritarias	1 día	Selección de contaminantes y especies, según la percepción de la comunidad u organizaciones.	Intermedio
	Elaboración de modelo conceptual de Riesgo Ecológico	20 días	Diagrama de flujo del Modelo Conceptual de Riesgo Ecológico de Bahía de San Jorge	Final
Análisis del Riesgo (ERE)	Análisis de la exposición			
	Determinación de la concentración ambiental esperada (PEC)	60 días	Percentiles y estadísticos de la concentración de los contaminantes objetivo	Intermedio
	Simulación numérica de Bahía de San Jorge	150 días	Modelo de la circulación costera y el transporte de masa de Bahía de San Jorge	Intermedio
	Análisis de los efectos			
	Bioensayos de toxicidad aguda y crónica	35 días	Resultados de ecotoxicología aguda y crónica de especies locales, representativas de distintos niveles tróficos, ante algunos contaminantes, compilados.	Intermedio
Caracterización del Riesgo (ERE)	Elaboración de base de datos ecotoxicológica (NOEC)	60 días	Base de datos de información nacional e internacional de resultados ecotoxicológicos para especies y contaminantes similares, generada.	Final
	Estimación del cociente de riesgo (RQ)	60 días	RQ determinado	Intermedio

Etapa	Actividad	Duración de la actividad	Producto o resultado esperado	Tipo de resultado
Evaluación del Riesgo a la salud humana (ERS)	Factores de bioacumulación (FMB)	50 días	FMB determinado	Intermedio
	Estimación de niveles de protección para la bahía	50 días	Niveles de protección para el ecosistema acuático, determinado	Final
	Revisión de sistemática de publicaciones científicas respecto a los impactos a la salud	40 días	Base de datos de información nacional e internacional de los impactos a la salud	Final
	Determinación de factores de exposición	42 días	Factores de exposición, determinados	Intermedio
	Determinación del Cociente de Riesgo a la Salud	50 días	RQ para la salud, determinado	Intermedio
	Estimación de niveles de protección	20 días	Niveles de protección para la salud humana	Final
	Interacción de los contaminantes y su efecto en la malla trófica	35 días	Gestión del riesgo asociado a la malla trófica y la salud humana	Intermedio
	Modelo conceptual de riesgo integrado	35 días	Modelo ecosistémico integrado	Final

5.5 Actividades a desarrollar OE-4

OE4: Proponer medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo

En este objetivo se desarrollarán dos actividades principales, a saber:

5.5.1 Elaboración de una propuesta de medidas de gestión para atenuar el riesgo

Una vez obtenidos los resultados de la evaluación de riesgo ecológico de la bahía San Jorge, y el nivel de riesgo al que están expuestos los habitantes del área de estudio, en esta etapa, se diseñará una propuesta de "Plan de Medidas de Gestión", que incluirá acciones de corto y mediano plazo que permitan atenuar los riesgos detectados y mejorar la calidad ambiental de la bahía.

Este Plan considerará acciones en el ámbito administrativo, así como propuestas de técnicas de saneamiento, de control y seguimiento, entre otras. Para la selección de dichas alternativas se tomarán en consideración aspectos como costos aproximados, efectividad de las medidas, complejidad de implementación, entre otros aspectos.

Esta etapa del estudio se realizará con la participación más amplia posible de expertos y la comunidad asociada al territorio, a través de la realización de reuniones con representantes de la comunidad, del sector público y empresas de la comuna. Estas instancias de reuniones serán programadas de común acuerdo con la contraparte técnica de la Subsecretaría y considerarán la participación de expertos técnicos que presentarán los resultados del estudio y la propuesta de gestión del riesgo. En estas reuniones se levantarán las opiniones, preguntas e inquietudes de la comunidad, las cuales serán sistematizadas para canalizarlas a través del mismo plan.

5.5.2 Elaboración de una cartera de proyectos

Se elaborará una cartera de proyectos de acuerdo con los resultados generados en el estudio, que involucre acciones destinadas a prevenir efectos ambientales adversos de origen antrópico y/o remediar sitios con presencia de contaminantes.

Considerando el desarrollo de las actividades desarrolladas a lo largo del estudio y en función de los resultados de la recopilación, sistematización y análisis de la información actualmente disponible para bahía San Jorge, así como de la información generada en las campañas de monitoreo (agua, sedimento y biota) y las restricciones propias que ellas pueden tener para el presente estudio, se establecerán las principales brechas de información que permitirían consolidar el plan de gestión ambiental que se propone instalar en Bahía San Jorge. Entre las posibles medidas a evaluar puede mencionarse: la remediación de sedimentos, procesos de bioingeniería, abatimiento, entre otros.

Para ello, se identificarán los principales vacíos de información, mediante la proposición de una lista de estudios y/o proyectos (cartera de proyectos) que podrían contribuir a mejorar la calidad de la información, con sus respectivos objetivos y alcances, priorizando finalmente aquellos que son de mayor relevancia para complementar y mejorar la gestión medioambiental de Bahía de San Jorge. Lo anterior, con el propósito de ajustar las acciones

de mediano plazo propuestas en el siguiente plan de gestión, así como establecer aquellas que deben ser consideradas en el largo plazo.

Una vez obtenidos los resultados de la evaluación de riesgo ecológico de la bahía San Jorge, y el riesgo al que está expuesta la población humana del área de estudio, se diseñará una propuesta de "Propuesta de Medidas de Gestión", que incluirá acciones de corto y mediano plazo que permitan disminuir el riesgo y mejorar la calidad ambiental de la bahía.

Este Plan considerará acciones en el ámbito administrativo, así como técnicas de saneamiento, de control y seguimiento, entre otras. Para la selección de dichas alternativas se tomarán en consideración aspectos como costos, efectividad de las medidas, complejidad de implementación, entre otros aspectos.

Se creará una cartera de proyectos, en un único documento bajo la tipología de "programa", el que incluirá:

- a) Iniciativas asociadas a la prevención de efectos ambientales adversos sobre el medio ambiente, provenientes de actividades productivas, tales como propuestas para mejorar la evaluación de proyectos, incorporación de nuevas tecnologías limpias que minimicen los escenarios de riesgo, entre otras.
- b) Iniciativas asociadas a la remediación de sitios con presencia de contaminantes y representen un riesgo ecológico y/o a la salud de la población, los que podrán incluir la recuperación de los sitios de manera directa o indirecta. Las propuestas incluirán un análisis de costos y la factibilidad y alternativas de financiamiento.

La tipología para el diseño de iniciativas se realizará a nivel de perfil y términos de referencia, y se entregarán en formato ad-hoc para su postulación al Sistema Nacional de Inversiones (<http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>).

Así, el resumen de actividades y productos de este objetivo se lista en la Tabla 5.5.1.

Tabla 5.5.1 Actividades, productos y resultados asociados al objetivo 4 del presente estudio.

Actividad	Duración de la actividad	Producto o resultado esperado	Tipo de resultado
Desarrollo de reuniones de participación ciudadana	2 días	Información relevante de temas a incluir en el Plan de Gestión, desde la comunidad, capturada.	Intermedio
Definición de un "Plan de Medidas de Gestión"	100 días	Plan de medidas de gestión, consensado y definido.	Final

Actividad	Duración de la actividad	Producto o resultado esperado	Tipo de resultado
Establecimiento de brechas de información	30 días	Brechas de información identificadas y consensuadas	Intermedio
Propuesta de árbol de soluciones	10 días	Propuesta de soluciones en base al árbol de problemas identificados en las bases	Intermedio
Reunión 2, de discusión de cartera de proyectos	1 día	Presentación de propuesta de proyectos al mandante	Intermedio
Propuesta de cartera de proyectos definitiva	1	Documento "Programa", asociado a la cartera de proyectos para la prevención y recuperación de ambientes con riesgo ambiental	Final

5.6 Actividades a desarrollar OE-5

OE5: Difundir las actividades del estudio

Este objetivo se separará en tres actividades principales, la primera asociada a la realización de reuniones periódicas con la contraparte técnica del estudio (SEREMI de Medio Ambiente de Antofagasta) y, la segunda, a la realización de talleres de difusión de las actividades y resultados del proyecto.

Adicionalmente se confeccionará un video educativo, didáctico, cuyo objetivo será entregar información respecto a los escenarios de riesgo presentes en la bahía San Jorge y educar a la comunidad respecto de cómo evitar la contaminación, así como el correcto manejo de la bahía. Este video será distribuido, a través de la contraparte técnica, en los colegios y organismos del Estado a modo de ser puesto a la disposición de la comunidad. Para la confección del video se le presentará una terna de posibles desarrolladores a la contraparte técnica, la cual evaluará y seleccionará la mejor opción.

5.6.1 Reuniones periódicas con la contraparte técnica

Se realizarán reuniones periódicas de coordinación y comunicación con la contraparte técnica, de frecuencia bimensual, y de tipo presencial o mediante videoconferencia o sistema similar, de forma de mantener informado a los mandantes del estado de avance del proyecto y la programación oportuna de las actividades.

Para formalizar y programar las reuniones, el coordinador regional del proyecto las programará con anticipación, estableciendo un calendario de las mismas.

Se elaborará un acta de contenidos y acuerdos de dichas reuniones por parte del coordinador regional del proyecto, acta que será distribuida a los participantes, para su aprobación.

A continuación, se presenta una propuesta de programación de tales reuniones de trabajo:

Tabla 5.6.1 Programación de reuniones con la contraparte técnica y la consultora

Fecha	Descripción
Semana 3 o 4 de agosto 2018	Reunión 1
Semana 3 o 4 de octubre 2018	Reunión 2
Semana 3 o 4 de diciembre 2018	Reunión 3
Semana 3 o 4 de febrero 2019	Reunión 4
Semana 3 o 4 de abril 2019	Reunión 5
Semana 3 o 4 de junio 2019	Reunión 6
Semana 3 o 4 de agosto 2019	Reunión 7
Semana 3 o 4 de octubre 2019	Reunión 8
Semana 3 o 4 de diciembre 2019	Reunión 9
Semana 3 o 4 de febrero 2019	Reunión 10
Semana 3 o 4 de abril 2019	Reunión 11
Semana 3 o 4 de junio 2019	Reunión 12
Semana 3 o 4 de agosto 2019	Reunión 13
Semana 3 o 4 de octubre 2019	Reunión 14
Semana 3 o 4 de diciembre 2019	Reunión 15
Semana 3 o 4 de febrero 2020	Reunión 16
Semana 3 o 4 de abril 2020	Reunión 17
Semana 3 o 4 de junio 2020	Reunión 18
Semana 3 o 4 de agosto 2020	Reunión 19
Semana 3 o 4 de octubre 2020	Reunión 20
Semana 3 o 4 de diciembre 2020	Reunión 21
Semana 3 o 4 de febrero 2020	Reunión 22
Semana 3 o 4 de abril 2020	Reunión 23

5.6.2 Realización de talleres de difusión

Se realizarán **dos talleres de difusión** ante la comunidad y autoridades de la región, de modo de presentar el desarrollo del estudio y sus resultados y **un taller final**.

La citación de los talleres será por cuenta de la contraparte técnica, con el apoyo del coordinador regional del estudio, y en forma anticipada se discutirán los contenidos de este,

se elaborará una agenda preliminar y definitiva y la citación propiamente tal. De cada uno de estos talleres se levantará un acta y un listado de asistentes, información que será almacenada en forma conjunta con las presentaciones y todo material de difusión (audio, video, fotografías) en archivos digitales.

Los contenidos preliminares de los talleres serán:

1. **Taller de difusión 1:** Resultados de 9 primeros meses de trabajo, lo que incluye la sistematización de la información histórica, los monitoreos semestrales de las matrices de calidad de agua, sedimento y biota, y los avances en la evaluación de riesgo ecológico y de salud a las personas.
2. **Taller de difusión 2:** Validación del plan de gestión y de las propuestas de medidas, juntamente con un levantamiento de causas, lo que permitirá focalizar la cartera de proyectos.
3. **Taller final:** De presentación de resultados finales; siendo este el taller final donde se presentarán todos los resultados y hallazgos.

La Tabla 5.6.2 Tabla 5.6.3 muestra las fechas programadas en función del cronograma de actividades del estudio:

Tabla 5.6.2 Fechas propuestas para los talleres del estudio

Actividad	Fecha propuesta	Trimestre/Mes
Taller de difusión N°1	viernes, 05 de abril de 2019	Trimestre 3/Mes 3
Taller de difusión N°2	jueves, 05 de diciembre de 2019	Trimestre 6/Mes 2
Taller Final	viernes, 05 de junio de 2020	Trimestre 8/Mes 1

5.6.3 Productos de difusión

Se realizará un video educativo, didáctico, cuyo objetivo será entregar información respecto a los escenarios de riesgo presentes en la bahía San Jorge y educar a la comunidad respecto de cómo evitar la contaminación, así como el correcto manejo de la bahía.

La empresa a cargo del desarrollo emergerá de una terna propuesta por el ejecutor al supervisor técnico del proyecto, y el guion, duración y formato, será consensuado con la contraparte técnica.

Se entregarán 200 (doscientas) copias en formato pendrive del video, para ser distribuido en los colegios y organismos del Estado a modo de ser puesto a disposición de la comunidad.

Así, el resumen de actividades y productos de este objetivo se lista en la Tabla 5.6.3.

Tabla 5.6.3 Actividades, productos y resultados asociados al objetivo 5 del presente estudio.

Actividad	Duración de la actividad	Producto o resultado esperado	Tipo de resultado
Taller 1 de presentación de avances	1 día	Presentación de avance de las actividades de los primeros 9 meses del proyecto	Final
Taller 2 de presentación de avances	1 día	Validación de propuestas de medidas de gestión y levantamiento de información para cartera de proyectos	Final
1 taller Final de presentación de resultados	1 día	Presentación de resultados finales del estudio a las autoridades y la comunidad	Final
Desarrollo de video educativo	180 días	Video educativo en formato pendrive	Final

6 RESUMEN DE ACTIVIDADES

A modo de realizar una evaluación de riesgo para la salud de las personas, así como para el ecosistema marino de la bahía San Jorge, será necesario ejecutar las siguientes actividades que son descritas según los objetivos específicos:

- a. Recopilar y sistematizar la información existente del área de estudio.
- b. Definir un modelo conceptual de las relaciones entre las fuentes emisoras, la población y los sistemas ecológicos.

Para la evaluación de riesgo ecológico y de la salud de las personas, se deberá realizar la:

- c. Identificación del Peligro.
- d. Evaluar la exposición (PEC)
- e. Evaluar el efecto (PNEC)
- f. Caracterizar el riesgo a través de la determinación del Cociente de Riesgo (RQ).

Para atenuar el riesgo, se deberá:

- g. Proponer medidas de gestión, orientadas a la atenuación del riesgo.
- h. Elaborar una cartera de proyectos.

Para difundir los avances y resultados del estudio se realizarán las siguientes actividades

- i. Desarrollar 2 talleres de difusión y un taller final de presentación del estudio.
- j. Elaborar materiales de difusión.

Finalmente, para que exista un adecuado control de las actividades desarrolladas, se plantea:

- k. Elaborar 3 informes de avance y 1 informe final,

Estas actividades son reestructuradas en una serie de etapas o procesos, donde además los proponentes han incorporado un conjunto de nuevas actividades que complementan el estudio y sus resultados.

Las 10 actividades principales se pueden identificar en la columna 1 de la Figura 3.2.1 con su letra respectiva y en la segunda columna se indican las actividades propuestas.

El cumplimiento de los objetivos específicos permitirá responder el objetivo general de la consultoría. Los objetivos específicos, al objeto de desglosar las actividades, son considerados como Etapas del Estudio.

7 RESUMEN DE PRODUCTOS, SUBPRODUCTOS Y RESULTADOS

A continuación, en la Tabla 5.6.1 se detallan los resultados, productos, y subproductos necesarios, para cumplir con cada uno de los objetivos principales del estudio, y los plazos para obtenerlos.

Tabla 5.6.1 Resumen de resultados y productos.

Resultados esperados	Respecto a las bases
OE0: Plan de Trabajo y Metodología Ajustada	
1.- Descripción de la metodología completa y carta Gantt de cada uno de los productos señalados a continuación	a
OE1: Recopilación y sistematización de la información	
2.-Información relativa al tema, recopilada, sistematizada y analizada	a
OE2: Modelo Conceptual de Contaminantes en las Matrices Ambientales	

Resultados esperados	Respecto a las bases
3. Listado caracterizado de Sustancias potencialmente contaminantes que se espera estén presentes en cada una de las matrices ambientales en evaluación, de acuerdo con las fuentes contaminantes identificadas en el área de estudio	b
4. Estudio y recopilación de información de las características fisicoquímicas de las sustancias potencialmente contaminantes presentes en el área de estudio, de las matrices ambientales, y de los procesos que determinan la transformación y dispersión de las sustancias	b
5. Modelo conceptual de contaminantes en las matrices ambientales, que incluya la determinación de las sustancias contaminantes y la forma química que se espera estén presentes en los distintos medios ambientales	b
OE3: Evaluación de riesgo a la salud humana y ecológica	
6. Características fisicoquímicas de las matrices agua y sedimento en el área de estudio sobre la base de la recopilación de información existente y la generada por este estudio, a través de las 4 campañas de monitoreo	e
7. Caracterización de la estructura y funcionalidad del ecosistema marino de la bahía, la concentración de contaminantes en las diferentes matrices, que pueden suponer un riesgo para la salud de las personas y el sistema ecológico, determinado sobre la base de recopilación de la información existente y la generada por este estudio	d
8. Concentración de metales pesados en los tejidos de los recursos marinos seleccionados [bioacumulación], así como el tipo de metales y grado de acumulación.	d
9. Distribución y transformación de agentes contaminantes en el medio acuático (modelo de distribución de contaminantes y modelo de calidad del agua	d

Resultados esperados	Respecto a las bases
10. Riesgo sobre la salud de las personas y los sistemas ecológico en la Bahía San Jorge	he, f
11. Conclusiones y recomendaciones	c, d, e, f
OE4: Propuesta de gestión del riesgo a la salud humana y ecológico	
12. Identificación de medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo. Análisis de ventajas y desventajas, factibilidad técnica y costos	g
13. Propuesta de medidas de gestión idóneas orientadas a la atenuación del riesgo identificado	g
14. Conclusiones y recomendaciones	g
15. Cartera de proyectos de acuerdo con los resultados generados en este estudio	i
OE5: Difusión de resultados	
16. Reuniones de discusión (una cada dos meses) con la contraparte técnica y dos talleres de difusión en el que se levanten y sistematicen las opiniones, preguntas e inquietudes de la población general	h
17. Video educativo de difusión	h
18. Tres informes de Avance y un informe final	h

8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se entrega la carta Gantt general de las actividades, separadas por objetivo específico. El plazo total del estudio, según bases, es de 24 meses, contados desde la fecha de adjudicación del proyecto. Esta fecha de inicio corresponde al 07 de agosto de 2018.

La Figura 5.6.1 y Figura 5.6.2 muestran el cronograma de actividades para los OE0, OE1, OE2 y OE3, mientras que la Figura 5.6.3 y Figura 5.6.4 dan cuenta del cronograma para los OE4 y EO5. Por último, la Tabla 5.6.1 muestra las fechas propuestas para la realización de los hitos de importancia del estudio, tales como reuniones, talleres de difusión y entregables.

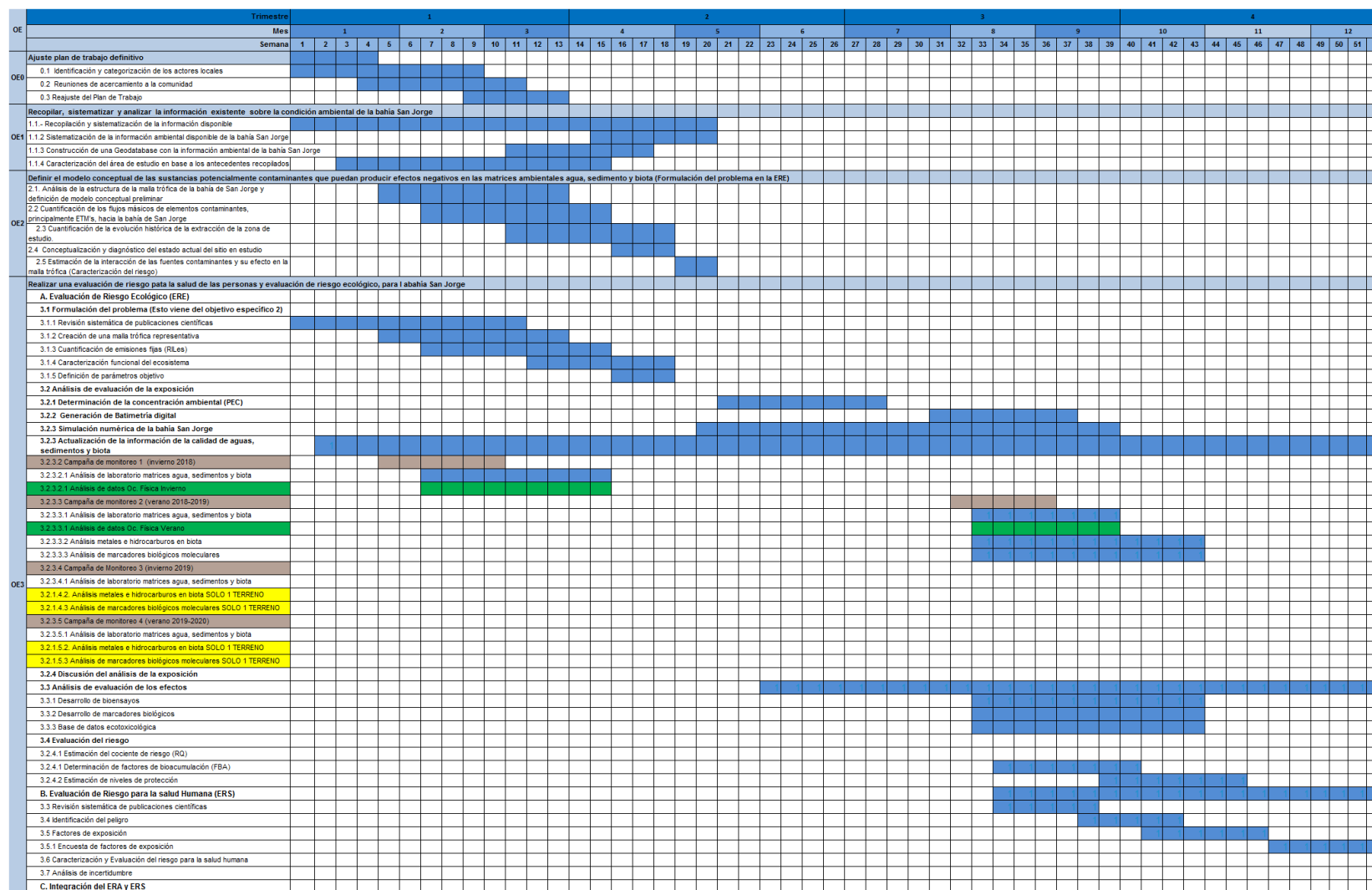
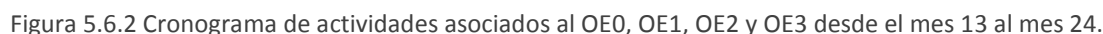


Figura 5.6.1 Cronograma de actividades asociados al OE0, OE1, OE2 y OE3 desde el mes 1 al mes 12.



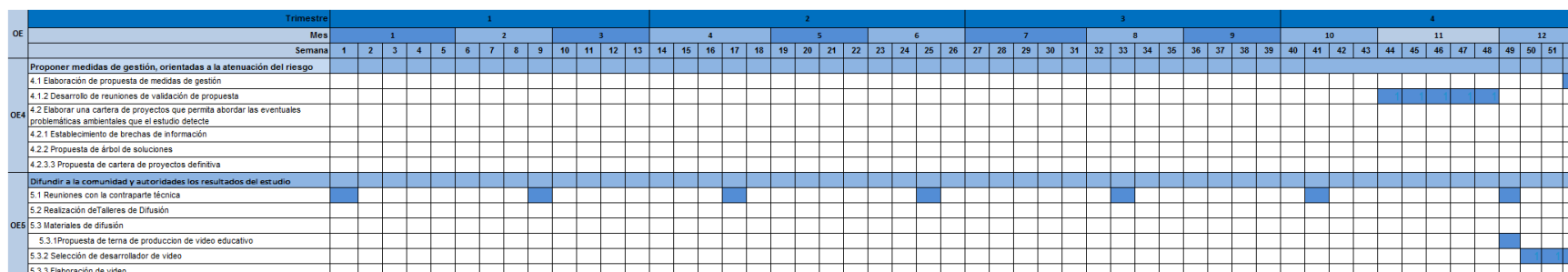


Figura 5.6.3 Cronograma de actividades asociados al OE4 y OE5 desde el mes 1 al mes 12.

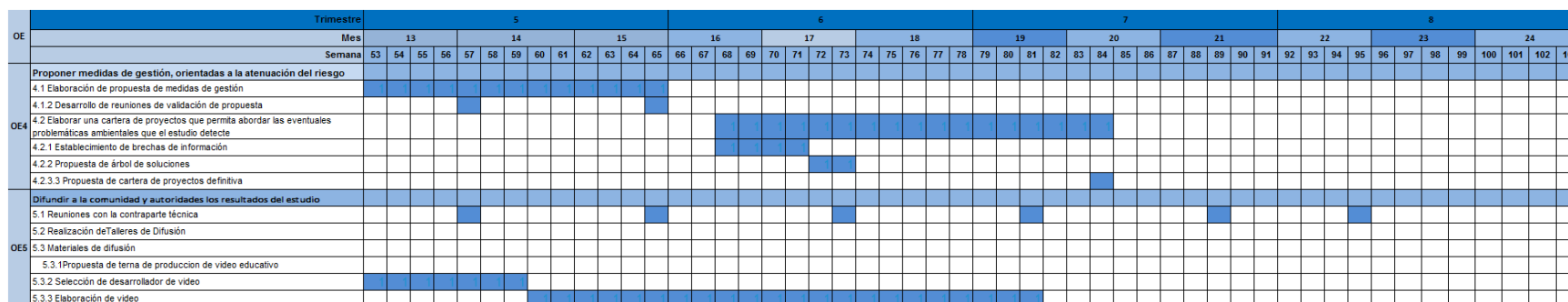


Figura 5.6.4 Cronograma de actividades asociados al OE4 y OE5 desde el mes 13 al mes 24.

Tabla 5.6.1 Hitos del estudio con fechas propuestas su realización

Hitos del estudio	Fecha propuesta
Hito 0: Informe Plan de Trabajo Definitivo	viernes, 31 de agosto de 2018
Hito 1: Informe Plan de Trabajo Definitivo Modificado (opcional)	martes, 30 de octubre de 2018
Hito 4: Taller de definición de agentes y especies de interés	miércoles, 05 de diciembre de 2018
Hito 3: Modelo conceptual definido	martes, 04 de diciembre de 2018
Hito 2: Informe de Avance N°1	miércoles, 03 de enero de 2019
Hito 5: Informe de Avance N°2	martes, 02 de julio de 2019
Hito 6 : Plan de Medidas de Gestión Validado.	lunes, 02 de diciembre de 2019
Hito 9: Taller de difusión N°1	viernes, 05 de abril de 2019
Hito 7: Informe de Avance N°3	viernes, 27 de diciembre de 2019
Hito 8. Reunión de discusión de cartera de proyectos	lunes, 03 de febrero de 2020
Hito 10: Taller de difusión N°2	jueves, 05 de diciembre de 2019
Hito 11: Difusión de video educativo	lunes, 30 de marzo de 2020
Hito 12: Informe Final	martes, 28 de abril de 2020
Hito 13: Taller Final	viernes, 05 de junio de 2020
Hito 14: Término del proyecto	domingo, 26 de julio de 2020

9 CALENDARIO DE INFORMES, CONTENIDOS Y FECHAS DE ENTREGA

Tabla 5.6.1 Calendario de documentos entregables a la contraparte técnica

Informe	Contenido	Fecha entrega
Plan de trabajo	1. Informe con plan de trabajo del estudio, describiendo metodología, productos a entregar por etapa y cronograma (carta Gantt actualizada)	viernes, 31 de agosto de 2018
Informe de Avance 1	1. Resultados de la recopilación y sistematización de la información disponible.	jueves, 03 de enero de 2019
	2. Modelo conceptual (Formulación del problema).	
	3. Diseño de monitoreo.	
	4. Avance en la ejecución del monitoreo.	
	5. Avances resultados marcadores biológicos.	
Informe de avance 2	1. Identificación de peligros	martes, 02 de julio de 2019
	2. Avance en la evaluación de exposición	
	3. Avance en la evaluación del efecto.	
	4. Avance en la ejecución del monitoreo	
	5. Avances resultados marcadores biológicos.	
Informe de avance 3	1. Avances en la evaluación de la exposición.	viernes, 27 de diciembre de 2019
	2. Avance en la evaluación del efecto	
	3. Avance en la caracterización del riesgo	
	4. Avance en la ejecución del monitoreo.	
	5. Avances resultados marcadores biológicos.	

Informe	Contenido	Fecha entrega
Informe final	1. Resultados de la recopilación y sistematización de la información disponible.	martes, 28 de abril de 2020
	2. Resultado de la evaluación de riesgo.	
	3. Diagnóstico de la bahía y del grado de riesgo para la salud de las personas y el ecosistema.	
	4. Propuesta gestión del riesgo	
	5. Cartera de proyectos	
	6. Registro de reuniones y talleres	
	7. Video informativo.	
	8. Registros de reuniones y talleres.	

10 EQUIPO PROFESIONAL

El equipo profesional es mostrado en la Tabla 5.6.1, asimismo en la Figura 7.1 se describe el organigrama propuesto para el estudio, el cual guarda directa relación al equipo de profesionales presentado.

Tabla 5.6.1 Equipo profesional para el estudio

Nombre del Profesional	Título y grado académico	Función en el proyecto	Organización	N° horas
Manuel Contreras Leiva	Biólogo, Dr. en Ciencias Biológicas	Jefe de Proyecto	CEA	850
Marco Ortiz Hinojosa	Biólogo Marino, Dr. En Recursos Naturales	Profesional encargado del área Biología y Ecología Marina	Universidad de Antofagasta/CEA	450
Nicolás Coliñir	Ing. Agrónomo	Coordinador regional del proyecto	CEA	2040
Pamela Hidalgo Díaz	Ing. en Acuicultura, Dra. en Oceanografía	Profesional encargado área Oceanografía	Universidad de Concepción/CEA	600
Ítalo Serey	Profesor de Biología y Ciencias, Dr. en Biología	Profesional encargado área riesgo	CEA	300
Yovana Leal	Ingeniero Civil Industrial, Mención Informática	Profesional Encargado Cartera de Proyectos	Consultor	350
Marcelo Saavedra Pérez	Biólogo, MSc. En Gestión y Planificación Ambiental	Profesional Encargado área Difusión	CEA	200
Mariella Rivas	Bióloga Marina, Dr. En Ciencias Biomédicas	Profesional encargado de ecotoxicología	Universidad de Antofagasta/CEA	200

Nombre del Profesional	Título y grado académico	Función en el proyecto	Organización	N° horas
Ítalo Serey	Profesor de Biología y Ciencias, Dr. en Biología	Profesional encargado de la ERA	CEA	560
Patricia Matus Correa	Médico, Dr. en Salud Pública	Profesional encargado de ERS	CEA/CIAMA	270
Mariela Arévalo Higuera	Ing. Civil Químico, MBA	Profesional evaluación de riesgo salud	CEA/CIAMA	60
Marisol Salgado López	Kinesióloga	Profesional evaluación de riesgo salud	CEA/CIAMA	60
Aldo Barba	Biólogo Marino	Muestreador Medio Marino	CEA	150
Cristian Godoy Barbieri	Ing. Civil Hidráulico, Dr(c) en Ciencias de la Ingeniería	Profesional encargado de análisis hidrodinámico de costas (modelación)	CEA	340
Diego Arce Morán	Ing. Civil Hidráulico, Magister en Ciencias de la Ingeniería	Profesional análisis caracterización riesgo y efectos ERA	CEA	240
Marcelo Saavedra Pérez	Biólogo, MSc. En Gestión y Planificación Ambiental	Profesional encargado de Difusión	CEA	200
Patricio Bahamondes Núñez	Biólogo Marino	Profesional área Ecología y Biología. Muestreador medio marino	CEA	360
Felipe Lillo	Ingeniero Ambiental - Químico analista	Encargado área calidad de agua y sedimentos	CEA	240
Fernanda Díaz	Geógrafa	Encargada sistemas de información geográfica	CEA	240
Juan Navarro	Cartógrafo	Especialista sistemas de información geográfica	CEA	240
Salvador López	Ing. Civil Hidráulico	Profesional especialista en sistematización de datos	CEA	180

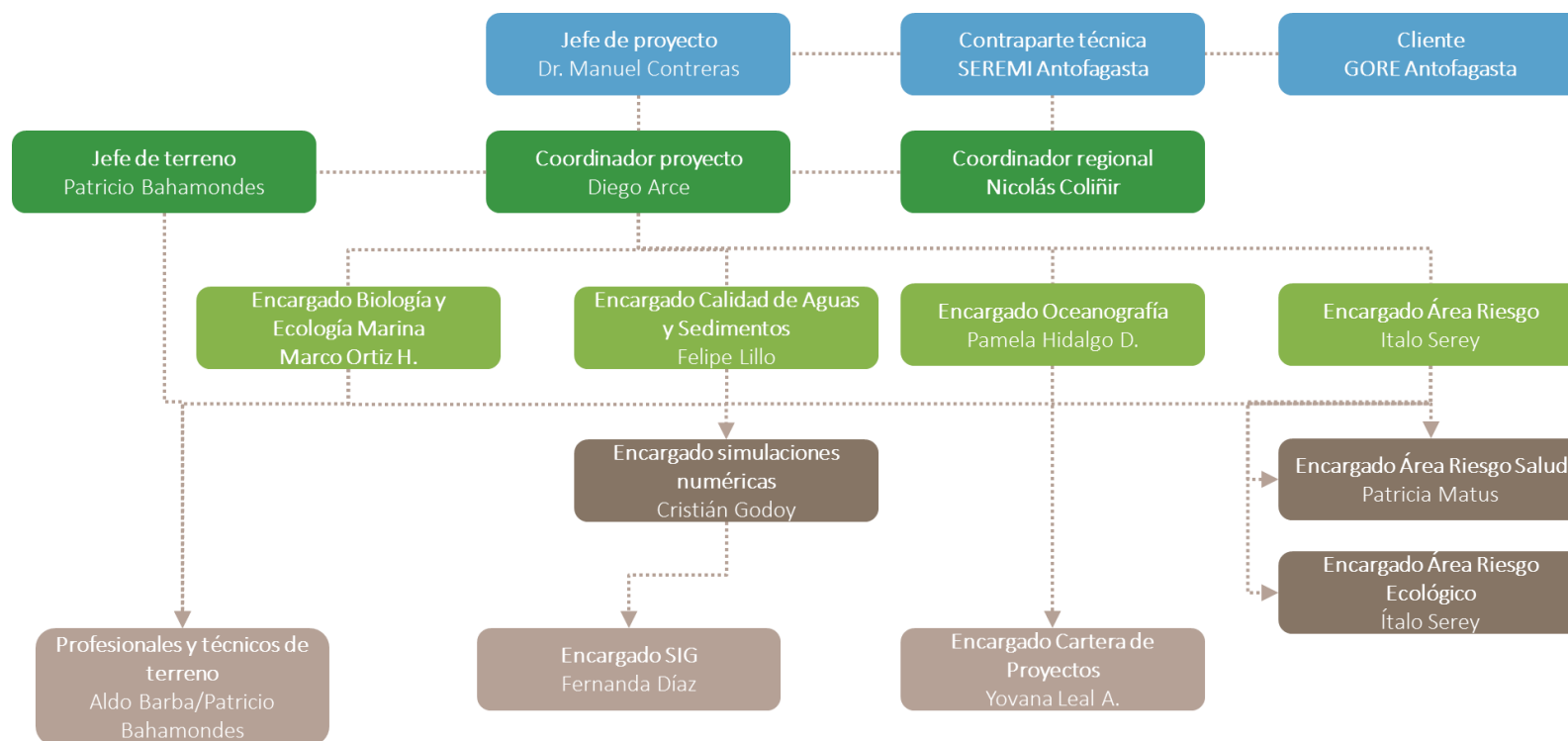


Figura 5.6.1 Organigrama considerado para el estudio

11 ANEXO: METODOLOGÍAS DE MUESTREO ESTACIONAL DE CALIDAD DE AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA

Se realizarán 4 campañas de monitoreo, distribuidas semestralmente durante los 2 años que durará el proyecto, en período cálido (marzo) y en período frío (septiembre), de acuerdo con las directrices establecidas en Valdés et al (2012).

Las campañas de muestreo se desarrollarán, con embarcaciones, personal de apoyo y buzos de la localidad de Tocopilla y serán lideradas y supervisadas por la Dra. Pamela Hidalgo, oceanógrafa líder del presente estudio, de amplia experiencia de más de 20 años en ecosistemas costeros de la Región de Antofagasta, quién garantizará que las metodologías y procedimientos utilizados sean los adecuados para asegurar la calidad de los datos y cumplir con el estándar nacional en la toma de muestras.

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

En la zona submareal del área de estudio se distribuirán 10 puntos de muestreo (BSJ-01-BSJ-10), en los cuales se caracterizarán las componentes ambientales; a) calidad química de la columna de agua, en dos estratos (Superficie y Fondo), b) Calidad química de los sedimentos submareales, c) Caracterización de las comunidades planctónicas (Fitoplancton, Zooplancton e Ictioplancton), d) Caracterización de las comunidades bentónicas (Macroinfauna). 2 de los 10 puntos de muestreo consideran su ubicación de acuerdo con los PVA de Antofagasta terminal internacional/Empresa portuaria Antofagasta (BSJ-06) y al PVA de Minera la Escondida (BSJ-10).

Por otra parte, para determinar áreas de concentración de contaminantes, se proponen 3 grillas de muestreo con 10 puntos cada una, las que serán distribuidas en los sectores “Coloso”, “Puerto Antofagasta” y “La Rinconada”. La variable a considerar en cada una de las grillas será el contenido de metales en sedimentos y la distribución de cada uno de los puntos, será acordada con la contraparte técnica en la reunión de inicio.

En la zona intermareal del área de estudio se distribuirán 8 puntos de muestreo. En 3 puntos se evaluará la calidad química de los sedimentos (Balnearios). En 7 puntos se caracterizarán las comunidades bentónicas intermareales de sustrato blando (TI-02-TI-08). En 1 punto se caracterizarán las comunidades intermareales de sustrato duro (TI-01)

Para la descripción del contenido de metales e hidrocarburos en la biota marina, se realizará 1 campaña de muestreo durante el periodo de estudio, considerará una línea de investigación que guarda relación con su potencial amenaza a la salud humana (análisis de metales en órgano o tejido comestible), ya sea directa o indirectamente a través de la cadena alimentaria. Los organismos, criterios de selección, periodo a realizar la campaña y puntos de muestreo, serán acordados con todos los actores del sistema ambiental (Pescadores, Industriales, Servicios Públicos, Taller de expertos). El número máximo de muestras a recolectar y analizar será de 25.

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

Calidad de agua: Profundidad, Velocidad y dirección de corrientes, Temperatura, pH

Oxígeno disuelto, Sólidos disueltos, Salinidad, Turbidez, Arsénico, Amonio, Grasas y aceites, Hidrocarburos totales, Mercurio, Aluminio, Plomo, Cromo, Níquel

Sedimentos: pH, Materia Orgánica, COT, Granulometría, Hidrocarburos totales, Arsénico

Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo, Vanadio, Hidrocarburos alifáticos totales, Níquel, Zinc

Cadmio, Aluminio

Biota: Índices comunitarios y ecológicos, Riqueza específica, Biomasa, Abundancia, Bioacumulación en recursos hidrobiológicos: Antraceno, Fenantreno, Naftaleno, Talio, Mercurio, Cobre, Zinc, Plomo, Níquel, Aluminio, Arsénico, Vanadio, Cromo, Cadmio.

Los parámetros anteriores serán distribuidos como sigue en las siguientes tablas.

Tabla 5.6.1 Parámetros de calidad de agua marina que se analizarán en 4 campañas estacionales en Bahía San Jorge, Antofagasta.

Categoría	Parámetros	Nº estaciones	Estratos
Estaciones de muestreo columna de agua	Profundidad	7	
	Temperatura	7	2
	pH	7	2
	Oxígeno Disuelto	7	2
	Sólidos Disueltos	7	2
	Salinidad	7	2
	Turbidez	7	2
	Arsénico	7	2
	Amonio	7	2
	Grasas y Aceites	7	2
	Hidrocarburos Totales	7	2
	Zinc	7	2
	Coliformes Fecales	7	2
	Coliformes Totales	7	2
	Cadmio	7	2
	Cobre	7	2
	DBO ₅	7	2
	Fósforo Total	7	2
	Hidrocarburos Alifáticos (HAL).	7	2
	Aluminio	7	2
	Mercurio	7	2
	Plomo	7	2
	Cromo	7	2
	Níquel	7	2

Tabla 5.6.2 Parámetros de calidad de sedimentos marinos que se analizarán en 4 campañas estacionales en Bahía San Jorge.

Categoría	Parámetros	Nº puntos	Estratos
	Materia Orgánica	7	1
	COT	7	1

Categoría	Parámetros	Nº puntos	Estratos
Estaciones de muestreo de sedimentos	Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)	7	1
	Arsénico	7	1
	Cobre	7	1
	Cromo	7	1
	Mercurio	7	1
	Plomo	7	1
	Vanadio	7	1
	Hidrocarburos Alifáticos Totales (HAL).	7	1
	pH	7	1
	Aluminio	7	1
	Níquel	7	1
	Zinc	7	1
	Cadmio	7	1

Tabla 5.6.3 Parámetros de la biota que se muestrearán en 4 campañas estacionales en Bahía San Jorge.

Parámetros	Nº puntos
Fitoplancton	
Cualitativo	10
Cuantitativo	10
Zooplancton	
Cuantitativo	10
Biomasa	10
Ictioplancton	
Cuantitativo	10
Biomasa	10
Comunidades intermareales fondo duro	1
Comunidades intermareales fondo blando	7
Comunidades submareales fondo blando	10
Metales en biota	25
Hidrocarburos en biota	25

La metodología y análisis de las matrices de agua, sedimento y biota se presentan a continuación:

11.1 Metodología muestreo y análisis de la columna de agua

La toma de muestras y preservación de los parámetros de calidad de agua se realizará de acuerdo al procedimiento general de muestreo PGL-13 del Laboratorio CEA “Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras”, el cual está basado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005 y las normas chilenas NCh411/1.Of96 (Diseño y programa de muestreo), NCh411/2.Of96 (Técnicas de muestreo), NCh411/3.Of96 (preservación y manejo de muestras), NCh411/4.Of97 y NCh411/6.Of98.

El análisis de las muestras de calidad de agua se realizará en laboratorios acreditados en el sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de normalización, INN, bajo la norma ISO NCh.17025 en el área fisicoquímica para aguas crudas. Se privilegiará a laboratorios de Antofagasta. Sin embargo, aquellos parámetros que no se realicen en la región se enviarán a laboratorios acreditados en el INN, bajo la norma ISO NCh.17025.

El total de parámetros que se analizarán en laboratorios, en conjunto con la metodología de análisis, se incorpora en la Tabla 11.1.1.

Tabla 11.1.1 Parámetros de calidad del agua marina que se analizarán en 4 campañas estacionales en bahía de San Jorge.

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Metodología
Aceites y Grasas	2	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 5520 D.
Amonio	4	ug/L	PTL-9, basado en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 4500-NH3 F.
Arsénico	0.012	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 3120 B.
Cadmio Disuelto	0.002	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 3120 B.
Aluminio disuelto	mg/L	0.01	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 3120 B.
Salinidad	g/L	-	Perfiles continuos desde la superficie a las proximidades del fondo. Determinación: sonda CTD, IdronautOceanSeven modelo 316plus
Cobre Disuelto	0.009	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 3120 B.
Coliformes Fecales	1.8	NMP/1 00mL	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 9221 E.
Coliformes Totales	1.8	NMP/1 00mL	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 9221 B.
Cromo Disuelto	0.011	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 3120 B.
DBO5	2	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 5210 B.
Fósforo total	3	ug/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012, Método 4500-P B y E.
Hidrocarburos Alifáticos totales	1	mg/L	Método basado en los métodos EPA 8015 y EPA 5021.

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Metodología
Hidrocarburos totales	1	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012, Método 5520 F.
Mercurio Disuelto	0.0005	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012, Método 3112 B.
Níquel Disuelto	0.002	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012, Método 3120 B.
Oxígeno disuelto	-	mg/L	Perfiles continuos desde la superficie a las proximidades del fondo. Determinación: sonda CTD, IdronautOceanSeven modelo 316plus
pH	-	-	Perfiles continuos desde la superficie a las proximidades del fondo. Determinación: sonda CTD, IdronautOceanSeven modelo 316plus
Plomo Disuelto	0.003	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012, Método 3120 B.
Sólidos totales disueltos	1	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012, Método 2540 C.
Temperatura	-	°C	Perfiles continuos desde la superficie a las proximidades del fondo. Determinación: sonda CTD, IdronautOceanSeven modelo 316plus
Turbidez	0.02	NTU	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012, Método 2130 B.
Zinc Disuelto	0.002	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012, Método 3120 B.

Se realizará la medición *en la columna de agua* de perfiles verticales *in situ* de profundidad, temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y turbidez del agua, en la totalidad de los puntos de muestreo, cubriendo especialmente todo el sector costero de interés. Las mediciones se realizarán con una Sonda CTD Ocean Seven 316 Plus (o equipo similar), debidamente configurada para el ambiente marino (Figura 11.1.1), la cual será programada para que ejecute integraciones de la magnitud de estos parámetros cada 5 a 10 segundos a medida que descienda por la columna de agua hasta la profundidad máxima permisible en cada punto de muestreo. La información recolectada se guardará en la memoria sólida de la sonda, para luego ser analizada.

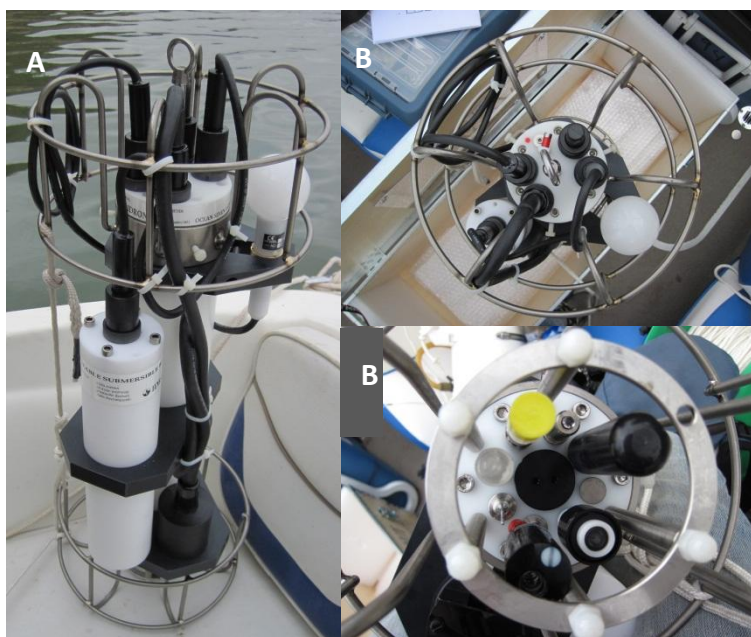


Figura 11.1.1 Sonda CTD tipo Ocean Seven 316 Plus. A) Vista lateral, B) Vista parte superior C) Vista parte inferior.

Los registros serán comparados con la norma nacional D.S.144/2009, Normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo, y no aptas para dicha actividad por estado de emergencia y con la normativa internacional EPA 2009 (Environmental Protection Agency, United States) y CCME 2007, Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life).

11.2 Metodología muestreo sedimento submareal e intermareal

Para sedimentos la toma de muestras se realizará mediante un Core de 0,0087m², de modo de no introducir contaminación por elementos traza y muestrear siempre el mismo estrato o mediante una draga de acero inoxidable, dependiendo de la profundidad máxima de cada punto de muestreo. En cada punto de muestreo se colectarán aproximadamente 500 g, y se almacenarán en bolsas de polietileno selladas con cierre hermético, refrigeradas a una temperatura constante de 4°C y posteriormente transportadas al laboratorio.

El análisis de las muestras de Sedimentos se realizará en Laboratorios acreditados en el sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de normalización, INN, bajo la norma ISO NCh.17025. Se privilegiará a laboratorios de Antofagasta. Sin embargo, aquellos parámetros que no se realicen en la región se enviarán laboratorios acreditados en el INN, bajo la norma ISO NCh.17025.

Los registros serán comparados con las normativas internacionales Persaud 1993 (Guidelines for the protection and management of aquatic sediment Quality in Ontario), y CCME 2002 (Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life).

El total de parámetros que se analizarán en laboratorios, en conjunto con las normas de análisis, se lista en la Tabla 11.2.1.

Tabla 11.2.1 Parámetros de calidad de sedimentos marinos que se analizarán en campañas estacionales en Bahía San Jorge.

Parámetro	Unidad	LD	Norma
Aluminio	mg/kg	5	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3111 B.
Arsénico	mg/kg	0.01	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050 B, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3120 B.
Cadmio	mg/kg	0.1	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3111 B.
Cobre	mg/kg	3.5	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3111 B.
Cromo	mg/kg	0.5	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3111 B.
Níquel	mg/kg	1.5	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3111 B.
Plomo	mg/kg	0.5	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3111 B.
Vanadio	mg/kg	2.5	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3111 B.
Zinc	mg/kg	5	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 3050, y Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012. Método 3111 B.
Mercurio	mg/kg	0.01	I-ENV-LAB-110 basado en método EPA 7471 AB.
Materia Orgánica total	%	0.01	Metodología de ensayo establecida en la Resolución Exenta SUBPESCA N° 3.612 de 2009 - N° 1508 de 2014 - N° 2656 de 2014.
COT	%	0.1	I-ENV-LAB-116 basado en método EPA 9060A.
Hidrocarburos Aromáticos totales	mg/kg	-	Método TX 1006, para la determinación de fracciones aromáticas y alifáticas de hidrocarburos, mediante Cromatografía Gaseosa con detección FID (flame ionization).
Hidrocarburos Alifáticos	mg/kg	-	
Hidrocarburos totales	µg/g	-	
pH	-	-	PTL-22, basado en el Manual de Equipo Multiparamétrico P4 y Multi 340i y según Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 22nd Edition. 2012, Método 4500-H+B.

Las campañas de terreno para calidad de agua y sedimentos se desarrollarán y se ajustarán a la normativa ambiental vigente en el país, incluyendo lo dispuesto para ello por la Autoridad Marítima, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA),

y todas las demás instituciones del Estado que tengan competencia en esta materia. Entre los lineamientos se pueden referenciar los siguientes documentos:

- i. Guía Metodológica de revisión Técnica de Estudios de Impacto Ambiental en el Medio Marino Acuático de Jurisdicción Nacional, para proyectos que contemplen “Descargas de Residuos Líquidos, de Puertos y terminales Marítimos u Otros”,
- ii. D.S. N° 711 SHOA, y licencias de navegación, buceo u otras actividades que se consideren de riesgo.
- iii. Resolución 37 Exenta (15-01-2013) del Ministerio del Medio Ambiente, titulada “DICTA E INSTRUYE NORMAS DE CARÁCTER GENERAL SOBRE ENTIDADES DE INSPECCIÓN AMBIENTAL Y VALIDEZ DE REPORTES”.
- iv. “Guía Metodológica sobre procedimientos y consideraciones ambientales básicas para la descarga de aguas residuales mediante emisarios submarinos” de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR).
- v. Guía metodológica de revisión técnica sectorial de estudios de impacto ambiental en el medio ambiente acuático de jurisdicción nacional para proyectos que contemplan “Descargas de residuos líquidos, de puertos y terminales marítimos y otros”, de la Armada de Chile.
- vi. “Manual para la cuantificación de externalidades de proyectos portuarios”. Mideplan.1997
- vii. “Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario”. Persaud, 1993.
- viii. “Canadian Sediment Quality Guidelines”. CCME, 2002
- ix. “NOAA Screening Quick Reference Tables, National Oceanic and Atmospheric Administration for the Protection of Aquatic Life”. Buchman, 2008
- x. Programa de observación del ambiente litoral, POAL.

11.3 Metodología muestreo y análisis comunidades planctónicas

El análisis cualitativo de fitoplancton se realizará mediante la colecta de una muestra integrada de columna de agua utilizando una red cónica con una apertura de malla de 60 µm, una apertura de boca de 60 cm, izándola verticalmente desde las proximidades del fondo de cada punto de muestreo. La muestra colectada será traspasada a botellas y fijadas

con formalina-agua de mar al 10%. El resultado se expresará como Índice de Abundancia Relativa (I.A.R), de acuerdo a los criterios ilustrados en la Tabla 11.3.1.

Tabla 11.3.1 Criterio para determinar el Índice de Abundancia Relativa (I.A.R) para la comunidad de fitoplancton.

I.A.R.	Diatomeas	Dinoflagelados
Raro (R)	1 célula	1 célula
Escaso (E)	2-10 células	2-10 células
Abundante (A)	11-50 células	11-30 células
Muy Abundante (M)	> 50 células	> 30 células

El análisis cuantitativo de fitoplancton se realizará mediante la obtención de muestras en duplicado, a 2 estratos de columna de agua (Superficie y Fondo) utilizando una botella oceanográfica Niskin de 11 L, con el objetivo de capturar organismos de pequeño tamaño en un volumen conocido. El recuento de microalgas se realizará mediante microscopía inversa utilizando el método Utermöhl (Utermöhl 1958) y los resultados de abundancia serán expresados en células·L⁻¹. La clasificación taxonómica se realizará de acuerdo a literatura especializada, con una resolución taxonómica a nivel de género o especie. En el caso de ejemplares que no puedan ser identificados con el mismo grado de especificidad, estos serán agrupados de acuerdo a su morfogénesis como Pennales o Céntricas para el caso de diatomeas y Tecados o Atecados para el caso de dinoflagelados.

La estructura comunitaria del fitoplancton será descrita en base al Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Krebs 1988) y Equidad (J') (Pielou 1977), de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$H'(\text{Bits}) = \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

Donde:

s = número de especies.

p_i = proporción de la especie i en la muestra.

$$J' = H' / H'_{\max}$$

H' = Índice de Shannon-Wiener.

H' max = valor máximo teórico de H' .

Las diferencias estructurales de la comunidad de fitoplancton entre puntos de muestreo se evaluarán mediante un análisis de similitud (ANOSIM) asociado a un análisis de escalamiento multidimensional para detectar diferencias en composición y abundancia en el área de estudio. Si el análisis de similitud indicara heterogeneidad, se realizará un análisis de similitud de porcentajes (SIMPER) para evidenciar los aportes de los componentes al sistema evaluado. Esta prueba consiste en un método para evaluar qué taxa son principalmente responsables de diferenciar grupos de muestras a través de permutaciones (Clarke & Warwick 2001).

Para la obtención de clorofila “a” por estratos se utilizará una botella oceanográfica Niskin de 11 L. Estas muestras serán colectadas a 2 estratos de columna de agua (Superficie y Fondo) y traspasadas a botellas opacas para evitar la penetración de luz en la muestra. Posteriormente serán filtradas en terreno con filtros de microfibra de vidrio sin agentes ligantes (diámetro de 4,7 cm y poro de 1,5 μm) y mantenidas a una temperatura de 4°C. La determinación de la clorofila “a”, se realizará a través de la extracción del pigmento con acetona al 90%, por 24 horas, y posterior lectura mediante espectrofotómetro UV-visible. Los resultados de clorofila “a” serán expresados en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

La evaluación de la profundidad de la capa fótica o transparencia de agua se realizará mediante un lance vertical de un disco Secchi marino con un diámetro de 30 cm. La cara superior del disco se encuentra dividida en cuatro sectores de color blanco y negro de forma alternada y se baja por el lado sombreado de la embarcación para evitar interferencia del reflejo de la columna de agua. El resultado es expresado como la profundidad a la cual el disco deja de ser observable.

Las muestras de zooplancton serán colectadas en duplicado a través de una red de 110 μm de trama con una apertura de boca de 60 cm de diámetro, la cual será izada verticalmente desde las proximidades del fondo de cada punto de muestreo. Las muestras colectadas serán dispuestas en frascos plásticos, etiquetados y fijados en una solución de formalina-agua de mar al 10% y trasladadas al laboratorio. Para el recuento de zooplancton se utilizará una lupa estereoscópica (Zeiss, Stemi 2000-C). En los muestreos zooplanctónicos de sistemas marinos es habitual que parte de los organismos colectados sean individuos que forman parte del plancton solo una parte de su ciclo de vida (Meroplancton). En este estudio estos individuos sólo serán presentados como parte de los resultados obtenidos. Para el grupo de individuos plantónicos que durante su ontogenia se mantienen en la columna de agua (holoplancton) se calculará la densidad total ($\text{individuos}\cdot\text{m}^{-3}$), la riqueza

taxonómica y los índices de diversidad descritos con anterioridad. La clasificación de los organismos del zooplancton se realizará de acuerdo a literatura especializada.

En cada punto de muestreo también se realizará una colecta en duplicado para el análisis de biomasa zooplanctónica. El análisis de biomasa se realizará mediante el método gravimétrico y los resultados serán expresados en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

El muestreo de huevos y larvas de peces será realizado utilizando una red tipo Nansen cónica para ictioplancton marino, con una abertura de boca de 60 cm y 230 μm de trama de malla, la cual será izada verticalmente desde las proximidades del fondo de cada punto de muestreo. Las muestras colectadas serán dispuestas en frascos plásticos debidamente rotulados y fijadas mediante una solución formalina-agua de mar al 10%, para luego ser trasladadas al laboratorio. El recuento de larvas y huevos de peces se realizará utilizando una lupa estereoscópica (Zeiss, Stemi 2000-C) y los resultados serán expresados en $\text{individuos}\cdot\text{m}^{-3}$. La estructura comunitaria del ictioplancton será descrita en base al Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Krebs 1988) y Equidad (J') (Pielou 1977).

En cada punto de muestreo también se realizará una colecta en duplicado para el análisis de biomasa ictioplanctónica. El análisis de biomasa se realizará mediante el método gravimétrico y los resultados serán expresados en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

11.4 Metodología muestreo y análisis comunidades bentónicas

Para las comunidades intermareales de fondo duro; en cada transecto se evaluarán los ensambles de epibiota presentes en la zona baja, media y superior de la franja intermareal. Para ello, cada transecto se dispondrá perpendicularmente a la línea de costa. Durante el período de marea baja se efectuarán mediciones triplicadas en cada estrato con un cuadrante de 0,25m² con 100 puntos de intersección. Dentro de cada cuadrante se cuantificará la abundancia de organismos conspicuos presentes, indicando para los organismos móviles el número de individuos por unidad de superficie y para los organismos sésiles y macroalgas el porcentaje de cobertura. La pendiente de cada transecto será determinada con un clinómetro SUUNTO®.

Los valores de cobertura y abundancia serán resumidos en una matriz de doble entrada, donde se consignará la epibiota discriminada v/s los estratos muestreados. Para efectos del análisis de este componente biológico se discriminarán tres grupos biológicos relevantes al interior de este conglomerado: Macroalgas, fauna sésil y fauna móvil. Mientras para los dos primeros se registrará como indicador de abundancia los porcentajes de cobertura, para el segundo grupo de organismos se consignará su densidad expresada en número de individuos por unidad de superficie (m²).

La estructura comunitaria en cada transecto será descrita en base a las abundancias relativas estimadas en los distintos estratos prospectados, así como al Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Krebs 1988) y Equidad (J') (Pielou 1977). Estos últimos se estimarán de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$H'(\text{Bits}) = \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

Donde:

s = número de especies.

p_i = proporción de la especie i en la muestra.

$$J' = H' / H'_{\text{max}}$$

H' = Índice de Shannon-Wiener.

H' max = valor máximo teórico de H'.

Para las comunidades intermareales de fondo blando; en cada punto de muestreo se realizará un transecto perpendicular a la línea de costa el cual será evaluado en 3 niveles (Alto, Medio, Bajo) desde el supralitoral hasta el nivel más bajo permitido por la marea del día. La pendiente de cada transecto será determinada con un clinómetro SUUNTO®.

En cada nivel intermareal se tomarán tres muestras aproximadamente cada tres metros con un corer cilíndrico de plástico de 86,6 cm² de superficie, enterrado a una profundidad de 15 cm. En cada punto de muestreo se trabajará en la hora de más baja marea, desde abajo hacia arriba, finalizando el muestreo en el nivel alto del intermareal. La macroinfauna obtenida será cernida *in situ* en un tamiz de malla plástica de 1 mm de apertura. La fauna de cada muestra será guardada en bolsas de polietileno, fijada en formalina al 20% y trasladada a laboratorio en contenedores aislados a temperatura controlada para su posterior identificación.

Con los resultados de los análisis se estimarán los siguientes descriptores comunitarios: riqueza específica, densidad (n° de individuos m⁻²) y biomasa total por especie (g m⁻²). La estructura comunitaria en cada transecto será descrita en base al Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Krebs 1988) y Equidad (J') (Pielou 1977), de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$H'(\text{Bits}) = \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

Donde:

s = número de especies.

p_i = proporción de la especie i en la muestra.

$$J' = H' / H'_{\max}$$

H' = Índice de Shannon-Wiener.

H' max = valor máximo teórico de H'.

Para determinar la morfodinámica de los transectos intermareales en el área de estudio, se utilizará como estimador el Parámetro de Dean, el cual es un índice que evalúa el transporte de arena y la energía del oleaje sobre las playas de arena. Altos valores del parámetro (>5) indican una constante erosión de la playa producto del oleaje y por consecuencia playas de arena con pendientes bajas (morfodinámica disipativa). Por el contrario, bajos valores del índice (<2) indican limitada erosión de la playa por el oleaje lo que ocasiona playas de arena con altas pendientes (morfodinámica reflectiva).

El parámetro de Dean será calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$\Omega = \frac{Hb \times 100}{W \times T}$$

En donde:

Ω = Parámetro de Dean

Hb: Altura de ola promedio

W= Velocidad de sedimentación de la arena

T= Período de oleaje

La altura de ola promedio en el área de estudio, será obtenida mediante técnicas indirectas. El período de oleaje se obtendrá contando *in situ*, por un lapso de 10 segundos, las olas que revienten en cada uno de los transectos intermareales. El tamaño del grano de arena en cada transecto se obtendrá de los análisis de granulometría, mientras que la velocidad de sedimentación de la arena será obtenida usando los tamaños indicados del análisis granulométrico con las tablas de conversión dadas por Gibbs et al. (1971).

En el área de estudio, se evaluarán seis puntos de muestreo considerados como transectos submareales. Cada transecto, de orientación perpendicular a la línea de costa estará compuesto por un gradiente establecido a los 15m, 10m y 5m de profundidad. La colecta de la información cualitativa y cuantitativa se realizará a través de buceo semiautónomo, donde un buzo especialista encabezará los recorridos, utilizando como instrumentos de orientación brújula y profundímetro, para realizar el recorrido en dirección perpendicular a la costa. Cada recorrido comenzará desde la zona más profunda (15m) hacia la más somera (5m). En cada estrato, se colocará un cuadrante reticulado de 0,25 m² de área (100 intersecciones), sobre el sustrato rocoso en triplicado, recogiendo información de cobertura de especies sésiles y macroalgas, además de la densidad de fauna móvil, a través de las anotaciones en tablillas de acrílico, en base a la identificación *in situ* de los organismos.

La estructura de las comunidades del submareal fondo duro será descrita en base a índices descriptivos de diversidad (Shannon-Wiener 1949), el cual corresponde a la proporción en número de la i-ésima especie de una muestra, e índice de equidad (Pielou 1977) el cual indica en qué proporción están representadas las especies de acuerdo a la diversidad y diversidad máxima. Las expresiones matemáticas de estos índices son las siguientes:

$$H'(\text{Bits}) = \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

Donde:

s = número de especies.

pi = proporción de la especie i en la muestra.

$$J' = H' / H'_{\max}$$

H' = Índice de Shannon-Wiener.

H' max = valor máximo teórico de H'.

Para la obtención de las muestras de comunidades submareales de fondo blando se utilizará una draga Van Veen de 0,059 m² de mordida. Desde cada punto de muestreo se obtendrán tres réplicas, las que serán cernidas *in situ* a través de un tamiz de 0,5 mm de luz. La fauna retenida será traspasada a bolsas de polietileno, etiquetadas y selladas temporalmente para su traslado a tierra, donde serán fijadas utilizando una solución de formalina y agua de mar al 4%, sellada y almacenada para su posterior traslado al laboratorio.

En el laboratorio, cada muestra será analizada hasta el nivel taxonómico más bajo posible, utilizando para ello literatura especializada. Cada taxón identificado será pesado en una balanza analítica de 0,00001 g de precisión.

En cada punto de muestreo se recabará información de abundancia (densidad y biomasa) y riqueza (n° de especies) correspondiente a cada una de las muestras analizadas. A partir de dicha data se estimarán parámetros comunitarios (índice de diversidad de Shannon-Wiener-H' e índice de equidad de Pielou-J), así como también se establecerán comparaciones de las curvas de k-dominancia de abundancia y biomasa con el objeto de evaluar el grado de perturbación de acuerdo con los criterios propuestos por Warwick (1986).

Adicionalmente, con la data recabada de abundancia se realizará un ordenamiento jerárquico de los puntos de muestreo analizados, confeccionando para ello un dendrograma, para cuyo criterio de agrupación se considerará el índice de similitud de Bray-Curtis.

11.5 Metodología muestreo y análisis ictiofauna

Se realizarán dos análisis, el primero corresponderá al análisis de los desembarques artesanales registrados para la Bahía en los registros de SERNAPESCA. El segundo corresponderá a una evaluación directa utilizando las artes y aparejos de pesca que utilizan habitualmente los pescadores artesanales locales. Con respecto a los puntos de muestreo,

estos serán definidos con los pescadores dependiendo de los caladeros históricos que se utilicen en Bahía San Jorge, Antofagasta.

11.6 Metodología análisis de metales e hidrocarburos en biota

Los contaminantes ambientales se acumulan en los invertebrados marinos, peces y mariscos y amenazan la salud humana, ya sea directa o indirectamente a través de la cadena alimentaria (Dixon *et al.* 2002). En este contexto, se propone analizar el contenido de metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos en los principales grupos funcionales de organismos marinos provenientes de Bahía San Jorge, Antofagasta. Los organismos a recolectar serán definidos en conjunto con todos los actores del sistema ambiental (Pescadores, Industriales, Servicios públicos y taller de expertos). Los organismos serán seleccionados y dispuestos en bolsas de polietileno para su posterior análisis.

Para evaluar el contenido de metales pesados y/o hidrocarburos, los organismos recolectados serán separados de sus conchas y/o partes duras y sometidos a un proceso previo de digestión. Posteriormente, El método utilizado estará basado en lo que indica la EPA_SW-846. Método 3051 y 6010C. Los organismos de mayor tamaño (*e.g.* Loco y Lapa) serán analizados separando el estómago de la musculatura mayor (pie), siendo el pie nuestro objetivo de estudio (fracción consumida por las personas).

Por otra parte, se obtendrán los factores de bioacumulación (FBA) para cada taxa, utilizando los valores de concentración de metales disueltos en agua o en sedimentos según corresponda, obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo equivalentes de donde serán recolectados los organismos y de acuerdo a la siguiente función:

$$FBA = \frac{\text{Concentración de metal en tejido}}{\text{Concentración de metal en columna de agua o sedimentos}^1}$$

¹ Componente dependerá del hábitat del organismo analizado

12 BIBLIOGRAFÍA

12.1 Bibliografía según bases

- Ahumada, R. 1995. Programa de vigilancia del contenido de metales traza As, Cd, Hg, Mo, Pb, Se y Zn en los sedimentos marinos en Caleta Coloso. Ciencia y Tecnología del Mar, Número Especial: 89-100
- Alonso, C., Campano, P. & Collado, 1. 1988. Determinación de elementos traza en sedimentos de la bahía San Jorge, región de Antofagasta, mediante un proceso de extracción secuencial. Resultados preliminares. V. Congreso Geológico de Chile, Santiago, Tomo 2: 139-156
- Calderón, C. & Valdés, J. 2012. Contenidos de metales pesados en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge (Antofagasta, 23° 05"), Chile. Una evaluación ambiental. Revista de Biología Marina y Oceanografía 47(1): 121-133
- Castro, G. & Valdés, J. 2012. Estado ecológico, atributos comunitarios y concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) de una playa artificial, de la bahía San Jorge 23°S, Norte de Chile. En prensa en Latin American Journal of Aquatic Research 40 (2)
- Dávila, P. & Valdés, J. Hidrografía y circulación en base a mediciones de corrientes instantáneas, de la bahía San Jorge (Chile, 23°S). Para enviar a Latin American Journal of Aquatic Research
- Encina F. & O. Díaz 2001. Contaminación, estimación del riesgo ecológico y protección asociado a algas bentónicas marinas. En Sustentabilidad de la biodiversidad Ed. K. Alvear & T. Antezana. Universidad de Concepción-Chile. 357-336 pp.
- Escribano, R., Rodríguez, 1. & Irribarren, C. 1995. Temporal variability of sea temperature in bay of Antofagasta, Northern Chile. Estudios Oceanográficos 14,39-47
- Escribano, R. & Hidalgo, P. 2001. Circulación inducida por el viento en Bahía de Antofagasta, norte de Chile. Revista de biología Marina y Oceanografía, Chile 36:43-60
- Escribano, R., Marín, V., Hidalgo, P. & Olivares, G. 2002. Physical-biological interactions in the pelagic Ecosystem of the Nearshore zone of the northern Humboldt Current System. In: Castilla, J., Larger, J. Eds., The Oceanography and Ecology of the Nearshore and Bay in Chile. Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, pp 145-175.
- Escribano, R., Rosales, S. & Blanco, J.L. 2004. Understanding upwelling circulation off Antofagasta northern Chile: A three-dimensional numerical modeling approach. Continental Shelf Research 24:37-53
- Gobierno Regional de Antofagasta. 2009. Estrategia regional de desarrollo 2009-2020,
- Gonzalez, H., Daneri, G., Figueroa, D., Iriarte, J.1., Lefevre, N., Pizarra, G.A., Quiñones, R., Sobarz, M. & Troncos, A 1998. Producción primaria y su destino en la trana pelágica y océano profundo
- e intercambio océano-atmósfera de CO₂ en la zona norte de la corriente de Humboldt 23°S:
- posibles efectos del evento El Niño, 1997-98 en Chile. Revista Chilena de Historia Natural
- 71:429-458

- Lepez, 1., Furet, 1. & Aracena, O. 2001. Población de *Emerita abaloga* en playas Amarilla y rinconada, Antofagasta: aspectos abióticos, bióticos y concentración de cobre. *Gayana* 65(1): 58-67
- Montenegro, C. 2007. Efecto de la construcción de una playa artificial sobre la distribución de metales pesados, en la bahía San Jorge 23°S, Norte de Chile. Trabajo de investigación para optar al grado académico de Licenciado en Ciencias Ecológicas, Instituto de Inv., Oceanográficas, Facultad de Recursos del Mar, Universidad de Antofagasta, Antofagasta. 35pp.
- OIKOSChile S.A. 2009. Revisión guía CONAMA para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. CONA:rv1A.
- Piñones, A, Castilla, J.c., Guiñes, R & Largier, J.L. 2007. Temperaturas superficiales en sitios cercanos a la costa en la bahía de Antofagasta, Chile y centros de surgencia adyacentes. *Ciencias Marinas* 33(1): 37-48
- Rodriguez, L. & Escribano, R. 1996. Bahía de Antofagasta y Bahía de Mejillones del Sur: observaciones de la temperatura, penetración de la luz, biomasa y composición fitoplanctónica. *Estudios Oceanográficos* 15: 75-85
- Rutland, J., Fuenzalida, H., Torres, R. & Figueroa, D. 1998. Interacción océano-atmosférica en la región de Antofagasta Chile, 23°S: Experimento DICLIMA *Revista Chilena de Historia Natural* 71:405-427
- Salamanca, M., Camaño, A, Jara, B. & Rodríguez, T. 2000. Cu, Pb and Zn distribution in nearshore waters in San Jorge Bay, northern Chile. *Gayana* 64(2): 195-204
- Salamanca, M., Jara, B. & Rodríguez, T. 2004. Niveles de Cu, Pb y Zn en agua y *Perumytilus purpuratus* en bahía San Jorge, norte de Chile. *Gayana* 68(1): 53-62
- [USEPA]US Environmental Protection Agency. 1989. Risk assessment guidance for Superfund, Vol II: Environmental evaluation manual Washington DC: USEPA, Office of Emergency and Remedial Response. EPA/540/1-89/001.
- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 1992a. Framework for ecological risk assessment. Washington, DC,USA:USEPAReport No. EPAj630/R-92/001.
- [USEPA]US Environmental Protection Agency. 1992b. Policy Memorandum: Guidance on Risk Characterization for Risk Managers and Risk Assessors.
- [USEPA]US Environmental Protection Agency. 1994. Memorandum: Role of the Ecological Risk Assessment in the Baseline Risk Assessment. Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response. OSWER Directive No. 9285.7-17.
- [USEPA]US Environmental Protection Agency. 1995. EPA Risk Characterization Program Memorandum from the Administrator.
- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 1997a. Guiding principles for Monte Carlo analysis, Washington DC:USEPA,RiskAssessment Forum. EPAj630jR-97 JOO1.
- [USEPA] US Environmental Protection Agency 1997b. Ecological RiskAssessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk

- Assessments. Interim Final. Solid Waste and Emergency Response. OSWER Directive No. 9285.7-25.
- [USEPA]US Environmental Protection Agency. 1998. Guidelines for ecological risk assessment Washington DC:USEPA, Risk Assessment Forum. EPA/630/R-95/002F.
 - [USEPA]US Environmental Protection Agency, 1999. Memorandum: Issuance of Final Guidance: Ecological Risk Assessment and Risk Management Principles for Superfund Sites, Washington, DC:USEPA, Office of Emergency and Remedial Response. OSWER Directive No. 9285.7-28.
 - [USEPA]US Environmental Protection Agency. 2000. A progress report for advancing ecological assessment methods in OPP: A consultation with the FIFRA Scientific Advisory Panel. Overview document.
 - [USEPA]US Environmental Protection Agency. 2001a. Risk assessment guidance for Superfund: Volume III- Part A, Process of Conducting Probabilistic Risk Assessment. Washington DC:USEPA, Office of Emergency and Remedial Response. EPA/540/R-02/002.
 - [USEPA] US Environmental Protection Agency. 2001b. Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I. Human Health Evaluation Manual (Part D, Standardized Planning, Reporting, and Review of Superfund Risk Assessments). Washington, DC: USEPA, Office of Emergency and Remedial Response. OSWER Directive No. 9285.7-47
 - [USEPA]US Environmental Protection Agency. 2003. Generic ecological assessment end points (GEAEPs) for ecological risk assessment. Washington DC: USEPA, Risk Assessment Forum. EPA/630/R-02/004B.
 - Valdés, J., Román, D., Guíñez, M., Rivera, L. Morales, R., Ávila, J. & Cortés, P. 2010. Distribution and temporal variation of trace metal enrichment in surface sediments of San Jorge Bay, Chile. Environmental Monitoring and Assessment 167 :185-197
 - Valdés, J., Román, D., Rivera, L. Ávila, J. & Cortés, P. 2011. Metal contents in coastal waters of San Jorge Bay, Antofagasta, northern Chile: a base line for establishing seawater quality guidelines. Environmental Monitoring Assessment, in press.
 - Valdés, J., Araya, R., Ortiz, M., Dávila, P., Guíñez, M., Castro, G., Berrios, F., Campos, L. & Vegas, S.E. 2008-2012. Estudio Levantamiento de Información para el Control ambiental de la Bahía de San Jorge" Código BIP 30059576, Facultad de Recursos del Mar, Universidad de Antofagasta, Chile.
 - 373 pp.

12.2 Bibliografía complementaria

- APHA. AWWA, WEF. (2005). Standard Methods: for the examination of water and wastewater. 21 Edition.
- BARTELL, S.M., LEFEBVRE, G., KAMINSKI, G., CARREAU, M., CAMPBELL, K.R., 1999. En ecosystem model for assessing ecological risks in québec rivers, lakes, and reservoirs. Ecological Modelling 124:43-67.

- Bases Técnicas Licitación ID N° 1782-4-LR16. Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Mejillones del Sur.
- BROWN, P.H., TULLOS, D., TILT, B., MAGEE, D., WOLF, A.T., 2009. Modeling the costs and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective. *Journal of Environmental Management* 90: 303–311.
- CCME (2002) Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canada.
- Chen S, Chen B, Fath B, 2013. Ecological risk assessment on the system scale: A review of state-of-the-art models and future perspectives. *Ecological Modelling* 250, 25-33.
- CHEN S., CHEN B., FATH B.D. 2013. Ecological risk assessment on the system scale: a review of state-of-the-art models and future perspectives. *Ecological Modelling*, 250: 25– 33.
- CLARK K & R WARWICK (2001) Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation, Second edition, Primer-E Ltd, 172 pp.
- DALE, V.H., BIDDINGER, G.R., NEWMAN, M.C., ET AL., 2008. Enhancing the ecological risk assessment process. *Integrated Environmental Assessment and Management* 4 (3): 306–313.
- DECRETO SUPREMO N° 144/2009. Normas de Calidad Primaria para la Protección de las Aguas Marinas y Estuarinas Aptas para Actividades de Recreación con Contacto Directo. Secretaría General de la Presidencia de la República. República de Chile.
- DIXON, D.R., PRUSKI, A.M., DIXON, L.R. & JHA, A.N. (2002). Marine invertebrate ecogenotoxicology: a methodological overview. *Mutagenesis* 17, 495-507.
- Dunne J, Williams R, Martinez N (2002a). Food-web structure and network theory: The role of connectance and size. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 99: 12917-12922.
- Dunne J, Williams R, Martinez N (2002b). Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecology Letters*, 5: 558-567.
- EPA (2009). National Recommended Water Quality Criteria. Environmental Protection Agency. Office of Science and Technology. United States.
- GIBBS R, M MATTHEWS & D LINK (1971) The relationship between sphere size and settling velocity. *J Sediment Petrol* 41:7–18
- GUÍA CONAMA (2004). Guía CONAMA para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales y Marinas. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.
- HUTCHINS B (2001) Biodiversity of shallow reef fish assemblages in Western Australia using a rapid censusing technique. *Records of the Western Australian Museum* 20: 247-270.
- JACKSON, L., KURTZ, J., FISHER, W., 2000. Evaluation guide for ecological indicators, EPA /620/r-99/005. U.S. Environmental Protection Agency, Gulf Breeze, FL.
- KREBS C (1988) Ecological methodology. Harper Collins Publ. 654 pp.

- LME (2012) Plan de Gestión Ambiental de la Bahía Mejillones del Sur. Informe final. Laboratorio de Modelación Ecológica, Depto. Cs. Ecológicas, Fac. de Ciencias, Universidad de Chile. 65 pp.
- MARÍN, V. H. & G. R. OLIVARES (1999) Estacionalidad de la productividad primaria en Bahía Mejillones del Sur (Chile): una aproximación proceso-funcional. *Rev. Chilena Historia natural* 72: 629-641.
- PIELOU EC (1977) *Mathematical ecology*. Wiley, New York, 385 pp.
- RAMOS-JILIBERTO, R., GARAY-NARVAEZ L., MEDINA M.H. 2012. Retrospective qualitative analysis of ecological networks under environmental perturbation: a copper-polluted intertidal community as a case study. *Ecotoxicology* 21: 234-243.
- Silva F., Zapata M, Moraga D and Riquelme C. 2011. Identification of genes expressed in juvenile *Haliotis rufescens* in response to different copper concentrations in the north of Chile under controlled conditions *Marine Pollution Bulletin* 62: 2671–2680.
- STANDARD METHODS (2005) Examination of water and wastewater. H10200. 23pp.
- Suter II, G.W., 2001. Applicability of indicator monitoring to ecological risk assessment. *Ecological Indicators* 1: 101–112.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (1997). *Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund, ERAGS: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments* EPA 540-R-97-006.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (1998). *Guidelines for ecological risk assessment*. EPA-630-R-95-002F.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1992. *Framework for ecological risk assessment*. Risk Assessment Forum, USEPA. EPA/600/R-92-001, Washington,DC.
- UTERMÖHL H (1958) Zur Vervollkommung der quantitativen Erfassung des Planktons (mit besonderer Berücksichtigung des Ultraplanktons). *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 5:657-596.
- WARWICK R & K CLARKE (1994) Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Marine Biology* 118: 739-744.
- WARWICK R (1986) A New Method for Detecting Pollution Effects on Marine Macrobenthic Communities. *Marine Biology* 92: 557-562.
- WARWICK R (1988) Effects on community structure of a pollutant gradient-introduction. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 46: 149.
- Zapata M., Tanguy A, Moraga D and Riquelme C. 2009. Suppression Subtractive Hybridization Library prepared from *Argopecten purpuratus* larvae exposed to different copper concentrations. *Gene* 442, 121-131.
- Zapata, M., Lang, M., Riso, R., Moraga, D., Riquelme, C. 2011. Trace metal and biomarker levels in tissues of *Argopecten purpuratus* in the north of Chile, and the potential use of this species as a bioindicator of metallic stress. DOI: 10.1051/alr/2012024, *Aquatic Living Resources*.