



Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Postgrado

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GEOGRAFÍA CON MENCIÓN EN
ORGANIZACIÓN URBANO REGIONAL

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA DE MAR Y SU RELACIÓN CON LA
INFRAESTRUCTURA ASOCIADA A LA ACTIVIDAD MINERA EN LA REGIÓN DE
ANTOFAGASTA, ENTRE LOS AÑOS 1990-2015**

FONDECYT REGULAR N° 1160848:

“¿REGIONES COMMODITY? EXAMINANDO LAS TRANSFORMACIONES TERRITORIALES DE 40
AÑOS DEL MODELO EXPORTADOR. COMPARANDO LAS EXPERIENCIAS DE LAS REGIONES DE
ANTOFAGASTA (MINERÍA) Y LOS LAGOS (SALMONICULTURA)”

Autor: Rafaela María Monsalve Tapia

Profesor Guía: Dra. María Christina Fragkou

Santiago – Chile

2018

RESUMEN

Esta tesis, se desarrolló dentro del “Fondecyt Regular N° 1160848” llamado “¿Regiones Commodity? examinando las transformaciones territoriales de 40 años del modelo exportador. Comparando las experiencias de las regiones de Antofagasta (minería) y Los Lagos (salmonicultura)” y buscó conocer la relación de la calidad de agua de mar con la infraestructura asociada a la actividad minera en la región de Antofagasta, entre los años 1990-2015

Se desarrolla a partir de metodologías en Teledetección para el análisis de la calidad del agua de mar, la descripción de los proyectos ingresados al Servicio de Evaluación Ambiental correspondiente a centrales termoeléctricas y plantas desaladoras localizadas en las bahías de Algodonales, Mejillones, Antofagasta y Taltal y la producción minera en la región de Antofagasta para el periodo en estudio.

El estudio refleja la diferencia en la calidad del agua de mar entre aquellas bahías que desarrollan actividades económicas tradicionales, como es el caso de bahía de Taltal, en comparación con la bahía de Mejillones que está sujeta a grandes tensiones debido a la intensa descarga de residuos líquidos al mar, proveniente de infraestructuras que nutren de materia prima a la minería en energía (centrales termoeléctricas) y agua (plantas desaladoras).

Palabras claves: Calidad del agua de mar, teledetección, minería

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar aquí mi más sincero agradecimiento a todos los que me han aportado algo en este proceso, tanto desde el ámbito profesional como desde el personal, de un modo u otro, han contribuido con aportaciones de lo más diverso.

A la profesora guía Dr. María Christina Fragkou quién tuvo la confianza completa en el trabajo y propuso a la profesora Dra. Beatriz Bustos Gallardo incluir esta investigación en el Fondecyt Regular N° 1160848. “¿Regiones Commodity? Examinando las transformaciones territoriales de 40 años del modelo exportador. comparando las experiencias de las regiones de Antofagasta (minería) y los lagos (salmonicultura)”

En el ámbito profesional al geógrafo John Teimun – Geógrafo/Matemático- por su ayuda y correcciones metodológicas. Al geógrafo Ricardo Truffello por confiar en mis capacidades profesionales y compartir su profesionalismo durante todo este tiempo y siempre.

En un ámbito personal, cercano y familiar, tengo que agradecer a Dios por permitirme estudiar y regalarme una familia que me apoya y ayuda en todo momento. A mis padres, hermanas, compañeros y amistades por su interés, corrección y contención en todo el tiempo de esta investigación.

Tabla de Contenidos

1.	INTRODUCCIÓN.....	10
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
2.1	Actividad minera y sus impactos en las aguas superficiales marinas.....	13
2.2	Infraestructura asociada a la minería y su intervención en aguas superficiales marinas.....	14
2.3	La contaminación de las aguas en Chile, por la actividad minera.	15
3.	JUSTIFICACIÓN Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	18
4.	OBJETIVO.....	20
4.1	Objetivo General:.....	20
4.2	Objetivos Específicos:	20
5.	AREA DE ESTUDIO	21
5.1	Región de Antofagasta	21
5.1.1	Localización geográfica y división político-administrativa.....	21
5.1.2	Caracterización demográfica.	22
5.1.3	Caracterización económica.....	23
5.2	Región de Antofagasta: Instrumentos de Planificación Territorial para la actividad minera e industrial.	26
5.3	Termoeléctricas y Desaladoras.....	35
6.	ESTADO DEL ARTE: CALIDAD DE AGUA DE MAR.....	38
6.1	Calidad del agua de mar.....	38
6.2	Efectos en aguas superficiales marinas por infraestructura submarina: Termoeléctricas y desaladoras.....	39
6.3	Ventajas de estudios con teledetección	43
6.4	Estudios de la superficie marina con teledetección.....	48
6.5	Estudios de agua de mar en Chile	53
6.6	Legislación ambiental de las aguas en Chile	56

7.	METODOLOGÍA.....	61
7.1	Caracterización de la infraestructura vinculada a la actividad minera en las bahías principales de la Región de Antofagasta, con énfasis en infraestructuras con emisarios submarinos, asociadas a satisfacer las necesidades hídricas y energéticas de la minería.	61
7.1.1	Revisión bibliográfica.....	62
7.1.2	Identificación de información	63
7.2	Analizar la distribución espacio temporal de los parámetros indicadores de la calidad del agua de mar como, turbidez, sólidos en suspensión y clorofila en las bahías principales de la Región de Antofagasta, entre los años 1990 – 2015.	64
7.2.1	Imágenes Satelitales y criterios de selección.....	65
7.2.2	Pretratamiento de insumos espaciales	67
7.2.3	Procesamiento de Imágenes Satelitales.....	69
7.2.4	Obtención de las variables a estudiar.	71
7.2.5	Índice de calidad superficial del agua (ICSA).....	72
7.2.6	Limitaciones del método	73
7.3	Relacionar la producción minera a escala regional en Antofagasta con el índice de calidad superficial del agua, en las bahías principales de la Región de Antofagasta, entre los años 1990 – 2015.	74
8.	RESULTADOS	75
8.1	Determinación de la infraestructura asociada con las necesidades hídricas y energéticas de la minería	75
8.1.1	Bahía de Algodonales -Tocopilla	75
8.1.2	Bahía de Mejillones	94
8.1.3	Bahía de Antofagasta	123
8.1.4	Bahía de Taltal	140
8.2	Caracterización de la calidad de agua de mar en la Región de Antofagasta 144	
8.2.1	Clorofila. Resultados y tendencias. Periodo 1990 – 2015.....	144

8.2.2	Sólidos en Suspensión. Resultados y tendencias. Periodo 1990 – 2015	150
8.2.3	Turbidez . Resultados y tendencias. Periodo 1990 – 2015	156
8.2.4	Índice de calidad superficial del agua (ICSA). Resultados y tendencias. Periodo 1990 – 2015	162
8.3	Producción Minera en la Región de Antofagasta. 1990 – 2015.....	168
8.4	Análisis de Resultados	170
9.	DISCUSIÓN.....	174
10.	CONCLUSIÓN	178
11.	BIBLIOGRAFÍA	182

Índice de Tablas

Tabla 1. Unidades generadoras de centrales costeras en la Región de Antofagasta	35
Tabla 2. Plantas desaladoras en la Región de Antofagasta	37
Tabla 3. Sustancias añadidas durante el proceso de desalación, su función y posible impacto en el sistema	41
Tabla 4. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral.....	59
Tabla 5. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos fuera de la protección litoral	60
Tabla 6. Características Imágenes Satelitales – Landsat.....	65
Tabla 7. Criterios de selección de sensor satelital por periodo de análisis	66
Tabla 8. Imágenes satelitales (Landsat) descargadas por año	66
Tabla 9 Criterios para formar el código único Landsat para cada imagen seleccionada.....	68
Tabla 10. Proyectos Aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Tocopilla. Periodo 1990 – 2015.....	76
Tabla 11. Características Unidades a Vapor. Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla.	82
Tabla 12. Plan de Monitoreo Marino	87
Tabla 13 Proyectos Aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Mejillones. Periodo 1990 - 2015.....	95
Tabla 14. Características básicas de la central térmica Mejillones.....	100
Tabla 15 Medidas de Mitigación y Compensación Medio Ambiente Marino	103
Tabla 16. Plan de Seguimiento Medio Ambiente Marino. Central Termoeléctrica Angamos.	106
Tabla 17. Característica de la Descarga de Riles para cada unidad. Central Termoeléctrica Cochrane.....	111
Tabla 18. Plan de Manejo Ambiental Medio Marino. Central Termoeléctrica Cochrane.	112

Tabla 19. Programa de Monitoreo Marino. Instalación Planta Desalinizadora.....	114
Tabla 20. Proyectos Aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Antofagasta. Periodo 1990 - 2015.....	123
Tabla 21. Caracterización Efluentes Líquidos. Central Combinado Coloso.....	127
Tabla 22. Identificación de Impacto. Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Coloso.	128
Tabla 23. Caudal del volumen total de descargas de efluentes líquidos	129
Tabla 24. Composición Química del Efluente.	132
Tabla 25. Balance diario de Masas de Agua por fases. Planta Desaladora de Agua de Mar de Antofagasta.....	134
Tabla 26. Características del efluente de descarga.	138
Tabla 27. Programa de Vigilancia Ambiental en Operación.	139
Tabla 28. Resultados obtenidos para clorofila. Periodo 1990 – 2015.....	145
Tabla 29. Resultados obtenidos para Solido en Suspensión. Periodo 1990 – 2015.	151
Tabla 30. Resultados obtenidos para Turbidez de agua. Periodo 1990 – 2015.....	157
Tabla 31. Resultados obtenidos para el índice de calidad superficial del agua. Periodo 1990–2015.	163

Índice de Figuras

Figura 1. Reflectancia de la Clorofila	45
Figura 2. Relación entre concentración de sólidos en suspensión y reflectividad de la masa de agua	46
Figura 3. Localización Proyectos - Punta Algodonales - Tocopilla	78
Figura 4. Disposición general Instalaciones Central Nueva Tocopilla.	79
Figura 5. Red de Estaciones de Monitoreo Marino del IPVA de Central Norgener. Bahía Algodonales, Tocopilla.....	89
Figura 6. Temperatura Fluctuación Temporal. Sector Aducción.....	91
Figura 7 Temperatura Fluctuación Temporal. Sector Descarga.	91

Figura 8 Sólidos Suspendidos Fluctuación Temporal. Sector Aducción	93
Figura 9 Sólidos Suspendidos Fluctuación Temporal. Sector Descarga.	93
Figura 10 Localización Proyectos – Sector Industrial – Bahía Mejillones	97
Figura 11 Disposición General Instalaciones Central Termoeléctrica Mejillones Unidad I y II.	99
Figura 12. Localización Estaciones de muestreo Columna de Agua. Central Termoeléctrica Mejillones.	116
Figura 13. Localización Estaciones de muestreo Columna de Agua. Planta Desalinizadora.	117
Figura 14. Temperatura Sector lejano a la Descarga	119
Figura 15. Temperatura Sector cercano a la Descarga	119
Figura 16. Sólidos en Suspensión. Sector lejano a la Descarga.	122
Figura 17. Sólidos en Suspensión. Sector cercano a la Descarga.	122
Figura 18 Localización de Proyectos - Antofagasta	125
Figura 19 Localización Proyectos - Taltal.....	141

Índice de Mapas

Mapa 1. Área de estudio.....	22
Mapa 2. PRI Borde Costero.....	28
Mapa 3 Zonificación PRC Tocopilla	32
Mapa 4 Zonificación PRC Mejillones.....	32
Mapa 5 Zonificación PRC Antofagasta	33
Mapa 6 Zonificación PRC Taltal.....	33
Mapa 7. Clorofila - Bahía Algodonales.....	147
Mapa 8 Clorofila – Sector Industrial Mejillones.....	148
Mapa 9 Clorofila – Sector La Chimba	149
Mapa 10 Clorofila - Bahía Taltal.....	150

Mapa 11 Sólidos en suspensión - Bahía Algodonales	153
Mapa 12 Sólidos en Suspensión – Sector Industrial Mejillones.....	154
Mapa 13 Sólidos en Suspensión – Sector La Chimba.....	155
Mapa 14 Sólidos en Suspensión – Bahía de Taltal	156
Mapa 15 Turbidez - Bahía Algodonales	159
Mapa 16 Turbidez – Sector Industrial Mejillones.....	160
Mapa 17 Turbidez - Sector La Chimba	161
Mapa 18 Turbidez - Bahía de Taltal	162
Mapa 19 Calidad Superficial del Agua de Mar - Bahía Algodonales.....	165
Mapa 20 Calidad Superficial del Agua de Mar – Sector industrial Mejillones	166
Mapa 21 Calidad Superficial del Agua de Mar - Sector La Chimba.....	167
Mapa 22 Calidad Superficial del Agua de Mar – Bahía de Taltal.....	168

1. INTRODUCCIÓN

La gran minería chilena se destaca a nivel internacional, especialmente la minería del cobre, que produce un tercio de la producción mundial, su importancia estratégica, reflejada en la gran magnitud de inversiones realizadas y la cantidad de proyectos que giran en torno a esta actividad, suponen un incremento en los impactos tanto positivos – aumento de empleo y PIB - como negativos – contaminación -, para las regiones y las comunidades que habitan en su entorno (Donoso, 2013). Este tipo de economía genera limitaciones socio-ecológicas en los distintos territorios donde se desarrolla, principalmente por la inadaptabilidad a las condiciones locales, lo que conlleva impactos importantes, en términos de calidad ambiental y suministros de recursos.

La actividad minera necesita de otras actividades que alimentan el proceso de extracción, que son parte de su ciclo de vida, principalmente para la adquisición de materias primas en la extracción del recurso (Gonçalves, 2004). Por este motivo, esta actividad impulsa el desarrollo de infraestructura que abastecen de recursos naturales a los proyectos mineros, como las centrales termoeléctricas y las plantas desaladoras que nutren la demanda energética e hídrica del sector.

Las operaciones mineras, las centrales termoeléctricas y las plantas desaladoras tienen en común, la producción inevitable de grandes cantidades de desechos tanto sólidos como líquidos que pueden terminar en el mar, lo que provoca impactos en este sistema, como la turbiedad del agua

de mar y asfixia para los organismos que viven en el lecho marino (MMSD, 2002), la contaminación de las aguas, comunidades bentónicas y la degradación de las cadenas alimenticias entre otros.

En el caso de estudio, la región de Antofagasta históricamente se ha relacionado con la actividad minera extractiva. Si bien, este modelo económico ha generado grandes oportunidades y beneficios para la región, también ha tenido costos significativos en las ciudades como en el medio ambiente. Estos impactos han sido estudiados por diversos investigadores (Calderón & Valdés, 2012) (Cortés, 2010), (Aroca & Atienza, 2008) principalmente en relación con los conflictos socioambientales desarrollados en la región. De acuerdo con el estudio de Baeza et al. (2014), desde la perspectiva de sustentabilidad, la región ha generado una acentuada brecha a partir de la actividad extractiva, reduciendo el *stock* de los recursos del sistema socio ecológico regional, sin existir una retribución adecuada que compense aquella reducción del capital natural renovable y no renovable, o mitigar los efectos ambientales y sociales que provoca la actividad económica.

El agua de mar no es ajena a esta realidad, si tomamos en cuenta que, para la región, históricamente el mar ha sido la vía secular de transporte y de comercio internacional, zona económica de pesca industrial, insumo para la generación termoeléctrica, y, ahora, para la provisión de agua desalada. La contaminación de ésta genera una cadena de impactos negativos, dañando no solo a los ecosistemas marino-costeros, sino que también, a la pesca

local artesanal, e incluso puede llegar directamente al hombre, por medio del consumo de productos del mar.

El impacto en el agua de mar se aborda principalmente por ciencias biológicas marinas de manera indirecta, sin vincular de manera directa a la minería o a la industria asociada a la minería localizada en el borde costero y que presentan infraestructuras de desagüe de desechos líquidos directamente al mar. Por lo tanto, se hace necesario el estudio de los cambios que pueda tener la calidad del agua de mar durante la dinámica histórica de la minería en la región.

En este contexto, la presente tesis busca analizar las alteraciones en la calidad de agua de mar en las bahías que presentan infraestructura asociada a la actividad minera en la Región de Antofagasta, entre los años 1990-2015, mediante metodologías de teledetección, para evaluar las dinámicas espaciotemporal que ha tenido el mar en este sector y vincularlas con el proceso productivo de la minería en la región. Se analizará la producción minera en la región en el periodo de estudio, específicamente por ser la época del boom minero en el país, esto para evaluar si existe alguna relación entre los años de mayor productividad de este recurso y las alteraciones en las variables de la calidad del agua en el mar de la región.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Actividad minera y sus impactos en las aguas superficiales marinas

A lo largo de la historia, Chile tiene y ha tenido grandes riquezas naturales como los recursos marinos, forestales y mineros. Este último, históricamente ha sido una de las principales actividades para el desarrollo económico, laboral y social de nuestro país. Sin embargo, todos los recursos minerales tienen el carácter de ser no renovables, de modo que su explotación genera impactos ambientales que perduran tanto en la naturaleza como en el valor de los recursos existentes en el entorno (MMSD, 2002).

Una de las principales características de la actividad minera es su alto grado de intervención del medio donde se desarrolla, teniendo como consecuencia un nivel de modificación del entorno, por lo general de carácter irreversible que puede afectar a la atmosfera, el suelo, el agua, la flora y/o fauna del área donde se encuentra en operación.

Uno de los impactos de esta actividad, es la contaminación de las aguas marinas, producto de los grandes volúmenes de desechos, tanto sólidos como líquidos, que la minería debe eliminar en la zona de mayor productividad biológica, el océano.

El medio acuático es muy sensible a los contaminantes tanto metálicos como no metálicos, los desechos arrojados al mar pueden llegar a la costa por el oleaje. Además, pueden alterar la temperatura del cuerpo receptor, aumentar

la turbidez y los sólidos en suspensión del agua, asfixiando a los organismos que viven en el lecho marino (MMSD, 2002), alterando la biota acuática (como peces), que son la fuente de proteínas en la dieta humana, ingerida por los seres humanos a través del consumo de los productos del mar (Alkan, Alkan, Gedik, & Fisher, 2016), y en algunos lugares, afectar la fuente del recurso económico familiar

2.2 Infraestructura asociada a la minería y su intervención en aguas superficiales marinas.

La actividad minera, necesita de materias primas como la energía y el agua, para su operación. La energía producida por centrales termoeléctricas, en algunos casos, ubicadas en el borde costero, usando el mar como sumidero de enfriamiento. Para satisfacer las demandas hídricas de la región, tanto para la población como para actividad industrial se ha utilizado progresivamente el agua desalada de mar, por medio de planta desaladoras. Estos tipos de infraestructuras generan desechos líquidos que son descargados a aguas marinas, modificando las características naturales del entorno receptor.

Con respecto a la descarga de residuos líquidos, las centrales termoeléctricas, generan descargas térmicas y residuales. Las descargas de aguas residuales de una termoeléctrica tienen una composición química diversa a la composición natural del agua (SMA, 2014). Por este motivo, los residuos líquidos generados por una termoeléctrica, descargados

directamente al agua de mar u otro cuerpo de agua, pueden provocar impactos como: la calidad del cuerpo de agua receptor, estratificación y/o perturbaciones de bentónicas y submareales.

Con respecto a las plantas desaladoras, el vertido en el medio marino corresponde a la salmuera, el impacto por la salinidad en la descarga de residuos es debido que la salmuera al ser más densa que el agua de mar, puede depositarse en el mismo lugar donde es descargada (García & Ballesteros, 2001), y afectar la ecología local dependiendo de las condiciones físicas del lugar (básicamente corrientes marinas y oleaje).

Las características de las descargas de ambas estructuras generan inevitablemente cambios en el ecosistema marino tanto en superficie como en profundidad, generando consecuencias que han sido poco estudiadas, al no ser relacionadas de manera directa a la actividad minera, a pesar de que son necesarias para su ejecución.

2.3 La contaminación de las aguas en Chile, por la actividad minera.

En Chile, la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO, 2016), declara que dos de las bases fundamentales en la importancia y el progreso alcanzado por la minería nacional es producto de: el marco legal favorable a la certeza, estabilidad y seguridad de la actividad minera y la conformación de un conglomerado de empresas productoras de bienes y servicios para la minería, situadas en las zonas de actividad preferentemente mineras.

Por su parte, el Ministerio de Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), son los encargados de las políticas ambientales y fiscalización de la normativa ambiental, de los proyectos aprobados a nivel nacional, tanto de inversión pública como privada. Al SEA deben someterse aquellos proyectos susceptibles de causar impacto ambiental, los cuales son presentados a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) según corresponda (Navarro & Rivera, 2013). Esto con el propósito de mitigar, compensar y/o reparar los impactos ambientales significativos que puedan generar los proyectos.

Sin embargo, no siempre los proyectos mineros pueden evitar los impactos causado por la descarga de desechos en aguas marinas. Un caso emblemático, es el de la bahía de Chañaral, en donde durante 52 años se arrojaron más de 320 millones de toneladas de solidos residuales mineros y unos 850 millones de toneladas de aguas servidas del proceso industrial minero, que causaron un impacto ambiental tanto físico como químico. Los estudios que se realizaron en la zona afectada concluyeron, que se “estaba en presencia de un impacto contaminante de gigantescas dimensiones y cuyos efectos se concentraban en la contaminación ambiental, la devastación de la naturaleza, la destrucción de los recursos de desarrollo de una comunidad y sus habitantes, la destrucción y limitación de infraestructuras y capacidades portuarias, el envenenamiento de la cadena alimentaria del hombre, el daño a la salud de las personas y el deterioro de la

propiedad pública y privada” (Cortés, 2010). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), declaró “esta es una de las zonas más seriamente contaminadas del planeta, y en forma concreta, del océano Pacífico” (Cortés, 2010).

La bahía de Chañaral en la actualidad es una zona litoral natural muerta de sistemas ecológicos acuáticos, producto de una constante contaminación en la calidad de las aguas marinas y por ende en los ecosistemas acuáticos.

De especial interés, resultan los potenciales cambios en la calidad de agua del mar de las costas de las regiones con actividad minera, tomando en cuenta que pueden verse afectadas por la eliminación directa o indirecta, de desechos al mar, lo que provocaría un impacto ambiental biológico, físico y/o químico marino. Esto conlleva a su vez un impacto social, por la alteración de los recursos marinos del sector para las comunidades locales.

3. JUSTIFICACIÓN Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El agua de mar presenta elevadas dinámicas naturales y una intensa presión antrópica influenciada por el desarrollo de actividades económicas. La mala calidad de esta puede generar una cadena de impactos negativos no solo en el ámbito de dañar los ecosistemas marino-costeros, sino que repercutir en la fuente de un recurso económico para pescadores locales e incluso puede llegar directamente al hombre, por medio de consumos de productos del mar. El auge minero en la región de Antofagasta ha derivado en la utilización del mar como sumidero de descarga de desechos pertenecientes a infraestructuras que nutren de energía a la minería en la región, por medio de centrales termoeléctricas o plantas desaladoras que satisfacen las necesidades hídricas de la minería en la región.

El campo de la Teledetección ha proporcionado al estudio del agua de mar ventajas en conocimiento, comprensión y conservación de la superficie marina. Las respuestas que proporciona el espectro electromagnético, en los últimos tiempos, han sido un aliado para estudios cuyos objetivos son conocer la calidad de las aguas (Moreira, 2009). Permitiendo observar y medir las propiedades de un ámbito de difícil alcance por otros medios, desde una escala espacio-temporal.

Dada la importancia de la actividad minera en la región de Antofagasta y del uso del agua de mar en infraestructura asociada a la minería, se hace atractivo conocer los principales parámetros, sencillos de caracterizar y a su

vez indicativos, de la calidad del agua de mar mediante Teledetección como son: turbidez, sólidos en suspensión y clorofila, que han demostrado ser los que principalmente influyen en la respuesta espectral en este tipo de medios (Moreira et al. 2009; Ordoñez et al. 2015).

Para relacionar la calidad de agua de mar con la intervención indirecta de la actividad minera, se estudiarán aquellas bahías principales de la región que presenten infraestructura de termoeléctrica y/o desaladora y una bahía base sin el emplazamiento de dichas infraestructuras.

En base a todo lo anterior, la pregunta de investigación que guía el presente trabajo es: ¿Existe relación entre la calidad superficial de agua de mar y la infraestructura asociada indirectamente a la minería?

4. OBJETIVO

4.1 Objetivo General:

Relacionar la calidad de agua de mar con la infraestructura asociada a la actividad minera en las bahías de Algodonales, Mejillones, Antofagasta y Taltal, Región de Antofagasta, entre los años 1990-2015.

4.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar la infraestructura vinculada indirectamente con la actividad minera en las bahías en estudio para la región de Antofagasta, con énfasis en las infraestructuras con emisarios submarinos, asociadas a satisfacer las necesidades hídricas y energéticas de la minería
- Analizar la distribución espacio temporal de los parámetros indicadores de la calidad del agua de mar como, turbidez, sólidos en suspensión y clorofila en las bahías en estudio en la Región de Antofagasta, entre los años 1990 – 2015.
- Relacionar la producción minera a escala regional en Antofagasta con el índice de calidad superficial del agua, en bahías en estudio en la Región de Antofagasta, entre los años 1990 – 2015.

5. AREA DE ESTUDIO

5.1 Región de Antofagasta

Para la realización de este estudio se determinó como área de investigación la II Región de Antofagasta, que históricamente está vinculada a la minería. Según el Anuario de la Minería Chilena publicado en 2016 por Servicios Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), en Antofagasta se encuentra el 36,5% de la superficie total de concesiones mineras de explotación y exploración del país y el 52,4% de la producción de cobre con respecto al total Nacional en el año 2016 (SERNAGEOMIN, 2016).

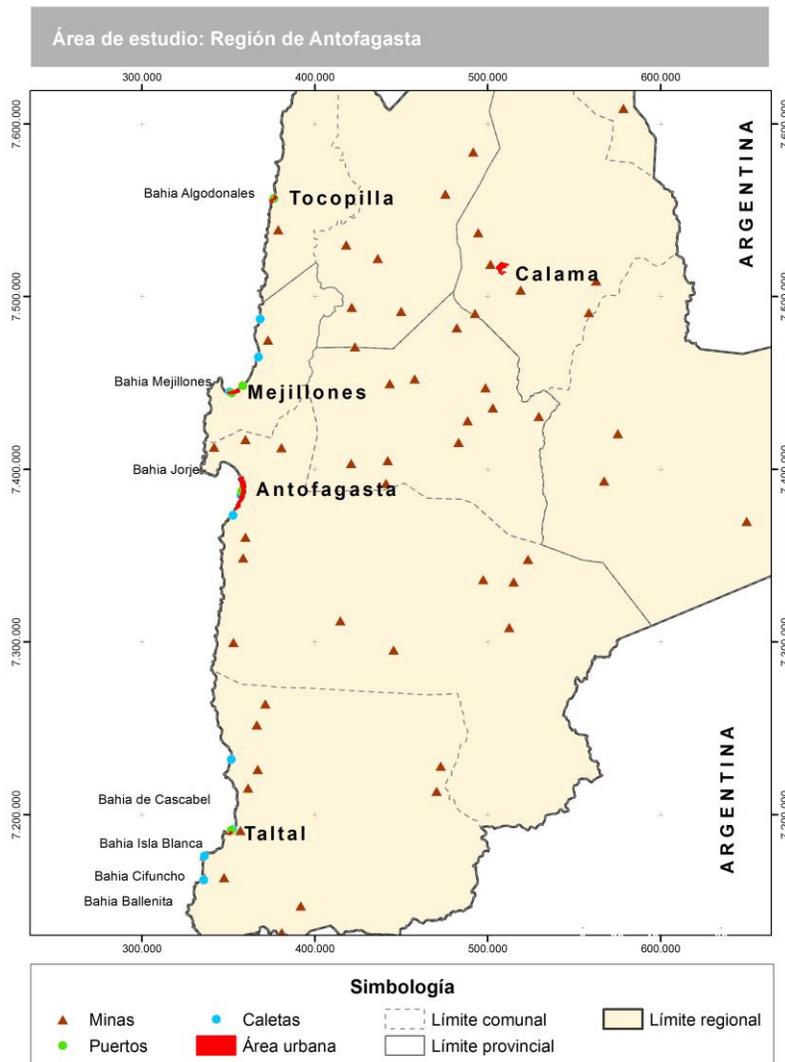
5.1.1 Localización geográfica y división político-administrativa

La Región de Antofagasta se localiza en la zona norte de Chile entre los 21°23' y 26°15' latitud Sur en la costa y los 20°53' y 25°15' latitud Sur en el sector occidental. Limita al norte con la Región de Tarapacá, al Sur con la Región de Atacama, al Este con Bolivia y Argentina y al Oeste con el Océano Pacífico (Mapa 1). Esta región, cuenta con una superficie de 126.049,1 km², y una longitud de costa de 500 kilómetros aproximadamente (IGM,2010).

De acuerdo con su división político-administrativa, la región está constituida por tres provincias y nueve comunas. Estas se distribuyen en las comunas de: Antofagasta, Mejillones, Sierra Gorda y Taltal para la provincia de Antofagasta; Calama, San Pedro de Atacama y Ollagüe para la provincia de

El Loa y Tocopilla y María Elena, para la provincia de Tocopilla, siendo su capital regional la ciudad de Antofagasta.

Mapa 1. Área de estudio



Fuente: Elaboración Propia (2017)

5.1.2 Caracterización demográfica.

La Región de Antofagasta alberga una población estimada para el año 2016 de 631.875 habitantes, de las cuales se distribuyen en un 60,78% en la

comuna de Antofagasta, 4,4% en la comuna de Tocopilla, 2,08% en la comuna de Taltal y solo el 1,83% en la comuna de Mejillones, que son las comunas de interés de este estudio (INE, 2016a).

De acuerdo con la información del Instituto Nacional de Estadística (INE), la comuna de Antofagasta tiene una superficie aproximada de 30.718,3km², con una densidad de población de 12,5 habitantes por kilómetro cuadrado. Le sigue en superficie la comuna de Taltal con 20.405,1km² y una densidad de 0,65 hab./km², la comuna de Mejillones presenta una superficie mucho menor, de 4.039km² y una densidad de población de 3,03 hab./km² y Tocopilla presentan solo 3.803,9km² de superficie y 6,88 hab./km².

5.1.3 Caracterización económica

La Región de Antofagasta se ha caracterizado a lo largo de su evolución histórica por sus rasgos de región minera, es la segunda mayor en términos de PIB y una de las más relevantes por su decisiva influencia en la economía nacional. A partir de la década de los noventa, se consolida un complejo minero de características globales, constituido sobre la base de la combinación de inversión extranjera, con un modelo de gestión flexible intensivo en capital, orientado a la producción y exportación de minerales en gran escala (Lagos et al., 2001; Arroyo & Rivera, 2004). Casi 2/3 de su producto corresponden a exportaciones, sus economías cuentan con grandes empresas multinacionales y su fuerza de trabajo se internacionaliza

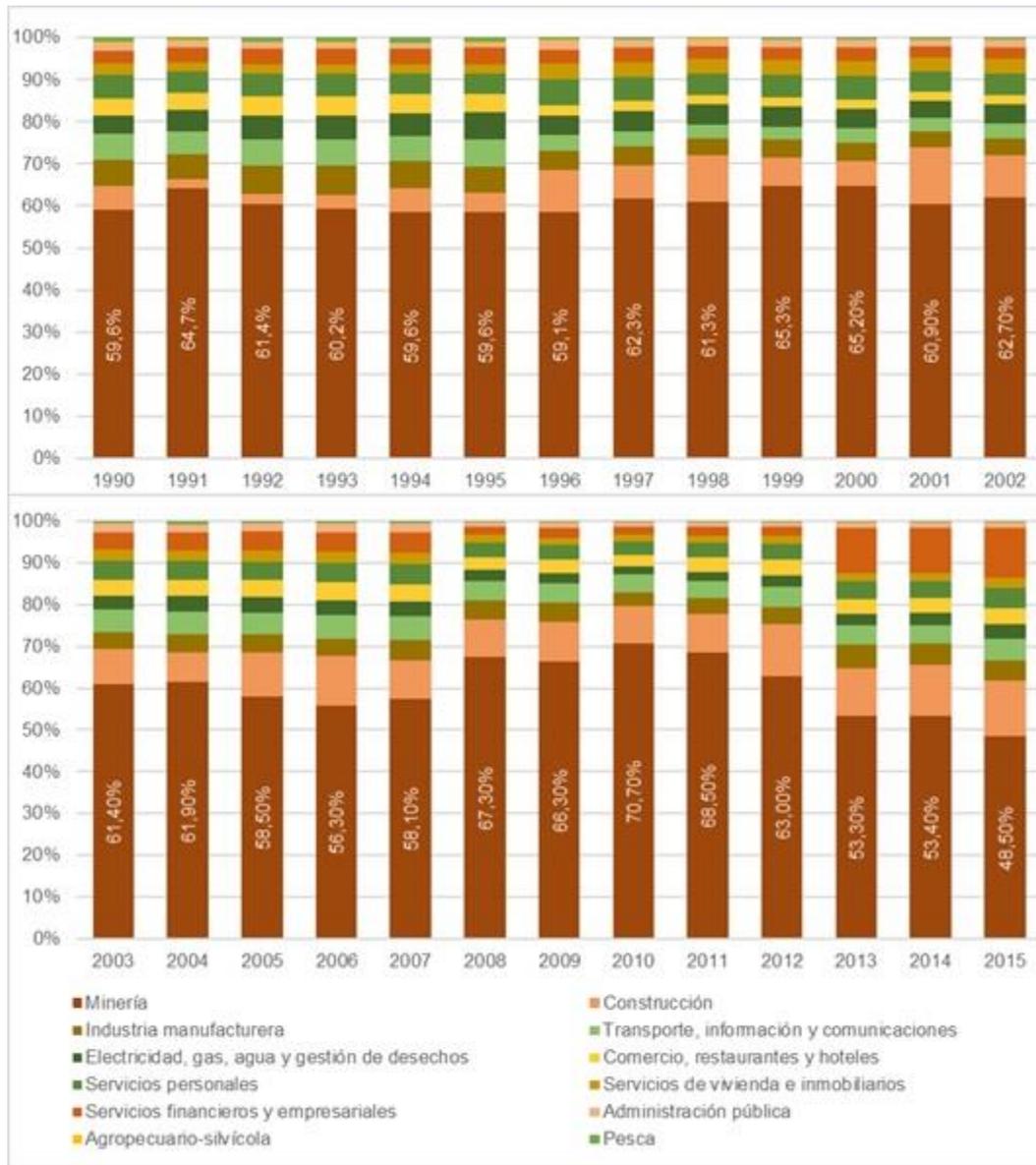
por el creciente flujo de inmigrantes. De acuerdo con Daher (2015), Antofagasta es región-*commodity* por excelencia.

La reestructuración del sector minero-industrial, entre los años 1990 y 2010, permite expandir la producción y las exportaciones de minerales hasta triplicar la economía regional, alcanzando una participación en el PIB total del país que la convierte en uno de los principales polos económicos a nivel nacional.

Por lo que respecta al aporte del sector minero al PIB regional (Gráfico 1), en el periodo 1990-2007, se mantuvo relativamente constante. Situándose siempre como el principal sector de actividad para la región, aportando el 60% aproximadamente. En el año 2008 presenta un repunte sobre el 65%, en el año 2010 tiene su aporte del 70% y para el 2015 baja a un 48,5%. Para el periodo 2010-2015, el porcentaje de aportación al PIB regional va en decadencia.

La inversión en el sector de recursos naturales ligado al sector minero concentró entre 1990 y 2010 más de un tercio del total de los capitales externos. Un 40% del total de aquellos recursos fueron atraídos a la región, destinándose un 90% de aquellos a las actividades de exploración, extracción, producción y exploración de minerales, dando origen al principal complejo minero-industrial del país y con ello transformando a la región en la principal a nivel nacional de economía primario-exportadora.

Gráfico 1. Composición del PIB. Región de Antofagasta. 1990-2015



Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Central de Chile (2016).

De acuerdo con el Indicador de Actividad Económica Regional (INACER en adelante), el año 2016 la Región de Antofagasta finalizó con una leve variación anual de 0,3%, siendo la Minería uno de los sectores que lideró la disminución de actividad económica, explicado principalmente por la menor

producción de cobre y plata. El metal rojo presentó en ese año una producción decreciente (INE,2016b). Para este año, el subsector Electricidad fue el que influyó positivamente en el indicador de actividad económica regional, destacado por la mayor generación eléctrica que se produjo en la región, a su vez la distribución eléctrica también presentó incidencias positivas para la región.

5.2 Región de Antofagasta: Instrumentos de Planificación Territorial para la actividad minera e industrial.

Una de las bases fundamentales en la importancia y el progreso alcanzado por la minería nacionales la conformación de un conglomerado de empresas productoras de bienes y servicios para la minería (COCHILCO, 2016), situadas en las zonas de actividad preferentemente minera, que ha permitido el impulso directo e indirecto, de diferentes instalaciones industriales en el borde costero del país, utilizando el mar como el medio de descarga.

En la región de Antofagasta, se configura un ambiente adecuado para el desarrollo de un complejo productivo en torno a la actividad minera, a causa de sus condiciones geológicas y el liderazgo que mantiene en la producción nacional de cobre (Rivera & Aroca, 2014). Esto atrae a diferentes tipos de industrias, como son termoeléctricas, y actividades como la desalinización del agua de mar, a proveer de recursos e infraestructura que abastezcan las necesidades eléctricas e hídricas para la minería de la región.

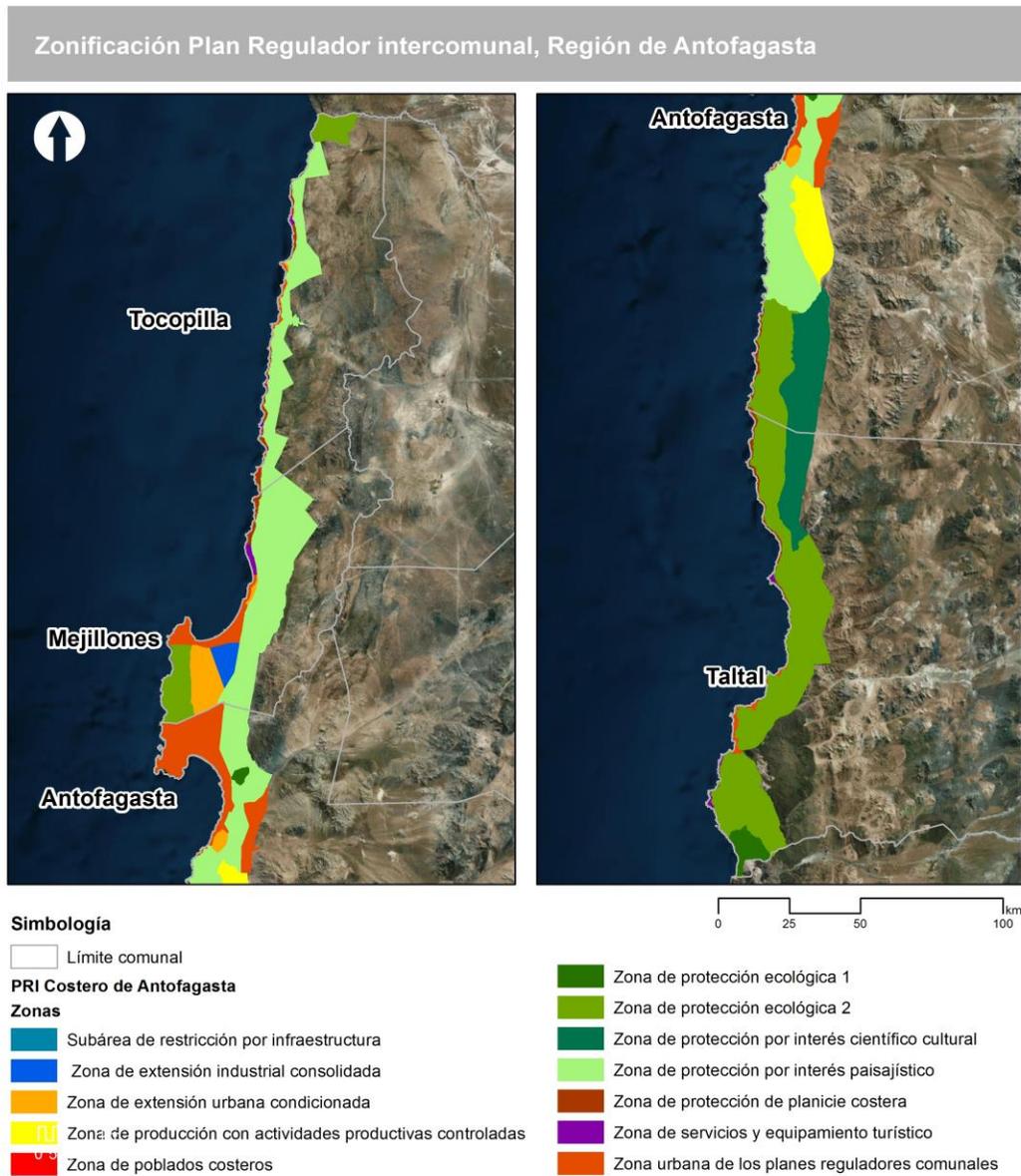
La planificación territorial del espacio no es ajena a esta situación regional. De acuerdo a los instrumentos de planificación territorial en el área de estudio, en el año 2004, se promulga el “Plan Regulador Intercomunal del Borde Costero II Región” (PRI) que orienta y regula el proceso de desarrollo del territorio costero de las comunas de Antofagasta, Mejillones, Tocopilla y Taltal, con el objetivo de formular un instrumento de planificación, que permita la zonificación territorial del borde costero regional de manera coherente con el desarrollo de las actividades productivas y sociales de acuerdo a la situación intercomunal costera de la región.

Uno de los objetivos de este plan es proteger el medio ambiente y los recursos naturales del área territorial para asegurar las condiciones de habitabilidad en las áreas urbanas y rurales de la intercomuna, apuntando a su vez al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del borde costero, procurando el ordenamiento territorial que asegure la explotación sustentable de los recursos naturales (MINVU, 2009).

La zonificación del PRI (Mapa 2), contempla la “Zona de Extensión Industrial Condicionada”, que corresponde al desarrollo de industria no molesta, actividades productivas, infraestructura sanitaria entre otras, que son proyectos que deben cumplir con la normativa ambiental vigente y que hayan ingresado al SEIA (MINVU, 2009). La ejecución y operación de los proyectos localizados en estas zonas deben presentar un estudio de factibilidad sanitaria y estudios técnicos específicos que aseguren la protección del

medio natural, y la definición de medidas de mitigación necesarias para la protección del territorio continental como marítimo.

Mapa 2. PRI Borde Costero.



Fuente: Elaboración propia con datos de MINVU (2009)

En el año 2009, el Gobierno Regional de Antofagasta dio inicio al proceso de "Zonificación del Borde Costero de la Región de Antofagasta", el cual tenía

por objetivo generar condiciones favorables para el desarrollo sustentable del borde costero regional, a través de un instrumento de planificación territorial que identifica los usos actuales y potenciales de este territorio, acorde con los intereses regionales y locales (GORE, 2016). En su propuesta de macro zonificación del borde costero definió 19 zonas de uso del territorio, entre las cuales se definen las zonas: portuarias, pesqueras, preferentes para la minería, preferentes para el uso industrial, de protección para la conservación de la naturaleza, relevancia ecológica y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos entre otras.

En el proceso de macro zonificación de la región, se contempló el acuerdo de señalar los usos como “preferentes” a aquellas “zonas orientadas a cumplir preferentemente uno o varios usos territoriales, los cuales deben ser conservados y desarrollados en el tiempo. Esto implica que no se excluyen otros usos, sino que se condiciona a los otros usos territoriales a demostrar que no perjudican el potencial que el territorio presenta para el desarrollo del uso acordado como preferencia” (GORE Antofagasta, 2010. p.30). En el informe se determina, como la actividad minera de la región y las zonas preferentes para uso minero tienen una alta compatibilidad con el uso industrial, uso portuario y uso infraestructura debido a que son usos complementarios para esta actividad.

Con respecto a la zona preferente para uso de infraestructura, que se localiza en las cuatro comunas costeras de la región (de norte a sur: Tocopilla, Mejillones, Antofagasta y Taltal), “corresponde a las áreas

asociadas a elementos de infraestructura existentes o proyectados, de tipo energético, sanitario y de transporte, exceptuando la infraestructura portuaria, que tienen relación con los asentamientos humanos y económico-productivos emplazados en el territorio del borde costero” (GORE Antofagasta, 2010. p.38) y posee una alta compatibilidad con el uso minero ya que constituyen actividades complementarias en la región. En las zonas correspondientes a este uso, se identifican sectores con emisarios submarinos, uso de termoeléctricas y para la comuna de Antofagasta, la localización de las plantas desalinizadoras (GORE Antofagasta, 2010).

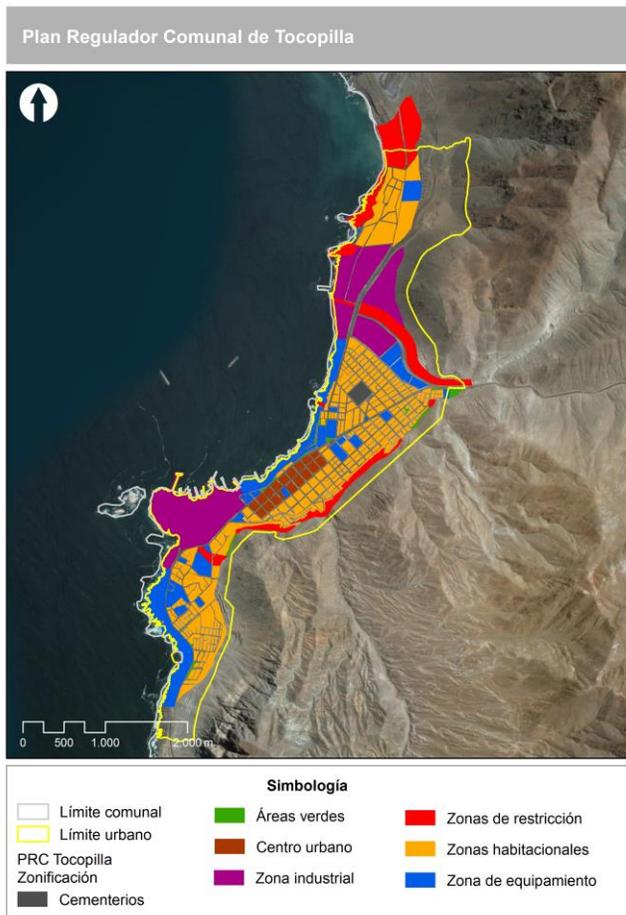
Uno de los instrumentos de planificación territorial local, corresponde al Plan Regulador Comunal (PRC en adelante) que en su carácter normativo establece entre sus objetivos las condiciones de ocupación del territorio comunal a través de las normas urbanísticas.

En la comuna de Tocopilla, el PRC se publica en el Diario Oficial en noviembre de 2001, posteriormente se hicieron dos modificaciones en el año 2008 y 2010. (Ilustre Municipalidad de Tocopilla, 2015). La macro zonificación del PRC determina que, en la comuna, específicamente en la Bahía de Algodonales existen dos sectores de zona industrial. El primero en la zona norte de la bahía, que corresponde al emplazamiento de industria molesta, no molesta e inofensiva, que tiene como norma principal el ser un agrupamiento aislado o pareado de 500m². La segunda zona industrial, en el sur de la bahía, en Punta Algodonales, se localiza una zona industrial consolidada con uso de termoeléctricas, actividad minera (planta Soquimich)

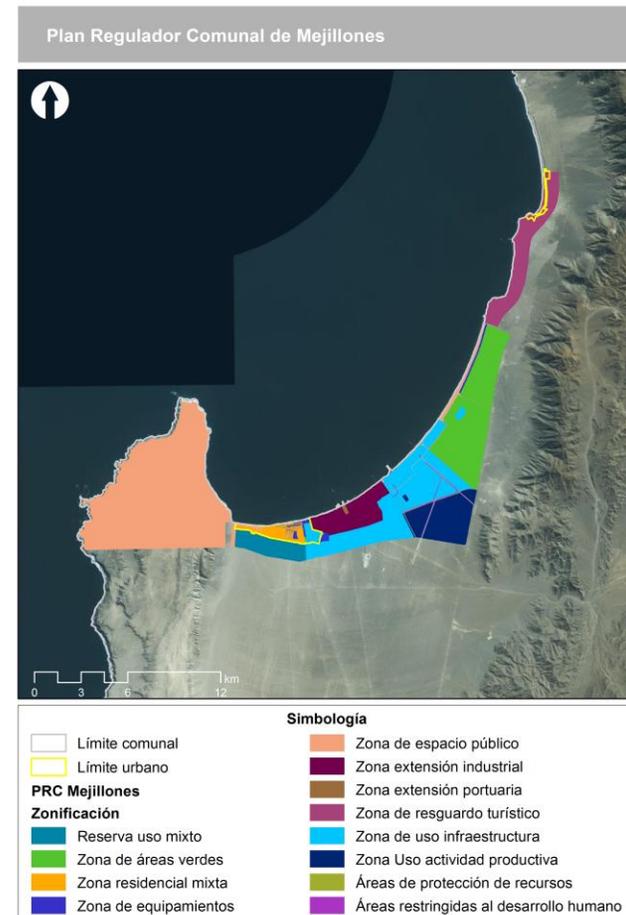
y actividades portuarias, entre otras en donde su norma principal corresponde a ser un agrupamiento aislado de 1.500m² (Ilustre Municipalidad de Tocopilla, 2015).

En la comuna de Mejillones el PRC del puerto y bahía de Mejillones, fue publicado por el Diario Oficial N°36.810 de fecha 11 de noviembre de 2000, posteriormente se hizo un plan seccional Industrial en el año 2002 y en el año 2013 una modificación en el área urbana consolidada y portuaria de Mejillones (Ilustre Municipalidad de Mejillones, 2013). En la macro zonificación del PRC de Mejillones, existe una zona de actividad productiva (Mapa 4) que permite el desarrollo de actividades industriales o de impacto similar al industrial, calificadas como inofensivas o molestas. Continua a esta zona, hacia el borde costero se emplaza la zona de uso de infraestructura y de extensión industrial que está compuesta por zonas portuarias, zonas de infraestructura energética y sanitaria. En dicha zona, de acuerdo con el PRC comunal, se permite el emplazamiento de plantas generadoras de energía eléctrica que no estén calificadas como insalubres o contaminantes.

Mapa 3 Zonificación PRC Tocopilla

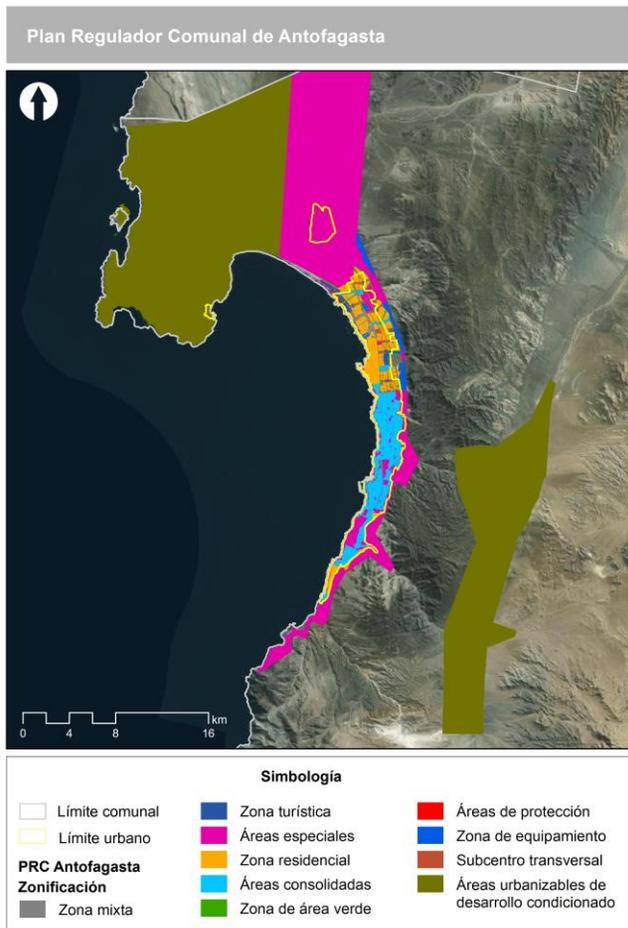


Mapa 4 Zonificación PRC Mejillones

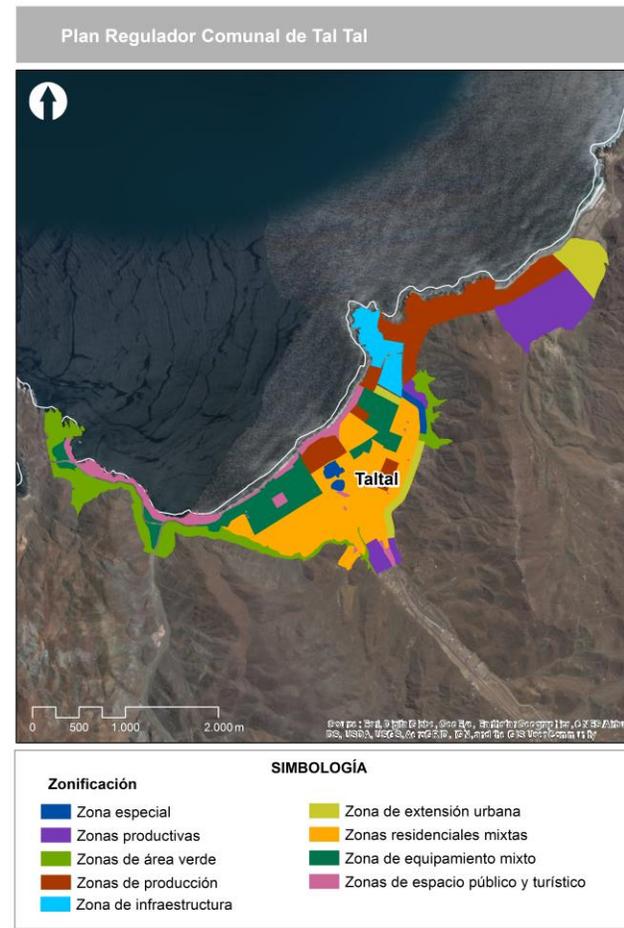


Fuente: Elaboración propia con datos de IDE (2016)

Mapa 5 Zonificación PRC Antofagasta



Mapa 6 Zonificación PRC Taltal



Fuente: Elaboración propia con datos de IDE (2016)

El PRC de Antofagasta, aprobado y publicado en el Diario Oficial el 17 de julio de 2002, en conjunto con sus modificaciones posteriores, señala que las actividades productivas correspondientes a industrias que se desarrollan en la ciudad deben ser inofensivas no contaminantes y se localizan en las macrozonas mixtas y urbanizables de desarrollo condicionado (Mapa 5) (Ilustre Municipalidad de Antofagasta, 2001)

Para el caso de Taltal, el PRC fue promulgado por el Diario Oficial N°36.975 de fecha 31 de mayo de 2001, con una enmienda en el 2009. La zona de producción corresponde a embarques, descargas y transferencia de carga de naves con prohibición al desarrollo de actividades industriales o de impacto similar al industrial molesto, contaminante o peligroso. En la zona industrial del área urbana consolidada de Taltal, que se localiza al norte de la bahía, responde a muelles e instalaciones de apoyo a las actividades marinas portuarias y prohíbe la edificación o instalación de uso de suelo e infraestructura energética (Ilustre Municipalidad de Taltal, 2012).

Por lo anteriormente expuesto, el mar de la región de Antofagasta posee zonas de uso que directa o indirectamente generan eliminación de desechos y, por ende, impactos en las aguas de mar. Estos impactos, no son directamente desarrollados por la minería, sino que son realizados por las diferentes infraestructuras que nutren de recursos a la minería para su desarrollo en la región.

5.3 Termoeléctricas y Desaladoras

Para nutrir de energía a la minería en la región, son necesarias las centrales termoeléctricas, del mismo modo, para nutrir las falencias hídricas del desierto en Antofagasta y a su vez disminuir el conflicto socio-ambientales desarrollados históricamente en la región por el agua, las plantas desalinizadoras y desaladoras pueden abastecer de agua pura a la minería y la población.

Considerando a la región de Antofagasta, la Tabla 1 muestra las principales centrales termoeléctricas en la región, que alimentan al Sistema Interconectado Central (SIC) y del Sistema Interconectado de Norte Grande (SING) en la región de Antofagasta, de acuerdo con datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE). Todas éstas centrales, están emplazadas en las comunas del borde costero de la región, la central termoeléctrica emplazada en la comuna de Taltal, es la única en la región que alimenta con 240 MW de potencia al SIC, las centrales termoeléctricas que aportan energía al SING son 13 y se localizan siete en la comuna de Mejillones, tres en la comuna de Antofagasta y tres en la comuna de Tocopilla.

Tabla 1. Unidades generadoras de centrales costeras en la Región de Antofagasta

PROVINCIA	COMUNA	NOMBRE	COMBUSTIBLE	POTENCIA MW	PROPIETARIO	SISTEMA ELECTRICO
Antofagasta	Taltal	Taltal	DIESEL	240	ENDESA	SIC
Antofagasta	Mejillones	Atacama	GAS NATURAL	780,6	GAS ATACAMA	SING
Antofagasta	Mejillones	Diésel ENAEX	DIESEL	2,7	ENAEX	SING
Antofagasta	Antofagasta	Diésel INACAL	FUEL OIL NRO. 6	6,8	EQUIPOS DE GENERACION S.A.	SING

Tabla 1. Unidades generadoras de centrales costeras en la Región de Antofagasta

PROVINCIA	COMUNA	NOMBRE	COMBUSTIBLE	POTENCIA MW	PROPIETARIO	SISTEMA ELECTRICO
Antofagasta	Antofagasta	Diésel MANTOS BLANCOS	DIESEL + FUEL OIL	28,64	MINERA MANTOS BLANCOS	SING
Antofagasta	Mejillones	Planta de Ácido Sulfúrico Mejillones	COGENERACION	17,5	NORACID	SING
Antofagasta	Mejillones	Termoeléctrica ANDINA	CARBON	168,8	ANDINA	SING
Antofagasta	Mejillones	Termoeléctrica ANGAMOS	CARBON	545	ANGAMOS	SING
Antofagasta	Mejillones	Termoeléctrica HORNITOS	CARBON	170,1	HORNITOS	SING
Antofagasta	Mejillones	Termoeléctrica MEJILLONES	CARBON/GAS NATURAL	591,7	E/CL	SING
Antofagasta	Antofagasta	Diésel AGUAS BLANCAS	DIESEL	2	INGENOVA	SING
Tocopilla	Tocopilla	Diésel TAMAYA	FUEL OIL NRO. 6	103,7	E/CL	SING
Tocopilla	Tocopilla	Termoeléctrica NORGENER	CARBON	277,3	NORGENER S.A.	SING
Tocopilla	Tocopilla	Termoeléctrica Tocopilla	DIESEL/GAS NATURAL/FUEL OIL NRO. 6/CARBON	1.001,70	E/CL	SING

Fuente: Comisión Nacional de Energía (2016)

Para el caso de Chile, actualmente operan alrededor de 15 plantas desalinizadoras en territorio nacional. Además, unos 10 proyectos están en fase de construcción y alrededor de 10 proyectos se tramitan en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) (DGA,2014). La Tabla 2 muestra las principales desaladoras al año 2014 en la región de Antofagasta, de acuerdo con datos de la Dirección General de Agua (DGA, 2014). Las plantas desaladoras en la región, son creadas para el uso minero y de agua potable, sin embargo, el uso minero es el que tiene mayor capacidad instalada de L/s.

Tabla 2. Plantas desaladoras en la Región de Antofagasta

Planta	Región	Cap. Instalada (L/s)	Uso
Planta Coloso	Antofagasta	525-2800	Minería (Cu)
Escondida	Antofagasta	2,5	Minería (Cu)
Michilla	Antofagasta	75	Minería (Cu)
Esperanza	Antofagasta	50	Minería (Cu)
Aguas Mar Las Luces	Antofagasta	9	Minería
Mantos de La Luna	Antofagasta	78	Minería (Cu)
Las Cenizas del Taltal	Antofagasta	9	Minería (Cu)
La Chimba	Antofagasta	600	Agua potable
Hornitos	Antofagasta	5.2	Agua potable
MEL (campamento)	Antofagasta	30	Agua potable
Moly-Cop (acero)	Antofagasta	5.2	Agua potable

Fuente: DGA,2014

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la región de Antofagasta, en cuanto a la localización de las desaladoras, es fuente de impacto ambiental tanto en el medio acuático como en las zonas costeras donde se ubican. Dado que las plantas desaladoras en la región son relativamente nuevas, no se han encontrado estudios de algún impacto ambiental ocurrido en la región por el funcionamiento de la planta desaladora, sino que de aspectos biológicos (Leyton, Letelier, & Mata, 2017) y tecnológicos (Petry et al. 2007; Ordoñez, et al., 2015).

6. ESTADO DEL ARTE: CALIDAD DE AGUA DE MAR

Este apartado pretende dar cuenta de los alcances que tienen actualmente los estudios del medio ambiente marino impactados directa o indirectamente por intervenciones antrópicas desde su concepto más general, pasando por el tipo de alteración que produce el descargue de líquidos producto de centrales termoeléctricas y/o desaladoras, para llegar a las metodologías en teledetección como herramienta para el análisis espacio-temporal del agua de mar y el contexto legal de Chile que abarca el descargue de residuos en aguas marinas.

6.1 Calidad del agua de mar

De manera genérica, al utilizar el concepto de calidad en función del agua, se hace referencia a las características que presenta la masa de agua, que han de ser descritas de forma objetiva por medio de parámetros cuantitativos o cualitativos. De acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española, calidad se define como “propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor” (Real Academia Española, 2017).

De acuerdo con esta definición, es necesario determinar el valor del uso al que se va a destinar el agua, ya que los requisitos para calidad varían de acuerdo con su uso. Es decir, una masa de agua que presenta condiciones óptimas para sustentar sus ecosistemas acuáticos puede no ser adecuada para el consumo humano.

La manera más sencilla de estimar la calidad del agua consiste en la definición de valores de variables físicas, químicas o biológicas que se consideran admisibles o deseables según el uso a que se destine. Así, acorde a las concentraciones encontradas, se califica la calidad de agua y se define su potencialidad de uso.

En Chile no existe definición exacta de que es calidad de agua, el Ministerio de Medio Ambiente en conjunto con la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas tienen el portal web Sistema Nacional de Calidad de Aguas, cuyo objetivo es la publicación de datos públicos como privados de estaciones de monitoreo de calidad de agua, sin embargo, cada calidad de agua depende del uso y parámetros que deben cumplir.

Para el Estado de Chile, la calidad de las aguas no es un tema sin importancia, los diversos conflictos ambientales tanto nacionales como internacionales que se han producido por el tema, han hecho que se tenga una preocupación por este recurso, a través de la dictación de diversas disposiciones legales y reglamentarias que buscan la protección de la calidad del agua de mar y de los sectores que subsisten con él.

6.2 Efectos en aguas superficiales marinas por infraestructura submarina: Termoeléctricas y desaladoras.

Los estudios de calidad de agua de mar producidos por infraestructura energética y/o hídrica son pocos. Las descargas de líquidos a aguas

marinas, producidas por centrales termoeléctricas y/o desaladoras, necesitan de un emisario submarino que conduzca el residuo al fondo marino.

Las centrales termoeléctricas generan descargas térmicas, que son el vertimiento de agua utilizada para enfriamiento de equipos, a una temperatura mayor a la del cuerpo de agua receptor, generando en el mayor de los casos, plumas de aguas cálidas en la zona aledaña a la descarga. Este impacto tiene consecuencias en el ecosistema biológico marino, que se produce porque el agua es obtenida del mar, lo que implica que grandes cantidades de organismos planctónicos son sometidos a rápidos incrementos de temperatura y presión, provocando impactos negativos sobre su abundancia, composición y sobrevivencia (Taylor, 2006).

Posteriormente, el agua utilizada es descargada con una temperatura incrementada en 6°C a 10°C respecto a la temperatura ambiente, pudiendo alterar localmente la estructura comunitaria del plancton y peces (Poornima et al. 2006). Si sumamos otros factores de calentamiento de las aguas (El Niño), la tolerancia térmica de muchas especies puede ser sobrepasada. A su vez, las descargas de aguas residuales de una termoeléctrica, tiene una composición química diversa a la composición natural del agua. Por este motivo, los residuos líquidos generados por una termoeléctrica, al ser descargados directamente al agua de mar u otro cuerpo de agua, pueden provocar impactos en la calidad del cuerpo de agua receptor, estratificación y/o perturbación de bentónicas y submareales (SMA, 2014).

Con lo que respecta a las desaladoras, existen dos procesos para la desalación de agua de mar: por destilación y por ósmosis inversa, ambos generan impactos en el medio ambiente acuático (Tabla 3), principalmente por el vertido de aguas residuales y un impacto menor por el proceso de captación.

Tabla 3. Sustancias añadidas durante el proceso de desalación, su función y posible impacto en el sistema

Compuestos	Origen/Función	Impacto
Metales pesados: Cu, Fe, Ni; Cr, Zn	Corrosión	Acumulación en el sistema, estrés a nivel molecular y celular
Fosfatos	Anti-incrustante	Macronutrientes, eutrofización
Ac. Málico	Anti-incrustante	Desconocido
Cl	Antifouling	Formación compuestos halogenados, carcinógenos y mutagénos
Ácidos Grasos	Tensoactivos	Membranas celulares
Sulfuro de sodio	Anticorrosivo, captura O ₂	Desconocido
Ácido Sulfúrico	Anti-incrustante	En grandes cantidades baja significativamente el pH del sistema
Residuos sólidos	Limpieza de membranas	Turbidez
Salmuera	Concentrado de agua de mar	Variable
Temperatura	Tratamiento	Variable

Fuente: García & Ballesteros (2001)

Los elementos que puede tener una descarga de una planta desaladora son los siguientes: concentraciones de sal que varían entre 46,000 y 80,000 ppm; incremento de 5°C sobre la temperatura del agua del mar, niveles de turbiedad superior a los afluentes, niveles de oxígeno por debajo del afluente, compuestos químicos del proceso de pretratamiento, compuestos químicos de los procesos de lavado de las turbias y limpieza de las membranas de la ósmosis inversa, compuestos orgánicos y metales que pudiera estar

contenidos en el afluente y concentrados en el proceso de desalación (Roberts, Johnston, & Knott, 2010)

El impacto por la salinidad en la descarga de residuos es debido que la salmuera al ser más densa que el agua de mar, puede depositarse en el mismo lugar donde es descargada, y afectar la ecología local dependiendo de las condiciones físicas del lugar (básicamente corrientes marinas y oleaje). Estas concentraciones de sal pueden afectar a los organismos vivos que se encuentran cercanos a las obras de descargas, lo que sumado a la fluctuación de temperatura podría llegar a modificar o destruir estructuras ecológicas del mar, y si la descarga contiene material fino en suspensión, podrían interferir en el paso de la luz solar y disminuir la productividad marina afectando al fitoplancton (Fernández, Sánchez, & González, 2005; Fuentes, 2014; García & Ballesteros, 2001).

Estas alteraciones en las aguas marinas son dinámicas, principalmente, por que el cuerpo receptor es fluido y dinámico, y las descargas se realizan temporalmente, las herramientas para el monitoreo diario de la descarga en conjunto con las investigaciones de los impactos temporales que pueden producir este tipo de descarga son altamente costosos.

El uso de imágenes satelitales como herramientas para el monitoreo y evaluación temporal del agua de mar, puede ser un campo poco explorado en el país, pero que extiende el conocimiento de esta área. A continuación, se desarrollan las ventajas de este campo de estudio en el medio ambiente marino.

6.3 Ventajas de estudios con teledetección

La diversidad de las situaciones geográficas en las que existe el interés por conocer las condiciones de la calidad superficial del agua, para la preservación de recursos marinos y ecosistemas marinos frente a los usos antrópicos que ha desarrollado el borde costero en Chile, ha incrementado el conocimiento y el aporte de la Teledetección en esta área, las características espectrales del agua hacen que ciertas propiedades de esta sean fácilmente identificables.

Para establecer la detección de un elemento a partir de la reflectancia de un satélite, es necesario definir de forma empírica o teórica, en cual ventana del espectro electromagnético refleja y absorbe la energía. La definición de estos valores da lo que se conoce como firma espectral, característica que permite aislar distintos elementos detectados a partir de la teledetección.

La energía electromagnética, procedente de una masa de agua que llega a un sensor, es una consecuencia directa de la absorción y dispersión selectivas y acumuladas que producen los variados materiales orgánicos e inorgánicos que se encuentran en las aguas naturales (Chuvienco, 2000).

El fitoplancton presente en las aguas naturales influye de manera decisiva en su respuesta espectral. Las células de fitoplancton contienen pigmentos que son los encargados de realizar la fotosíntesis, utilizando energía solar como fuente de energía. Los pigmentos, absorben de manera significativa la energía electromagnética procedente del sol que penetra en la masa de agua en determinadas longitudes de onda. Hay tres tipos de pigmentos

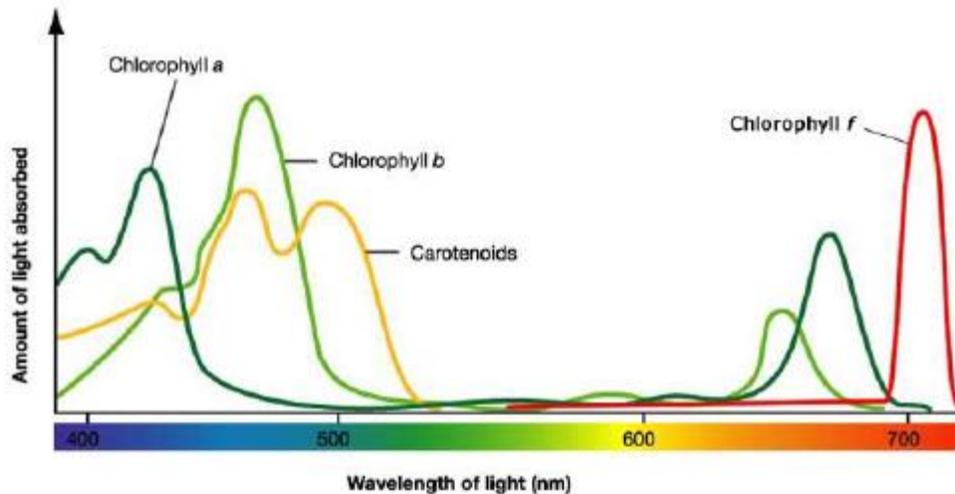
fotosintéticos en el fitoplancton: clorofilas, carotenos y pigmentos ficobilínicos (Cavallaro, 2000).

Las clorofilas son pigmentos verdes que contienen un anillo de porfirinas, formando una molécula estable alrededor de la cual los electrones se mueven libremente. Por ello, el anillo puede ganar o perder electrones fácilmente, y puede proporcionárselos a otras moléculas, proceso mediante el cual la clorofila captura la energía solar para la fotosíntesis (Robinson, 1985). Existen distintos tipos de pigmentos clorofílicos, diferentes químicamente y conocidos como clorofila a, b y c. La clorofila a es la más importante, ya que es la molécula fundamental en la fotosíntesis, que cede sus electrones cargados de energía a las moléculas encargadas de fabricar azúcares. De acuerdo con Cavallaro (2002), todas las plantas que realizan la fotosíntesis, por tanto, todas las algas contienen clorofila a y ésta absorbe intensamente la energía electromagnética de longitud de onda azul (alrededor de 440 nanómetros, conocida como la banda de absorción de Soret para la clorofila a en vivo) y menos en la región del rojo (alrededor de 675 nm). La clorofila b aparece sólo en las algas verdes y absorbe la energía electromagnética de longitud de onda azul (ligeramente superior a la banda que absorbe la clorofila a) y roja (longitud de onda ligeramente inferior a la de la clorofila a). Finalmente, la clorofila c se encuentra sólo en los dinoflagelados.

De acuerdo con Y. Z. Yacobi (1995) la clorofila a sitúa su mayor rango de reflectancia entre los 400 y 850 nanómetros, con un máximo de reflectancia

entre los 550 y 570 nanómetros, cuando las concentraciones de clorofila son más altas.

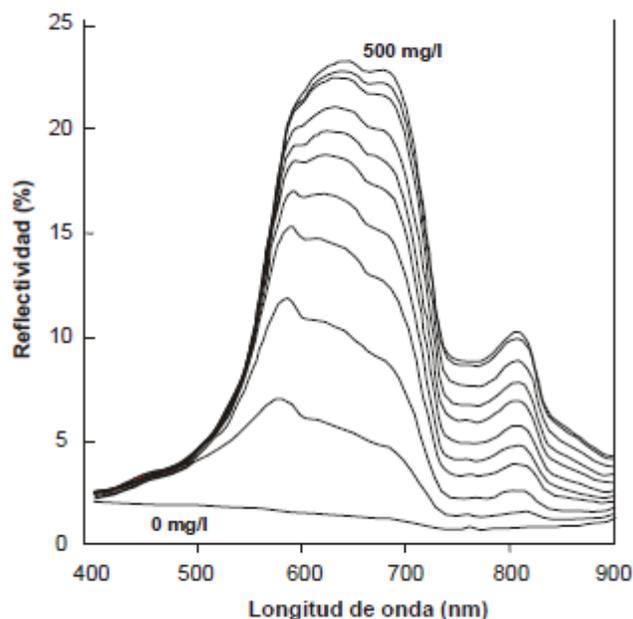
Figura 1. Reflectancia de la Clorofila



Fuente: Extraído de Srivastava, S & Sadistap, S. (2017)

Por su parte, la presencia de sólidos en suspensión en el agua se traduce normalmente en un aumento de la reflectividad de la masa de agua en toda la región óptica del espectro electromagnético, existiendo en general una relación positiva entre concentración de sedimentos en suspensión y reflectividad (o radiancia) de la masa de agua. En general, la reflectividad de la masa de agua aumenta en todas las longitudes de onda del espectro óptico al aumentar la concentración de sedimentos en suspensión de forma lineal hasta una determinada concentración, a partir de la cual la reflectividad se mantiene prácticamente constante. (Munday & Alföldi 1979; Curran & Novo 1988).

Figura 2. Relación entre concentración de sólidos en suspensión y reflectividad de la masa de agua



Fuente: Hans (1997)

Para el caso de la turbidez y el color en el agua, tal como indican Jackson & Sheiham (1991), son dos parámetros que describen cuantitativamente la apariencia de las masas de agua. El aspecto visual de una muestra de agua es consecuencia del efecto conjunto de la dispersión y absorción de la luz por el material disuelto y en suspensión en el agua. En general, se considera que el material disuelto es el responsable de la absorción de la luz mientras que las partículas en suspensión reflejan la luz en diferentes direcciones, siendo así responsables de los procesos de dispersión.

La dispersión de la luz es la responsable de la apariencia opaca del agua a la que normalmente nos referimos como turbidez, mientras que el color se considera ocasionado por el material en disolución, que absorbe

determinados tipos de luz, modificando el color de la masa de agua (Jackson & Sheiham, 1991). En cualquier caso, esta separación entre los dos parámetros no es rígida, ya que las sustancias disueltas en el agua también dispersan la luz y los materiales en suspensión pueden presentar alguna coloración específica.

Estas ventajas en la comprensión y conocimiento por medio de la observación y medición de estas propiedades de la superficie marina de acuerdo a las respuestas en el espectro electromagnético han sido un avance para la investigación en este campo.

El estudio de la calidad del agua mediante teledetección se enmarca de acuerdo con Emiliano Chuvieco (Chuvieco, 1996) en aquellas investigaciones que utilizan las imágenes de satélite como una “matriz de medidas sobre el terreno” (Chuvieco, 1996, pág. 150), que permiten extraer información sobre una gran variedad de variables biofísicas, con un único requisito: que estén relacionadas de manera directa o indirecta con la energía electromagnética procedente (por emisión o reflexión) del sistema terrestre, que es en definitiva lo que mide el sensor en los sistemas de teledetección pasivos.

La teledetección permite obtener información de la distribución espacial de la variable objeto de estudio mucho más detallada de lo que permiten los métodos de muestreo convencionales, en función de la resolución espacial del sensor. La masa de agua produce un cambio en sus cualidades ópticas,

pudiendo relacionar los valores digitales de la imagen con la concentración de cada uno de los parámetros de calidad del agua.

A continuación, se detallan estudios que han utilizados las imágenes satelitales para obtener información sobre los parámetros de calidad de agua.

6.4 Estudios de la superficie marina con teledetección

En relación con el estudio de la superficie marina, la Teledetección ha proporcionado evidentes ventajas en el conocimiento, comprensión y conservación de los recursos naturales, al permitir observar y medir las propiedades de un ámbito difícilmente abarcable por otros medios. Así, el estudio de las diferentes respuestas de la superficie marina en el espectro electromagnético ha sido, sin duda alguna, un gran avance para conocer este medio, que se ha visto aumentado considerablemente al hacer uso de amplias escalas espacio-temporales de observación.

Dadas sus características naturales, el agua presenta una mayor reflectividad en las bandas cortas (visibles), y menor en las largas (infrarrojos), por lo que el uso de las primeras es básico cuando se pretende abordar el estudio de elementos en suspensión. Los sedimentos presentan diferentes reflectividades, conforme al diámetro de las partículas, la profundidad y la rugosidad de la superficie (Chuvienco, 2002).

En esta línea, el uso de sensores remotos ha permitido estimar con precisión diversos parámetros relacionados con las aguas, principalmente en amplias

regiones oceánicas. Para medir la turbidez, Finley & Baumgardner (1980) usaron 22 imágenes Landsat MSS en la banda roja (MSS 5, 600-700 nm) para estudiar el desarrollo de plumas de turbidez en Arkansas Pass, Texas. Se realizó una interpretación visual de la distribución de sedimentos en suspensión cerca de la costa y el agua se clasificó de acuerdo con los niveles de turbidez observados, cartografiándose la circulación superficial. También se estudiaron datos medioambientales recogidos en el momento de paso del satélite como velocidad y dirección del viento y condiciones de marea, lo que reveló la importante influencia del viento en la circulación superficial de la zona. Hay que señalar que la energía de la región del espectro utilizada penetra un máximo de un metro en el agua turbia, por tanto, la información extraída se refiere solamente a esa capa superficial.

Dekker & Peters (1993) estudian la utilidad de las imágenes Landsat TM para obtener información sobre distintos parámetros de calidad del agua, entre ellos la turbidez medida como profundidad del disco de Secchi, o banda azul, en un sistema de lagos eutróficos como es el de Loosdrecht, en Holanda. El estudio se realizó en dos fechas distintas, en las que se recogió una muestra de agua en cada lago simultáneamente a la adquisición de la imagen. Tras la corrección geométrica, se enmascaró la tierra y se extrajeron los valores digitales correspondientes a las bandas visibles e infrarroja cercana (bandas 1 a 4) para una ventana de 17 x 17 píxeles (equivalente a 510x510 metros) en cada lago muestreado.

Zhu, He y Deng (Zhu et al. 2002) utilizaron la segmentación del histograma en su estudio evolutivo (entre 1973 y 1998) de la transparencia de las aguas en el estuario del río Perla en el sur de China con imágenes Landsat MSS y TM. Las bandas elegidas fueron MSS 2 y TM3 en el rango espectral entre 600 y 700 nm. El mismo método se ha utilizado en España para el análisis de la turbidez en series temporales, tanto en las aguas litorales de Gran Canaria (Hernández Bartolomé & Hernández Calvento 2003), como en las de Andalucía (Moreira et al. 2009).

Ritchie, Cooper y Schiebe (Ritchie et al. 1990) realizaron un estudio con el objetivo de comparar los datos proporcionados por Landsat MSS y TM en seis fechas diferentes sobre un lago para determinar la cantidad de sedimentos en suspensión y clorofila presentes en sus aguas superficiales, así como su temperatura y establecer cuál de los dos sensores proporciona los mejores datos para estudios de calidad del agua. Los datos de calidad del agua tomados in situ en cinco puntos de muestreo para comparar con los obtenidos de las imágenes fueron: sólidos en total, sólidos disueltos, sedimentos en suspensión (en mg/l), clorofila total, clorofila-a (en mg/m³) y temperaturas (en grados centígrados). Las seis imágenes TM y las seis MSS fueron corregidas geométricamente para localizar los puntos de muestreo. Para cada banda MSS y TM se extrajeron los valores de una ventana de 25 píxeles centrada en el punto de muestreo (se demuestra que los valores así obtenidos son comparables para MSS y TM aunque el área cubierta por cada sensor en esos 25 píxeles sea diferente). Los datos utilizados no fueron

directamente los valores digitales obtenidos de las imágenes, sino la radiancia y la reflectividad calculadas a partir de los valores digitales y a partir de esos valores de brillo corregidos restándoles el valor mínimo de cada imagen (método del “objeto oscuro”).

Doerffer y su equipo (Doerffer et al. 1989) utilizaron el análisis de componentes principales para descubrir cuántos parámetros independientes se pueden derivar de los valores de las siete bandas Landsat TM, qué sustancias pueden detectarse en el agua con un sensor diseñado para estudios de la superficie terrestre y si existe una relación significativa entre la distribución de materia en suspensión y la topografía de fondo en aguas poco profundas.

Polvorinos et al. (2001), estudia la clorofila a, sólidos en suspensión y turbidez en el embalse de Aracena, Sevilla, España, en aguas poco profundas marcadas con un régimen estacional que condiciona los ciclos de estratificación. Para la clorofila utilizó un método que incluye las bandas 3 y 4 de los sensores de las plataformas satelitales Landsat 5 y 7. Los sólidos en suspensión los obtiene utilizando la mayor cantidad de bandas espectrales para evaluar el cambio temporal de las variables.

Fernández-Palacios et al. (1997) desarrolla una metodología para la zona litoral de la provincia de Huelva, Andalucía, España, compuesta por zonas arenosas y de marismas, que considera para la obtención de clorofila la mayor cantidad de bandas espectrales, en orden con su intento de abarcar

una región más extensa del espectro. Para los sólidos en suspensión incluye la expresión lineal que combina las bandas 3 y 4 del sensor OLI.

Doña et al. (2009), compara el estado trófico de lagos de Madrid y Valencia, encontrando resultados para la clorofila a con una expresión no lineal usando la reflectividad corregida atmosféricamente de la banda TM2 de Landsat 5, adaptándose para Landsat 8. De acuerdo con este estudio, la turbidez y la materia en suspensión, también cuantifican la concentración de clorofila a en L'Albufera, mediante análisis de regresión entre los datos medidos *in situ* e imágenes Landsat TM corregidas atmosféricamente. Para este parámetro, el mejor modelo es el que incluye como variable independiente la banda 2, alcanzando un coeficiente de determinación de 0.96.

Bowker y Witte (Bowker & Witte 1977) descubrieron que la correlación entre sólidos en suspensión y la concentración de clorofila a en la Bahía de Chesapeake interfería con la medición de la clorofila a través de datos Landsat. La clorofila-a no pudo detectarse en concentraciones menores de 5 a 10 mg/l debido a la influencia dominante de los sedimentos en suspensión en la reflectividad. Este es un problema general encontrado en otros estudios (Johnson 1978) y es muy serio en aguas litorales con gran concentración de partículas inorgánicas, como por ejemplo en la confluencia de corrientes o en zonas costeras bajas con suspensión de sedimentos de fondo. Incluso si las concentraciones de clorofila son muy altas (como sucede en las floraciones de fitoplancton), variaciones simultáneas de la clorofila y las partículas

inorgánicas impiden una medida precisa de la concentración de clorofila a (Munday & Zubkoff 1981).

La *international Journal of Remote Sensing*, Oyama y su equipo de la Universidad de Tsukuba, en Japón (Oyama et al. 2007) presentaron un nuevo algoritmo para la estimación de la concentración de clorofila a en aguas del tipo 2 utilizando datos multiespectrales, desarrollado por medio de una simulación en laboratorio. El algoritmo, denominado Descomposición espectral (SDA, *Spectral Decomposition Algorithm*), se desarrolla en dos pasos. En primer lugar, se considera el espectro de reflectividad total de cada pixel como una combinación lineal de tres componentes básicos: agua clara, materia en suspensión no fitoplanctónica y fitoplancton. El segundo paso es usar el coeficiente de descomposición (C_p) obtenido en el paso anterior como la variable independiente en el modelo de estimación de la clorofila a, en lugar de la reflectividad de cada banda por separado, cocientes o combinaciones aritméticas de las bandas originales, como hacen los métodos convencionales. Los resultados obtenidos para datos Landsat TM simulados muestran que las bandas 1, 3 y 4 son útiles en la cuantificación de clorofila a y que este método reduce el error estándar de la estimación a casi la mitad del que se obtiene mediante regresión convencional.

6.5 Estudios de agua de mar en Chile

La diversidad geográfica en las que existe el interés por conocer las condiciones de la calidad superficial del agua, para la preservación de

recursos marinos y ecosistemas marinos frente a los usos antrópicos que ha desarrollado el borde costero en Chile, ha incrementado el conocimiento y el aporte de la Teledetección en esta área, las características espectrales del agua hacen que ciertas propiedades de esta sean fácilmente identificables.

La teledetección ha sido utilizada en estudios de las costas de Chile, para detectar variables como zonas y focos de surgencia en el área litoral (Farías & Castro, 2008), para la búsqueda e investigación de zonas probables de pesca (Yáñez, Silva, Barbieri, & Nieto, 1996), fenómenos y técnicas espacio-temporal asociados a la estructura térmica superficial del mar (Barbieri, y otros, 1995; Parra, Morales, Sobrino, & Romero, 2011), y la variabilidad oceanográfica a meso escala (Letelier, et al, 2012; Montecino, et al , 2006; Lara, Miranda, et al, 2010), características de circulación en fiordos (Cáceres, 2004) y correcciones atmosféricas para aguas turbidas (Hwan Ahn, 2004).

En Chile, la Superintendencia del Medio Ambiente, desarrollo un Indicador Ambiental Marino Costero a partir de información proveniente de análisis de imágenes satelitales. El indicador mide la variación de la calidad superficial del mar, en términos temporales y espaciales. Específicamente permite conocer la mayor o menor concentración de elementos contaminantes indicativos de la calidad del agua. Este indicador construido está caracterizado espacialmente en base a la localización de los puntos de descarga de residuos de un grupo de centrales termoeléctricas en la bahía de Quintero y algunas localidades del litoral central – Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Las Cruces—. A través de mediciones y pruebas realizadas en

distintos tipos de efluentes y zonas de descarga de las centrales termoeléctricas, propone como cobertura geográfica un área de influencia definida por la proyección de una circunferencia de radio igual a 2,5 km, medido desde el punto de descarga hacia el mar, o de máximo 10km desde el centro de la bahía (Ministerio de Medio Ambiente, 2015).

Este Indicador utiliza la sumatoria anual del Índice de Calidad Superficial del Agua para el mar, que se obtiene de la distribución de Clorofila a, sólidos en suspensión y turbidez del agua de mar, permitiendo determinar la espacialización de la calidad anual del agua de mar. Con el fin de poder obtener la información histórica del mar a lo largo de toda la costa chilena, la Superintendencia del Ministerio del Medio Ambiente pone a disposición la metodología utilizada para contribuir en la recolección de datos a nivel nacional.

En la puesta en marcha del indicador, se utilizó la bahía de Quintero, con influencia de termoeléctricas, para determinar su uso como aporte a las futuras fiscalizaciones de la Superintendencia del Medio Ambiente. Los datos obtenidos por este indicador son relativos, y pretenden ser calibrados en un futuro cercano con datos in situ, para esto se la Superintendencia está recolectando la información espacial y temporal de todas las bahías de Chile (Ministerio de Medio Ambiente, 2015).

Es por este motivo, que esté informe es la base para realización del estudio de esta tesis, que pretende obtener la información de clorofila a, sólidos en suspensión y turbidez de agua de mar, para la obtención del índice de

calidad superficial de agua de mar en las bahías de la región de Antofagasta en el periodo de estudio y así determinar la variabilidad del índice temporal y su relación con la actividad minera en la región.

6.6 Legislación ambiental de las aguas en Chile

Por la importancia que tiene el mar para la sustentabilidad de la vida, se hace necesario establecer una regulación que lo proteja, y que vele de esta manera, por la utilización e intervención adecuada.

Todo proyecto que pueda presentar una alteración al medio ambiente debe ser sometido a una evaluación de impacto ambiental. Le corresponde este procedimiento al Servicio de Evaluación Ambiental que determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas de la Ley. Es decir, según las reglas de la Ley N° 19.300 y el Reglamento del SEIA (actualmente contenido en el D.S. N° 40/2012, Ministerio del Medio Ambiente), el proponente del proyecto entrega un instrumento de evaluación ambiental que podría ser un Estudio o una Declaración de Impacto Ambiental (EIA o DIA) con los antecedentes que acreditan el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable, así como de los posibles impactos que el proyecto o actividad producirá en su entorno, y de las eventuales medidas ambientales que se adoptarán para mitigarlos, compensarlos o repararlos adecuadamente, en caso de ser necesario.

De acuerdo a Fernández, P. (2013 en Méndez, 2016) el proyecto no se puede someter al SEIA una vez iniciado, ya que con ello se malogra el fin del

Sistema de Estudio de Impacto Ambiental, que es prevenir situaciones embarazosas para el medio ambiente que después es difícil reparar (p. 213), por lo tanto, si la evaluación ambiental en Chile supone una característica preventiva y precautoria, ya que su fin es predecir y anticipar los impactos ambientales que un proyecto puede producir al medio ambiente, los cambios positivos o negativos, como la contaminación en los ecosistemas del país, productos de algún proyecto, estarían previamente controlados (Méndez, 2016).

En Chile, el Decreto Supremo N°1, de 1992, del Ministerio de Defensa Nacional. Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática. Prohíbe en las aguas sometidas a la jurisdicción nacional, el vertimiento de toda clase de desechos u otras materias en cualquier forma o condición, excepto en los casos expresamente autorizados por el Convenio sobre Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras materias, de 1972 (CHILE, 1992) Se prohíbe toda descarga de hidrocarburos o de mezclas oleosas en las aguas sometidas a jurisdicción nacional desde naves o artefactos navales, salvo los exceptuados expresamente. Además, se prohíbe la descarga o vertimiento de desechos nucleares o radioactivos, en cualquier cantidad y forma en las aguas referidas. El ámbito de prohibiciones de este decreto se extiende a fuentes terrestres de contaminación, las que quedan sujetas a tratamiento previo de sus residuos que aseguren su inocuidad como factor de contaminación de las aguas.

Con el Decreto Supremo N°90, del año 2001, la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, (CHILE, 2001) busca prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales del país, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan, como resultado de procesos, actividades o servicios, en estos cuerpos receptores, en niveles de contaminantes superior a los indicados en él, y que se refieren primeramente a límites máximos permitidos para descargas de residuos líquidos a aguas continentales superficiales y marinas, siendo estos; cuerpos de aguas fluviales con o sin capacidad de dilución; cuerpos lacustres de naturaleza artificial, natural, y cuerpos fluviales que sean afluentes de un cuerpo de agua lacustre; y finalmente cuerpos de aguas marinos dentro y fuera de la zona de protección litoral.

Esta norma diferencia las concentraciones de contaminantes atendiendo a las particularidades de los cuerpos receptores y en atención a la tasa de dilución que estos tengan. Establece de esta forma, los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral (Tabla 4) y los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos fuera de la protección litoral (Tabla 5).

Tabla 4. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN-	0,5
Cobre	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100ml	1000-70
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+	0,2
Cromo Total	mg/L	Cr Total	2,5
DBO5	mgO2/L	DBO5	60
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Floruro	mg/L	F-	1,5
Fósforo	mg/L	P	5
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	10
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HCV	1
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	2
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,01
Niquel	mg/L	Ni	2
Nitrógeno Total			
Kjeldahl	mg/L	NKT	50
PH	Unidad	pH	6,0 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Sedimentables	mg/l/h	S SED	5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SS	100
Sulfuros	mg/L	S2-	1
Zinc	mg/L	Zn	5
Temperatura	°C	T°	30

Fuente: CHILE, 2001

Tabla 5. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos fuera de la protección litoral

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permissible	Límite Máximo Permissible a partir del 10° año de vigencia del presente decreto.
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	350	150
Sólidos Sedimentables	mg/l/h	S.SED	50	20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S	700	300
Aluminio	mg/L	Al	10	
Arsénico	mg/L	As	0,5	
Cadmio	mg/L	Cd	0,5	
Cianuro	mg/L	CN-	1	
Cobre	mg/L	Cu	3	
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	1	
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+	0,5	
Cromo Total	mg/L	Cr Total	10	
Estaño	mg/L	Sn	1	
Floruro	mg/L	F-	6	
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	20	
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HCV	2	
Manganeso	mg/L	Mn	4	
Mercurio	mg/L	Hg	0,02	
Molibdeno	mg/L	Mo	0,5	
Níquel	mg/L	Ni	4	
PH	Unidad	pH	5,5-9,0	
Plomo	mg/L	Pb	1	
SAAM	mg/L	SAAM	15	
Selenio	mg/L	Se	0,03	
Sulfuro	mg/L	S2-	5	
Zinc	mg/L	Zn	5	

Fuente: CHILE, 2001

En la actualidad, el Ministerio de Medio Ambiente, por medio de la Superintendencia del Medio Ambiente debe fiscalizar el cumplimiento de este decreto en los proyectos aprobados por el Servicio de Evaluación Ambiental.

7. METODOLOGÍA

La metodología es planteada en relación directa con los objetivos específicos de la investigación.

7.1 Caracterización de la infraestructura vinculada a la actividad minera en las bahías principales de la Región de Antofagasta, con énfasis en infraestructuras con emisarios submarinos, asociadas a satisfacer las necesidades hídricas y energéticas de la minería.

Se define como bahías principales en la Región de Antofagasta, las siguientes áreas:

- Bahía de Algodonales (Tocopilla), por localizar históricamente un complejo termoeléctrico en medio del borde costero de la ciudad, en Punta Algodonales.
- Bahía de Mejillones – Sector Industrial: Zona determinada por el Plan Regulados Comunal de Mejillones, localizado a 3 kilómetros de la ciudad, y permite la actividad de industrias energéticas y plantas desalinizadoras (Ilustre Municipalidad de Mejillones, 2013).
- Bahía de Antofagasta – Sector La Chimba: Sector donde comienza a funcionar la primera planta desaladora de la ciudad para uso de agua potable.
- Bahía de Taltal: Se localiza el área urbana consolidada de la comuna y solo presenta caletas y puertos sin presencia de infraestructura industrial.

Estas son las 4 bahías principales de la Región de acuerdo al Plan Regulador Intercomunal

7.1.1 Revisión bibliográfica

Para el desarrollo de este objetivo se procedió a la revisión de la bibliografía referente a la declaración y/o evaluación de impacto ambiental de la infraestructura construida en el borde costero de la región de Antofagasta, que satisfacen las necesidades hídricas y energéticas de la minería, como son las centrales termoeléctricas y plantas desalinizadoras, por medio de la plataforma digital del Servicios de Evaluación Ambiental (SEIA).

La búsqueda de proyectos se realizó con los siguientes criterios:

- Proyectos: Central Termoeléctrica / Planta Desaladora / Planta Desalinizadora.
- Región: Antofagasta.
- Comunas: Tocopilla, Mejillones, Antofagasta, Taltal
- Tipo de Evaluación: Declaración de Impacto Ambiental y Evaluación de Impacto Ambiental.
- Estado: Aprobado
- Fecha de Calificación: Entre los años 1990 y 2015.

Esta actividad permitió acceder a la localización de las centrales termoeléctricas y plantas de desalinización del agua de mar con emisarios submarinos o descarga de riles en aguas oceánicas como parte de sus

procesos de operación, de los cuales se escogieron solo los proyectos localizados en: Bahía de Algodonales (Tocopilla), Bahía de Mejillones, Bahía de Antofagasta y Bahía de Taltal.

7.1.2 Identificación de información

Para la caracterización de los proyectos escogidos en la revisión bibliográfica, se procedió a identificar las siguientes características de cada proyecto:

- Caracterización general del proyecto.
- Identificación y cuantificación de residuos líquidos producidos por la operación del proyecto.
- Impacto ambiental en aguas marinas declarado
- Planes de mitigación y seguimiento ambiental de la calidad del agua de mar.
- Coordenadas geográficas del proyecto.

Una vez identificada la infraestructura que entra en el estudio, se revisaron en el “Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental” los procesos de fiscalización realizados por la Superintendencia del Medio Ambiente de cada proyecto y si registran sanciones en cuanto a la descarga de líquidos en agua de mar.

7.2 Analizar la distribución espacio temporal de los parámetros indicadores de la calidad del agua de mar como, turbidez, sólidos en suspensión y clorofila en las bahías principales de la Región de Antofagasta, entre los años 1990 – 2015.

Para el estudio de la calidad de agua de mar en esta investigación, se utilizó la teledetección como base metodológica, que proporciona observaciones globales de la calidad del mar a una alta resolución temporal. Es por este motivo, que se utilizó un parámetro de 25 años de estudio, que corresponden desde el año 1990 hasta el año 2015 y que tiene relación con el inicio del auge minero en la región.

En Chile, la Superintendencia del Medio Ambiente, desarrolló el Indicador Ambiental Marino Costero a partir de información proveniente de análisis de imágenes satelitales, y que se utilizará para evaluar la relación en la calidad del agua de mar de la Región de Antofagasta. El indicador mide la variación de la calidad superficial del mar, en términos temporales y espaciales. Específicamente permite conocer la mayor o menor concentración de elementos contaminantes indicativos de la calidad del agua (Ministerio de Medio Ambiente, 2015).

Para el desarrollo del Indicador de Calidad Superficial del Agua en las bahías en estudio para periodo señalado se desarrollaron los siguientes pasos metodológicos:

7.2.1 Imágenes Satelitales y criterios de selección.

La serie de imágenes satelitales seleccionadas para el estudio, corresponden a imágenes del satélite Landsat por las características espectrales y temporales que presenta cada una de sus plataformas (Tabla 6)

Tabla 6. Características Imágenes Satelitales – Landsat.

Plataformas satelitales	Sensores considerados	Cobertura temporal	Observaciones
Landsat 5	Thematic Mapper (TM)	1984 - 2011	Media resolución espacial
Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM)	1999 - presente	Sensor con problemas de barrido en algunos periodos
Landsat 8	Operational Land Imager (OLI)	2013 - presente	El sensor TIRS sufrió problemas de calibración gran parte del verano 2015 (HS)
	Thermal Infrared Sensor (TIRS)		

Fuente: USGS, 2016

Las imágenes seleccionadas se obtuvieron de dos plataformas virtuales consultadas a la *United States Geological Survey* (USGS) y el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Brasil. En total se escogieron un mínimo de 4 imágenes satelitales por año, exceptuando el año 2012 que no se obtuvo información. Se procesaron 351 imágenes de las plataformas satelitales Landsat 5, 7 y 8.

Se utilizaron como criterios de búsqueda de los insumos satelitales los siguientes aspectos: la cobertura espacial, las distintas resoluciones de las imágenes satelitales consideradas y la extensión de la superficie cubierta con nubes en cada una de ellas (máx. 60% en la escena).

De esta forma, se construyó la serie de tiempo de cada variable e indicador para la calidad superficial del agua de mar con diferentes sensores dependiendo del año a estudiar (Tabla 7). Por otra parte, en la Tabla 8 se indica la cantidad de imágenes descargadas desde la USGS por año, desde 1990 hasta el 2015, con relación a los sensores Landsat 5, 7 y 8.

Tabla 7. Criterios de selección de sensor satelital por periodo de análisis

Periodo	Sensor satelital	Cobertura
1990 - 2000	Landsat 5 (TM)	Región de Antofagasta
2000 - 2004	Landsat 5 (TM) y 7 (ETM)	Región de Antofagasta
2005 - 2009	Landsat 5 (TM)	Región de Antofagasta
2010 - 2011	Landsat 5 (TM)	Región de Antofagasta
2013 – 2015	Landsat 8 (OLI y TIRS)	Región de Antofagasta

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 8. Imágenes satelitales (Landsat) descargadas por año

Año	Unidad	Año	Unidad
1990	12	2003	18
1991	12	2004	12
1992	17	2005	12
1993	16	2006	12
1994	12	2007	12
1995	12	2008	12
1996	12	2009	16
1997	18	2010	12
1998	18	2011	12
1999	16	2012	-
2000	12	2013	12
2001	12	2014	22
2002	12	2015	18
TOTAL			351

Fuente: Elaboración Propia, 2017

7.2.2 Pretratamiento de insumos espaciales

Para la automatización en los procesos componentes de cada variable e indicador, se deben homologar todas las coberturas, en términos de formato y estructura lógica apta para un Sistema de Información Geográfica (SIG), como también en términos de una correcta espacialización geográfica. De esta forma, el pre procesamiento de los insumos se encuentra compuesto por dos subetapas secuenciales. En la primera de estas subetapas se homologan los formatos de los insumos y se define la estructura lógica de la base de datos a generar, mientras que en la segunda se homologan los insumos satelitales en términos espaciales.

a) Homologación y sistematización de los insumos espaciales

El gran peso computacional de los datos masivos relacionado con el procesamiento de las imágenes satelitales implica un alto nivel de complejidad. Es por ello que es conveniente definir criterios, que permitan simplificar la programación de los procesos involucrados en el tratamiento de la información.

Para el presente estudio se ha determinado operar la información satelital en el formato nativo del software (GRID, de ESRI), condicionando ciertas reglas en el tratamiento masivo de los datos procesados. No obstante, las coberturas con las variables físicas y el indicador desarrollado tuvieron el mismo formato que el de las imágenes satelitales usadas.

b) Homologación de formatos y estructura lógica de los datos

Las imágenes satelitales gratuitas entregadas a la comunidad por la USGS, también distribuidas por el INPE, son entregadas en formato TIFF (*Tagged Image File Format*), formato de gran flexibilidad y uso en los diferentes SIG.

Con el fin de automatizar la cadena de procesos en la modelación de cada indicador, bajo las condiciones del software seleccionado para el presente estudio (*Model Builder*), se procedió a cambiar el nombre original de cada imagen satelital seleccionada. Las herramientas y modelos diseñados en *Model Builder* permiten nombres de archivos con solo 13 caracteres, mientras que el nombre original de cada imagen contiene 21 caracteres. Este inconveniente se solucionó definiendo un código único para cada imagen, que sustituiría al nombre original. En la Tabla 9 se resumen los criterios determinados para recrear el código único en cada imagen satelital de la familia Landsat.

Tabla 9 Criterios para formar el código único Landsat para cada imagen seleccionada

Sensor satelital	Nombre original imagen	Descomposición nombre original						Código único
		Sensor	Path	Row	Año	Día del año	Escena	
Landsat 5 (TM)	LT50010751995286CUB00	LT5	001	075	1995	286	CUB00	L517595286
Landsat 7 (ETM)	LE70010762000258SGS00	LE7	001	076	2000	258	SGS00	L717600258
Landsat 8 (OLI y TIRS)	LC80010782015082LGN00	LC8	001	078	2015	082	LGN00	L817815082

Fuente: Elaboración Propia, 2017

La descomposición del nombre original descrito en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** hace referencia al sensor del que proviene la imagen, un par de coordenadas planas del vuelo de la plataforma

satelital (Path / Row), el año y el día del año en que fue obtenida cada imagen, además de información de la escena particular (excluida de la formación del código único).

7.2.3 Procesamiento de Imágenes Satelitales.

La etapa de procesamiento de las imágenes satelitales seleccionadas para el estudio consistió en la homologación espacial y de formatos de los insumos. Tanto la extensión del análisis espacial, como el sistema de referencia, la resolución espacial y los métodos de resamplado de cada insumo satelital. La secuencia de pre procesos considerados se compone de: extracción de pixeles sin información (valores NoData), Georreferenciación de cada banda espectral y extracción de los pixeles con valores cero y saturados.

Se realizó la corrección radiométrica de las bandas espectrales, con el objetivo de normalizarlas temporalmente y volver continuo el tipo de dato almacenado en cada archivo. Posteriormente, se realizó la corrección topográfica con el fin de establecer la utilización de una imagen con valores de reflectancia corregidos y operativos para la obtención de los índices espectrales.

a) Obtención de radiancia y reflectancia

Para las imágenes satelitales pertenecientes a las plataformas Landsat 5 y 7, misiones ya discontinuadas, se utilizaron los algoritmos y parámetros de obtención de radiancia y reflectancia publicados y estandarizados para cada

sensor por Chander et al., (2009). La expresión utilizada para transformar a radiancia los valores digitales (DN) de las bandas espectrales fue:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

En donde:

L_{λ} = Radiancia espectral resultante (TOA)

M_L = Factor de re-escala multiplicativo radiancia (metadata)

A_L = Factor de re-escala aditivo radiancia (metadata)

Q_{cal} = Valor calibrado del pixel (DN)

b) Corrección topográfica

Usando los valores del azimut y la elevación solar, junto a los valores de la pendiente del terreno y su orientación, fue posible encontrar el ángulo de incidencia de los rayos solares en la superficie. Esto se logró a través de la realización de un modelo de iluminación, usando la expresión dada por J. D. Colby (1991):

$$\text{Cos}(i) = \text{Cos}(\theta_s)\text{Cos}(\theta_n) + \text{Sen}(\theta_s)\text{Sen}(\theta_n)\text{Cos}(\phi_s - \phi_n)$$

Donde:

$\text{Cos}(i)$ = Coseno ángulo de incidencia

θ_s = Ángulo cenital solar

θ_n = Pendiente de la superficie

ϕ_s = Azimut solar

ϕ_n = Orientación de la superficie

7.2.4 Obtención de las variables a estudiar.

a) Clorofila

La estimación de la clorofila se llevó a cabo siguiendo los resultados de las investigaciones de Polvorinos et al. (2001) que incluye las bandas 3 y 4 de los sensores de las plataformas satelitales Landsat 5 y 7.

La expresión y los parámetros utilizadas serán:

$$Ca = -3,533 + 0,455L_4 + 0,321L_5$$

En donde: Ca = Clorofila a (mg/m^3)

L_4 = Radiancia banda OLI4

L_5 = Radiantita banda OLI5

b) Sólidos en suspensión:

Esta variable se se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Fernández-Palacios et al. (1997) que incluye la expresión lineal que combina las bandas 3 y 4 del sensor OLI:

$$SS = -8,093 + 0,278 L_3 + 0,429L_4$$

En donde: SS = Sólidos en suspensión (mg/L)

L_3 = Radiancia banda OLI3

L_4 = Radiancia banda OLI4

c) Turbidez:

La estimación de turbidez del agua se llevó cabo siguiendo la metodología propuesta por Fernández-Palacios et al. (1997):

$$Tu = -8,20 + 0,266 L_3 + 0,716 L_4 + 0,094 L_5$$

En donde: Tu = Turbidez (Unidad Nefelométrica de Turbidez, UNT)

L_i = Radiancia bandas OLI ($i = 3,4,5$)

d) Normalización de las variables físicas

Para realizar la normalización de las variables físicas obtenidas, paso previo para la construcción del indicador medio ambiental relativo a la calidad del agua del mar, se optó por el método basado en los valores máximos y mínimos de cada variable, utilizado por el Ministerio de Medio Ambiente (2015), relativos a las áreas de influencia determinadas para cada sector a caracterizar.

La expresión utilizada traslada a las variables al intervalo [0, 1], ejemplificada a continuación con la clorofila:

$$\widehat{Ca} = \frac{Ca - Ca_{min}}{Ca_{max} - Ca_{min}}$$

7.2.5 Índice de calidad superficial del agua (ICSA)

Utilizando las variables normalizadas se procedió a obtener un índice para cada imagen satelital considerada, que entregase la calidad superficial del agua marina para diferentes fechas. Se utilizó el diseño del Índice de calidad

superficial del agua (ICSA), que consistente en el promedio de celda a celda, de la clorofila a, los sólidos en suspensión y la turbidez normalizadas, que es la utilizada por el Ministerio de Medio Ambiente (2015). La expresión para la obtención del ICSA es:

$$ICSA = \frac{1}{3} [\widehat{Ca} + \widehat{SS} + \widehat{Tu}]$$

Promediando los valores obtenidos del ICSA para cada año en estudio, se procedió a normalizar el ICSA anual obtenido para este cada año desde 1990-2015.

7.2.6 Limitaciones del método

Cuando el objetivo de una investigación plantea la necesidad de realizar algún estudio medioambiental utilizando imágenes de satélite, se encuentra una oferta de imágenes que puede presentar inconvenientes.

Para el desarrollo del estudio, se encontraron distintas limitaciones por el uso de imágenes satelitales: El número de imágenes adquiridas anualmente para cada sector en estudio, depende de la calidad de las imágenes satelitales durante un año, adquiriendo un mínimo de 4 imágenes (1 por estación) para cada año. Por lo tanto, describir como un indicador anual representativo, dependerá del número de imágenes adquiridas en 1 año en un cuerpo de agua que es dinámico espacial y temporalmente. Se desarrollaron aquí únicamente métodos que no requieren datos adquiridos in situ de forma simultánea a la adquisición de la imagen, porque dichos métodos, si bien más precisos, no son operativos para los objetivos perseguidos en este

trabajo. La toma de datos in situ de una imagen satelital, para mejorar la calidad de los datos obtenidos, se toma para hacer referencia a la imagen para la cual se dispone de medidas de los parámetros de calidad del agua obtenidas mediante muestreo simultáneo a la adquisición de la imagen, este tipo de medida no se pudo obtener en este estudio.

7.3 Relacionar la producción minera a escala regional en Antofagasta con el índice de calidad superficial del agua, en las bahías principales de la Región de Antofagasta, entre los años 1990 – 2015.

Para este objetivo se procedió a solicitar la información de la producción minera en la Región de Antofagasta a la Comisión Nacional del Cobre, entre los años 1990-2015, por medio de Solicitud de Información Ley de Transparencia.

Con el desarrollo del objetivo anteriormente expuesto, se obtuvo el valor relativo promedio anual de Clorofila a, Sólidos en suspensión, Turbidez de agua y la calidad superficial del agua de mar los cuales fueron relacionados anualmente para identificar si existe o no relación temporal directa entre ellos.

8. RESULTADOS

8.1 Determinación de la infraestructura asociada con las necesidades hídricas y energéticas de la minería

Mediante la revisión de proyectos ingresados en el Servicios de Evaluación Ambiental de Chile, junto con bibliografía histórica de las zonas costeras en la Región de Antofagasta, se detectaron numerosas infraestructuras ligadas directa o indirectamente con la actividad minera regional.

Infraestructura portuaria, industrial, energética, hidráulica, de saneamiento ambiental y planificación territorial son históricamente intervenciones antrópicas que modifican el borde costero de la región y, que generalmente, se encuentran emplazadas cercanas a las bahías principales de las comunas del borde costero regional.

Se han abordado solo los proyectos de centrales termoeléctricas y desaladoras, que emiten descargas en aguas marinas por medio de un emisario submarino, localizados en las bahías de Algodonales - Tocopilla, Mejillones, Antofagasta y Taltal.

8.1.1 Bahía de Algodonales -Tocopilla

La comuna de Tocopilla tiene un complejo termoeléctrico localizado en la bahía de Algodonales, históricamente relacionado con la instalación y desarrollo de centrales termoeléctricas.

Para el periodo de estudio se encontraron 13 proyectos que entraron al SEA Chile relacionados con termoeléctricas y desaladoras, de los cuales 10 fueron aprobados. De acuerdo con la información recolecta (Tabla 10), 6 proyectos corresponden al sector productivo de energía de los cuales se describirán solo aquellos que generan emisiones líquidas que son descargadas en aguas marinas.

Tabla 10. Proyectos Aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Tocopilla. Periodo 1990 – 2015

NOMBRE	FECHA CALIFICACIÓN	TITULAR	INVERSIÓN (MMU\$)	SECTOR PRODUCTIVO
Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla	16-sept-1994	NORGENER S.A.	180,00	Energía
Sistema de Transmisión Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla	7-feb-1997	AES GENER S.A.	13,50	Energía
Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla Unidad 2	7-feb-1997	AES GENER S.A.	13,50	Energía
Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Tocopilla	13-ago-1998	ENGIE ENERGÍA CHILE S.A.	125,00	Energía
Aumento de Potencia de Generación y Uso de Mezclas de Petcoke y Carbón en la Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla	6-oct-2000	AES GENER S.A.	0,00	Energía
Instalación de Nueva Grúa y Terminal Marítimo de Graneles Líquidos en Central Termoeléctrica Tocopilla	28-sept-2010	ELECTROANDINA S.A.	11,92	Infraestructura Portuaria
Disposición de RISES de combustión de Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla	16-dic-2011	AES GENER S.A.	1,20	Sanearamiento Ambiental

Tabla 10. Proyectos Aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Tocopilla. Periodo 1990 – 2015

NOMBRE	FECHA CALIFICACIÓN	TITULAR	INVERSIÓN (MMU\$)	SECTOR PRODUCTIVO
Modificación Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla para el Cumplimiento de Norma de Emisiones Centrales Termoeléctricas	28-may-2013	AES GENER S.A.	108,00	Otros
Habilitación Depósito Barriles y Cierre Depósito Punta Paraguas de la Central Termoeléctrica Tocopilla	4-ago-2014	ENGIE ENERGÍA CHILE S.A.	3,00	Saneamiento Ambiental
Uso de Cal Hidratada, Central Termoeléctrica Tocopilla para Cumplimiento de Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas	9-ene-2015	ENGIE ENERGÍA CHILE S.A.	26,00	Energía

Fuente: Elaboración propia en base a información del SEA Chile (2017)

Con una inversión total de US\$ 482,12 millones, las empresas titulares privadas NORGENER S.A., AES GENER S.A., ENGIE ENERGÍA CHILE S.A. y ELECTROANDINA S.A son las que dominan en la industria de la comuna. La propietaria NORGENER S.A, en el año 2015 transfiere a la Sociedad AES GENER S.A., las propiedades del proyecto “Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla” y sus instalaciones anexas vinculadas.

8.1.1.1 Caracterización de Proyectos en Tocopilla (1990 – 2015).

De los proyectos localizados en la bahía de Algodonales, los que presentan una instalación y/o utilización de infraestructura submarina que permite la descarga de residuos y posible alteración de las aguas marinas,

corresponden a (Figura 3): “Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla”, “Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla Unidad 2, “Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Tocopilla y “Modificación de Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla para el cumplimiento de Normas de Emisiones Centrales Termoeléctricas”.

Figura 3. Localización Proyectos - Punta Algodonales - Tocopilla



Fuente: Elaboración propia en base a información del SEA Chile (2017)

a) Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla

La Central Nueva Tocopilla se encuentra ubicada en la bahía de Algodonales en la zona industrial de la ciudad de Tocopilla, Región de Antofagasta, considera la generación de energía térmica por combustión de carbón, transferencia de energía térmica contenida en los gases de combustión al agua para formar vapor, la conversión de la energía térmica en mecánica, conversión de la energía mecánica en energía eléctrica, la cual es inyectada al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

Figura 4. Disposición general Instalaciones Central Nueva Tocopilla.



Fuente: NORGENER S.A,(1993)

En el año 1993 la empresa propietaria a NORGENER S.A, con una inversión de US\$180 Millones, presentó y se adjudicó el proyecto en el año 1994. Este consiste en una unidad a vapor de una potencia bruta de 132,4 MW. Además, esta unidad comprende un monoblock turbina/generador/caldera, condensador enfriado por agua de mar, precipitador electrostático, chimenea, planta desalinizadora e instalaciones auxiliares. El combustible principal corresponde a carbón bituminoso y alternativamente carbón subbituminoso o petróleo como combustible de respaldo (NORGENER S.A, 1993). La disposición general de las instalaciones consideradas se puede observar en la Figura 4.

De acuerdo con la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA en adelante) del proyecto, los efluentes emitidos por la central corresponden a residuos líquidos industriales (RILES), que provienen del condensador, se descargan a un pozo de sello hormigón, conectado a un canal que conduce el agua desde el pozo al mar. La EIA declara que el efluente saldrá con una temperatura de 10°C por sobre la temperatura de entrada (NORGENER S.A, 1993). Las aguas residuales de origen doméstico serían tratadas en una planta de tratamiento, los eventuales excedentes, serían descargados al mar por medio del sistema de descarga de agua de enfriamiento

Referente a los impactos que declara la central, producidos por la descarga de efluentes en el mar, serían evaluados por el consultor que realizaría los estudios correspondientes a la resolución 12.600 de la DGTM y MM. Sin embargo, la EIA presentada no consideró los impactos relacionados con el

medio ambiente marino, debido a que aquel estudio se desarrollaba en forma paralela e independiente del EIA, y que se hacen públicos en la presentación del proyecto que da inicio a la Unidad 2 de la central.

b) Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla Unidad 2.

La Central Nueva Tocopilla Unidad 2, se encuentra ubicada en la bahía de Algodonales en la comuna de Tocopilla, Región de Antofagasta, en la zona industrial de dicha comuna. La empresa NORGENER S.A presentó el EIA a la COREMA, II Región, a principios del año 1996 y fue aprobado un año más tarde en 1997.

El estudio de impacto ambiental presentado es el mismo correspondiente a la Unidad 1 (Tabla 11), ya que solo busca poner en marcha la Unidad a Vapor N°2 de la central, la cual es idéntica a la primera y se construyó contigua a la Unidad 1 aprovechando las instalaciones de ésta (Figura 4), por lo tanto, esta unidad también alimentara de energía al Sistema Interconectado Central del Norte Grande (SING) con 134MW. La COREMA II Región, en la Resolución Exenta N°45/1997, se pronuncia favorable al proyecto teniendo que cumplir como exigencia y/o recomendación el monitoreo respecto al Medio Ambiente Acuático, de acuerdo con las exigencias de los servicios correspondientes, coordinados por la secretaria de la COREMA II Región.

Tabla 11. Características Unidades a Vapor. Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla.

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES
Potencia Bruta	132,4 MW
Combustible Principal	Carbón bituminoso
Combustible (s) Secundario (s)	Carbón subbituminoso y fuel oil
Presión sobrecalentado	160 bar
Temperatura de vapor sobrecalentado	540 °C
Temperatura de vapor recalentado	540 °C
Eficiencia caldera	87,80%
Control cenizas	Precipitador electrostático (eficiencia 98%)
Altura de chimenea	70,0 m
Diámetro de chimenea	5,6 m

Fuente: NORGENER S.A, (1993)

Junto con este proyecto, la empresa NORGENER S.A, adjudicó por la COREMA II Región el proyecto de “Sistema de Transmisión Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla, Unidad II” que consistía en la construcción, operación y etapa de abandono, de la línea de transmisión eléctrica de alta tensión, que transportaría la energía producida por la central termoeléctrica Nueva Tocopilla unidad 1 y 2 hasta la subestación Crucero, del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), ubicada en la comuna de María Elena. Este proyecto no tiene impacto en el medio ambiente marino.

c) **Modificación Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla para el Cumplimiento de Norma de Emisiones Centrales Termoeléctricas**

El proyecto ingresado por medio de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA en adelante) al SEA, en el año 2012 y aprobado en mayo de 2013, por parte de la empresa NORGENER S.A. con una inversión de US\$108

Millones, consiste en la modificación al sistema de control de emisiones atmosféricas de la Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla. El proyecto considera la instalación nuevas unidades desaladoras de agua de mar.

Con respecto a la construcción y operación de las plantas desalinizadoras corresponde a tres unidades de desalinizadoras de compresión mecánica con una capacidad de $600\text{m}^3/\text{día}$ de agua desalada cada una, incluyendo la transferencia de agua desalada hacia los estanques de agua de proceso. Cada unidad compone: evaporador, desaireador, intercambiador de calor y bombas (NORGENER S.A, 2012).

El agua de mar consumida en cada unidad desaladora será de $60\text{ m}^3/\text{h}$, que correspondería al 0,7% del agua utilizada por el sistema de enfriamiento de ambas unidades de central termoeléctrica Nueva Tocopilla, equivalentes a $26.410\text{ m}^3/\text{h}$. Por otra parte, el agua de rechazo o salmuera total será de $35\text{m}^3/\text{h}$ para cada unidad desaladora, es decir $105\text{m}^3/\text{h}$ para el funcionamiento simultaneo de las tres unidades desaladoras (NORGENER S.A, 2012).

El proceso consiste principalmente en el bombeo de agua de mar hacia la planta a través de un sistema de alimentación que lleva el agua hacia la unidad de desalinización, aproximadamente un 42% del agua de mar se desala y se envía hacia el estanque de almacenamiento de agua de proceso con una capacidad de 1.257 m^3 para cada Unidad. El 58% del agua restante denominada salmuera se descarga hacia el pozo de sello de cada unidad, la

que luego es descargada por medio de gravedad hacia el mar a través del emisario submarino existente en cada unidad (NORGENER S.A, 2012).

Con respecto a los impactos producidos hacia aguas marinas, las plantas desalinizadoras de agua de mar darán cumplimiento a la normativa aplicable al D.S N°90/2001 (Tabla 4). Además, la empresa se compromete a un programa de monitoreo de autocontrol del efluente, correspondiente a la descarga de residuos líquidos industriales en aguas de la jurisdicción de la Gobernación Marítima de Antofagasta. Este programa de monitoreo consistirá en el seguimiento de los parámetros físicos, químicos y bacteriológico por medio de muestras que deben cumplir lo establecido en la normativa aplicable, respondiendo a los límites máximos permitidos de concentración para los contaminantes asociados a la descarga.

d) Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado en Tocopilla.

En el año 1997, la empresa ELECTROANDINA S.A presentó el Estudios de Impacto Ambiental del proyecto “Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado en Tocopilla”, el cual fue aprobado por la COREMA II Región en agosto de 1998.

De acuerdo con su EIA, el proyecto contemplaba alimentar el sector productivo de energía, por medio de la construcción y explotación de una central termoeléctrica de ciclo combinado, que utilizaría un ciclo de gas natural acoplado a un ciclo de vapor para la generación de energía eléctrica. Con una potencia neta de 390 MW de potencia neta y una generación anual

de 3000 GWh, abastecería de energía al Sistema Interconectado del Norte Grande (S.I.N.G). Con una inversión de US\$ 125 Millones, localizado en un terreno aledaño a la Central Termoeléctrica Tocopilla (ELECTROANDINA S.A, 1998a).

La central requiere para diferentes propósitos agua de mar, la cual es captada en la bahía de algodones y utilizada principalmente para los procesos de refrigeración del condensador y como insumo para la producción de agua desmineralizada y potable (ELECTROANDINA S.A, 1998a). El impacto de ésta es asociado a la descarga de agua de mar una vez utilizada para los procesos de la central.

La EIA establece que, para el proceso de refrigeración, el agua es impactada físicamente con el aumento de la temperatura en 7,5°C aproximado y el agua de enfriamiento de la nueva central es descargado al mar mediante emisario superficial con una temperatura máxima de 30°C (ELECTROANDINA S.A, 1998a). El cuerpo receptor de toda esta descarga es la bahía de Algodones en Tocopilla, en el sector costero frente al emplazamiento de la central.

El informe técnico del EIA declara impacto ambiental relevante con respecto a las aguas de mar lo siguiente (ELECTROANDINA S.A, 1998b):

- Impacto negativo de importancia media: Corresponde a la calidad del agua de mar, en el área de descarga del agua de enfriamiento de los condensadores de vapor, la cual se verá afectada por el aumento de temperatura y la incorporación de cloro como agente desincrustante.

- Impacto negativo de importancia menor: Producto de la pluma térmica sobre el área de descarga de las aguas de enfriamiento, debido al aumento de temperatura de las aguas podría afectar a algunos de los recursos hidrobiológicos, siendo las comunidades bentónicas las potencialmente más afectadas. Este impacto se vería altamente reducido, debido a las condiciones de corriente de la bahía de Algodonales en Tocopilla, los mecanismos de dilución del calor de la pluma térmica en el área de descarga y la distribución de los recursos hidrobiológicos más sensibles en zonas distantes del área de descarga.

- Impacto negativo difícil de calificar: respecto de los recursos hidrobiológicos, debido al efecto de la adición al agua de descarga del elemento químico cloro, principalmente sobre las comunidades bentónicas.

Como respuesta a estos impactos, la empresa deberá cumplir con las medidas de mitigación propuestas que corresponden a: la implementación de un sistema de difusores de temperatura y descarga a una distancia de la costa en que el movimiento de agua ayude a disipar la energía. Además de cumplir con el Plan de Monitoreo Marino propuesto, que deben realizar al primer año de operación con una temporalidad mensual como se observa en la Tabla 12 (ELECTROANDINA S.A, 1998a).

Tabla 12. Plan de Monitoreo Marino

TIPO DE MONITOREO	PARÁMETROS	N° DE PUNTOS	N° DE MUESTRAS POR PUNTO	FRECUENCIA
Corrientes (correntometría lagrangiana con derivadores)	Dirección y velocidad de corrientes	3 puntos durante 2 días consecutivos y en diferentes condiciones de marea (vaciente y llenante)	En cada punto a 2 profundidades (0,5 y 5 metros)	1 vez al año
Físico-Químico en la bocatoma y descarga de aguas de enfriamiento	Temperatura, °C, Coliformes Fecales, NMP/100 ml Fosfato, mg/l Plomo, mg/l Cobre, mg/l Cl12 (cloro libre residual), mg/l	En bocatoma y en descarga	1 muestra por punto	Mensual
Química de sedimentos	Cobre, mg/kg, Plomo, mg/kg	2 estaciones	1 muestra por estación	Mensual
Macrofauna submareal	Abundancia, Frecuencia, Índices diversidad (dominancia, uniformidad similitud)	2 estaciones (las mismas que para química de los sedimentos)	1 muestra por estación	Mensual
Bioensayos de resistencia térmica y a clorado	Moluscos, crustáceos y peces (larvas)	Cantidades de acuerdo a requerimientos mínimos del laboratorio	Muestras extraídas en el área de influencia de la descarga de aguas de enfriamiento y muestras de zona de control	A realizarse en el primer año de operación de la central

Fuente: ELECTROANDINA S.A (1998a)

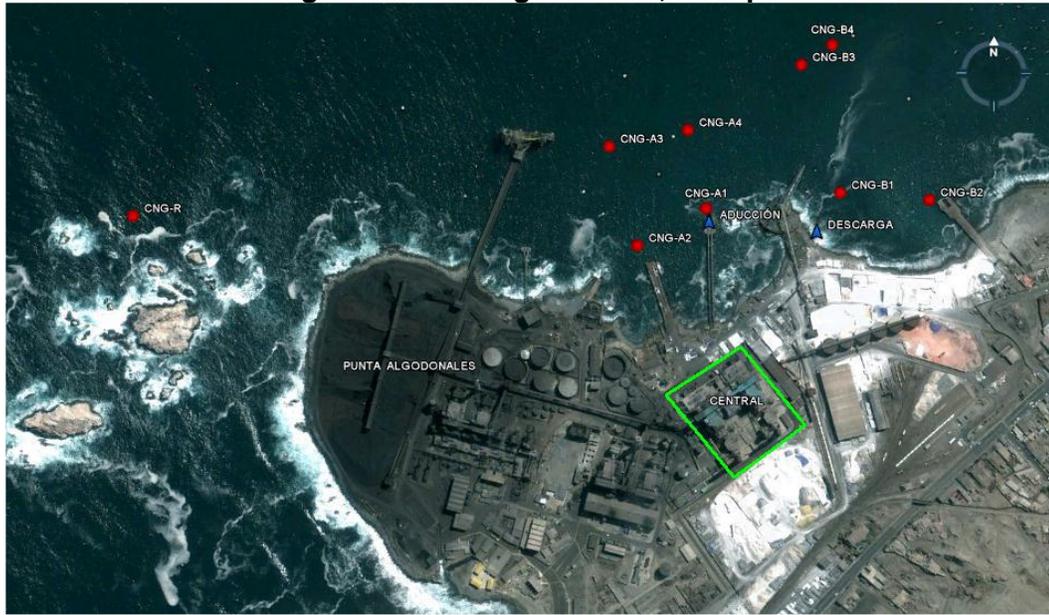
8.1.1.2 Fiscalizaciones, Monitoreos y Seguimientos

De acuerdo con lo declarado, tanto, en las Evaluaciones de Impacto Ambiental como en las Declaraciones de Impacto Ambiental, las Centrales termoeléctricas localizadas en la comuna de Tocopilla, de la empresa NORGENER S.A como ELECTROANDINA S.A se comprometen a un Plan de Seguimiento Ambiental como requerimiento de la COREMA II Región, el cual monitorea los niveles de níquel y vanadio en el ambiente marino y en aguas marinas, sedimentos sublitorales y organismos bentónicos.

De la recopilación de documentos liberados por medio del SEA Chile, solo se tiene acceso a cinco monitoreos que corresponden a los años 2004, 2005, 2009, 2010, 2011. El área de monitoreo contempla una red de nueve estaciones de las cuales, cuatro se distribuyen en el sector de aducción (Estaciones A) y cuatro hacia el sector de descarga (Estaciones B), mientras que la novena de carácter referencia está situada frente a punta Algodonales (Figura 5).

El muestreo de datos correspondientes al Programa de Vigilancia Ambiental, de la empresa NORGENER S.A, corresponde a muestras de: columna de agua, sedimentos submareales y macrofauna submareal de fondos blandos. Para el caso en estudio solo se analizarán los resultados obtenidos en cuanto a las características de la columna de agua correspondiente a temperatura y sólidos en suspensión.

Figura 5. Red de Estaciones de Monitoreo Marino del IPVA de Central Norgener. Bahía Algodonales, Tocopilla.



Fuente: OIKOS CHILE S.A., (2011)

a) Temperatura Columna de Agua

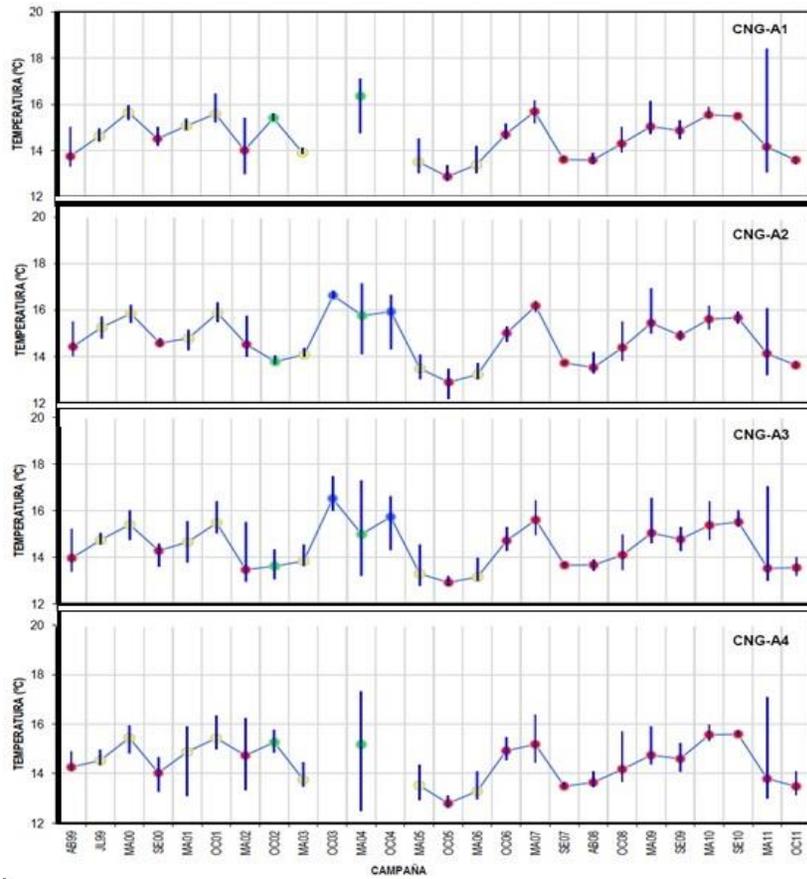
De acuerdo con los registros históricos las condiciones de temperatura media desde el año 1999 al 2011 el registro ha tenido fluctuaciones promedio desde los 12°C hasta los 18°C, tanto para las estaciones del sector de aducción y de descarga.

Con respecto a las temperaturas en el sector de aducción (Figura 6), los monitoreo en el mes de mayo para los años 2002, 2004, 2005, 2009 y 2011 presentan un rango de dispersión mayor entre valores mínimos y máximos para cada estación (2°C aproximadamente). Los monitoreos de octubre 2003, octubre 2004, mayo 2007, octubre 2008, mayo 2009 y septiembre 2010 reflejan aumentos de temperaturas con respecto al monitoreo anterior.

Respecto al sector de descarga la Figura 7 refleja que las temperaturas en todas sus estaciones son mayores que en el sector de aducción, los rangos de dispersión entre valores mínimos y máximos en todos sus monitoreos son más fluctuantes de manera constante, principalmente posterior al año 2006, con una diferencia mayor a los 2°C.

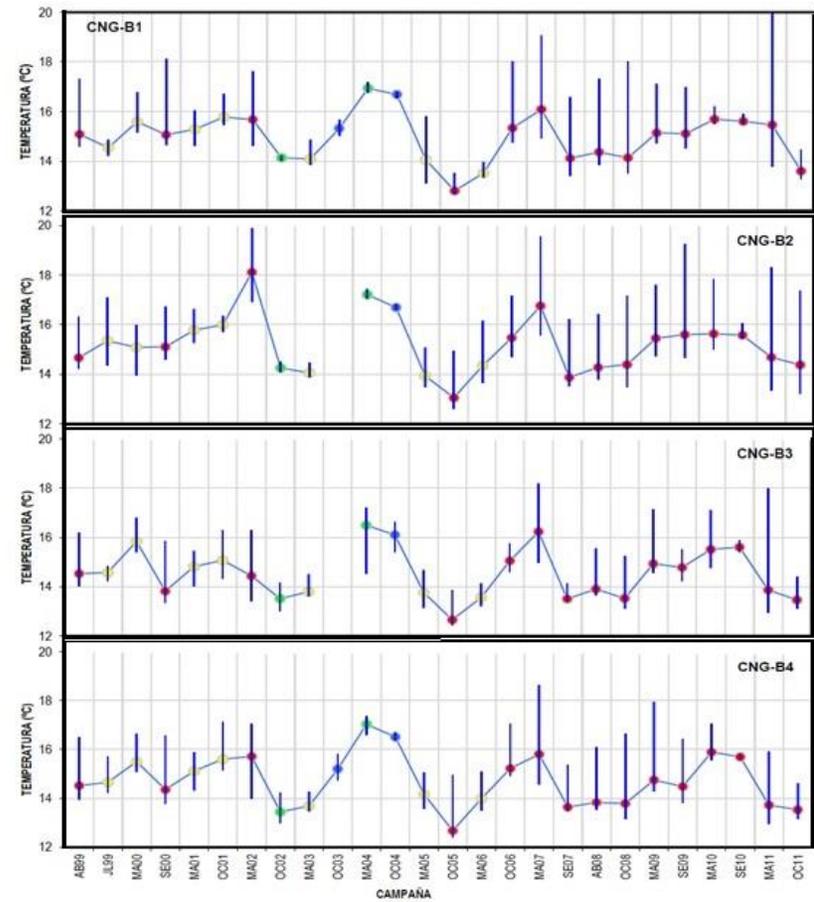
La mayoría de las estaciones monitoreadas presentan temperaturas superiores a los 14°C. Siendo el monitoreo de octubre de 2005 con la temperatura más baja para ambos sectores (inferior a 14°C). El Decreto Supremo 90/2001, con respecto a la temperatura en la descarga de residuos líquidos a cuerpos de aguas marinas, el límite máximo permitido son 30°C, que es cumplido en los gráficos de los informes de monitoreos analizados. Sin embargo, al no tener acceso al dato bruto de los monitoreos, no se puede establecer que respeta dicho límite durante toda la operación, El registro máximo de mayo 2011 en la estación B1 da a visualizar que puede superar los 20° C, que es el límite máximo graficado. Al contrastar la Temperatura Superficial del Mar (TSM) para Antofagasta (que es la localidad más próxima al área de estudio que cuenta con registros de TSM) señalada para el SHOA, como promedio histórico es de 16,6°C, los líquidos de descargas generan una disminución (2°C aprox.) de las TSM histórica.

Figura 6. Temperatura Fluctuación Temporal. Sector Aducción¹



¹ Las líneas verticales indican el rango mínimo-máximo de Temperatura por monitoreo.

Figura 7 Temperatura Fluctuación Temporal. Sector Descarga.



Fuente: OIKOS CHILE S.A., (2011)

b) Sólidos en Suspensión. Columna de Agua

Al contrastar los niveles de sólidos en suspensión en el sector de aducción y descarga de central NORGENER S.A., se registran concentraciones desde la campaña de marzo 2002, debido a que, en las anteriores campañas, el consultor, utilizó una metodología de análisis distinta.

En general las concentraciones de sólidos en suspensión de la columna de agua han sido históricamente menores a los 40mg/L para ambos sectores monitoreados, registrando incrementos puntuales en las campañas realizadas en mayo de 2005, octubre 2005 y septiembre 2010 y temporadas con bajas concentraciones como las campañas en octubre 2004, y entre abril 2008 y mayo de 2010, como se puede observar en la campaña de mayo 2011 se refleja en las estaciones A-1 y A-2 una amplia diferencia entre las muestras captadas entre fondo y superficie, incluso superando los 100mg/L.

Con respecto al sector de descarga, no existen diferencias tan amplias entre sólidos en superficie y fondo para todas las campañas. La estación B-1 para la campaña mayo 2005 presenta una diferencia y el registro más alto de sólidos suspendidos en superficie. La estación de monitoreo B-2 tiene un registro de 80mg/L de sólidos suspendidos en fondo para la campaña de mayo 2006.

La campaña de septiembre 2010, en todas las estaciones de monitoreos presenta un alza sobre los 20mg/L en comparación a la campaña anterior.

Figura 8 Sólidos Suspendidos Fluctuación Temporal. Sector Aducción

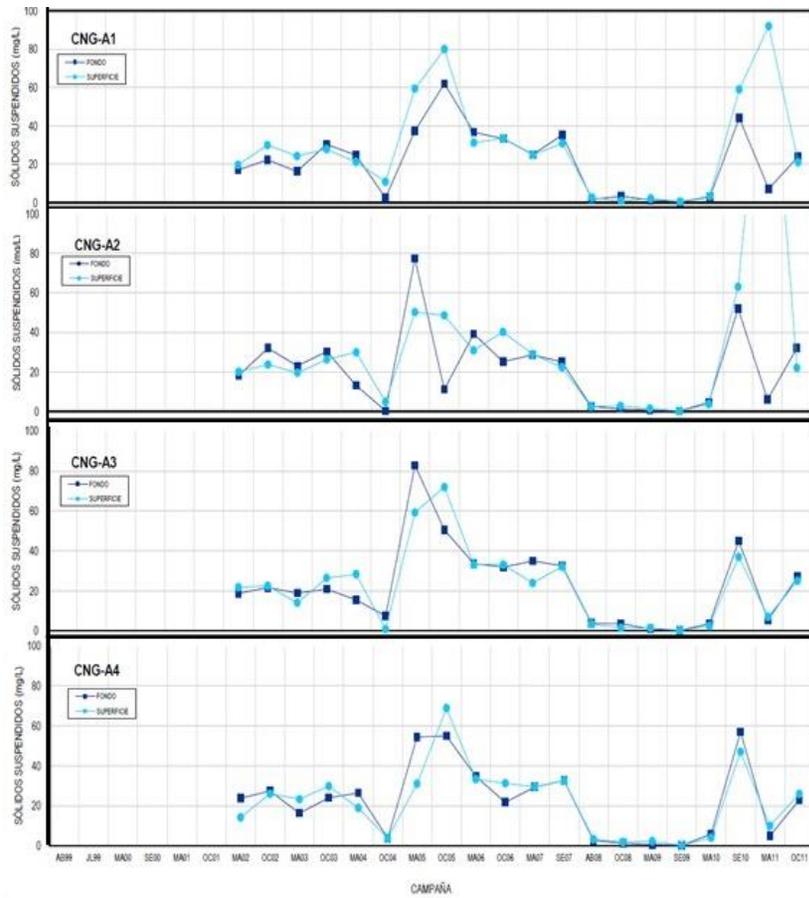
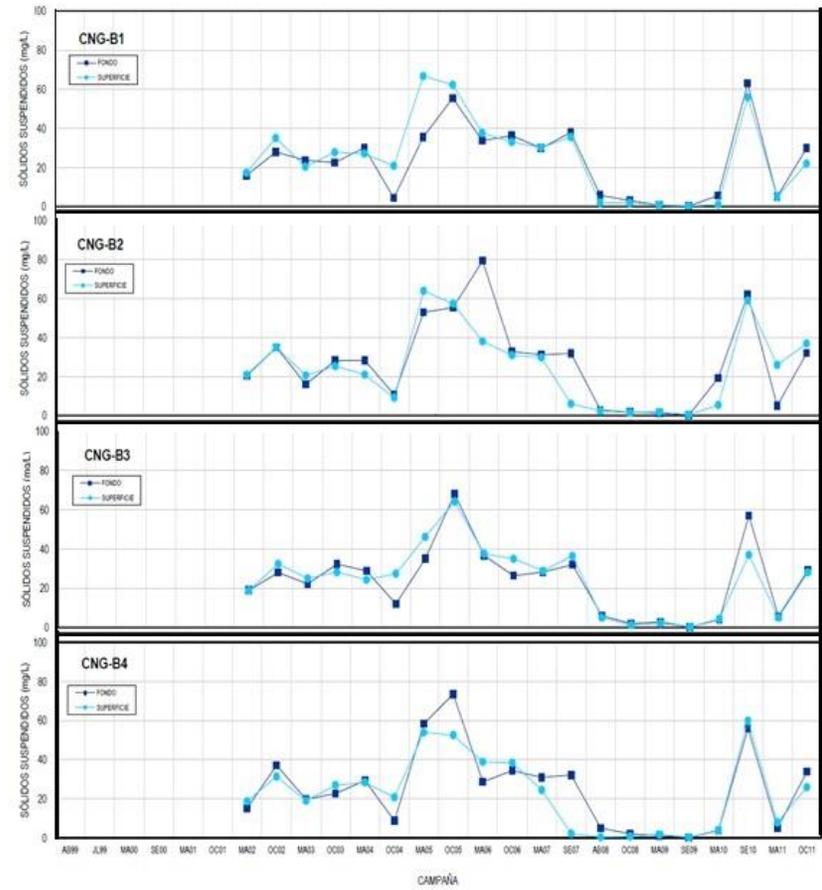


Figura 9 Sólidos Suspendidos Fluctuación Temporal. Sector Descarga.



Fuente: (OIKOS CHILE S.A., 2011)

Con respecto al sector de aducción (Figura 8), se destaca que los sólidos en suspensión de fondo y superficie presentan una variación de 10mg/L aproximadamente en las campañas de 2005. Para la campaña de mayo 2011 se refleja en las estaciones A-1 y A-2 una amplia diferencia entre las muestras captadas entre fondo y superficie, incluso superando los 100mg/L. Con respecto al sector de descarga, no existen diferencias tan amplias entre sólidos en superficie y fondo para todas las campañas. La estación B-1 para la campaña mayo 2005 presenta una diferencia y el registro más alto de sólidos suspendidos en superficie. La estación de monitoreo B-2 tiene un registro de 80mg/L de sólidos suspendidos en fondo para la campaña de mayo 2006.

8.1.2 Bahía de Mejillones

La comuna de Mejillones tiene una zona industrial localizada en la bahía de Mejillones, al norte de la ciudad, donde se localizan las centrales termoeléctricas de la comuna.

Para el periodo de estudio se encontraron 18 proyectos que ingresaron a SEA Chile relacionados con termoeléctricas y desaladoras, de los cuales 12 fueron aprobados. De acuerdo con la información recolecta (Tabla 13), 9 proyectos corresponden al sector productivo de Energía de los cuales se describirán solo aquellos que generan emisiones líquidas que son descargadas en aguas marinas y que se localicen en la Bahía de Mejillones.

Tabla 13 Proyectos Aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Mejillones. Periodo 1990 - 2015

Nombre	Fecha calificación	Titular	Inversión (MMU\$)	Sector productivo
Central Termoeléctrica Mejillones	26-abr-1995	E-CL S.A.	180,00	Energía
Central Termoeléctrica Mejillones Unidad 2	7-ago-1997	E-CL S.A.	200,00	Energía
Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Mejillones CTM3	13-may-1999	E-CL S.A.	150,00	Energía
Instalación Planta Desalinizadora (e-seia)	13-oct-2004	MOLY-COP CHILE S.A.	0,56	Saneamiento Ambiental
Central Termoeléctrica Angamos	13-sept-2007	EMPRESA ELÉCTRICA ANGAMOS S.A	1,00	Energía
Oleoducto para envío de diésel a plantas termoeléctricas, Mejillones II Región (e-seia)	12-ene-2008	COMPAÑÍA DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.	1,20	Energía
EIA Central Termoeléctrica Cochrane	22-ene-2009	EMPRESA ELÉCTRICA COCHRANE S.A	54,00	Energía
Modificación del Punto de Toma y Descarga Central Termoeléctrica Angamos	10-sept-2009	EMPRESA ELÉCTRICA ANGAMOS S.A	1100,00	Energía
Planta Desalinizadora Hornitos	30-dic-2010	Caja de Compensación Los Andes	0,80	Saneamiento Ambiental
Uso de Ceniza de Termoeléctricas en Planta Molienda Norte	30-nov-2012	CEMENTO POLPAICO S.A.	0,24	Saneamiento Ambiental
Modificación subestación eléctrica y nuevo sistema de almacenamiento de energía de Central Termoeléctrica Cochrane	24-ene-2013	EMPRESA ELÉCTRICA COCHRANE S.A	24,50	Energía
Uso de Cal Hidratada, Central Térmica Mejillones para Cumplimiento de Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas	20-feb-2015	ENGIE ENERGÍA CHILE S.A.	11,50	Energía

Fuente: Elaboración propia en base a información del SEA Chile (2017)

Con una inversión total de US\$ 1723,80 Millones, las empresas titulares privadas E-CL S.A, Empresa Eléctrica Angamos S.A, Empresa Eléctrica Cochrane S.A, ENGIE Energía Chile S.A, MOLY-COP Chile S.A., Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A y Cemento Polpaico S.A., son las que

dominan en la industria de la comuna, principalmente en el sector productivo de Energía y Saneamiento Ambiental.

La propietaria NORGENER S.A, en el año 2008 transfiere a Empresa Eléctrica Angamos S.A, las propiedades del proyecto “Central Termoeléctrica Angamos” y en el año 2013 transfiere a Empresa Eléctrica Cochrane S.A las propiedades del proyecto “Central Termoeléctrica Cochrane”.

8.1.2.1 Caracterización de Proyectos en Mejillones (1990 – 2015).

La bahía de Mejillones presenta una zona exclusivamente industrial a 3km del área urbana consolidada, en donde se localizan los proyectos ingresados y aprobados en SEA Chile correspondientes a centrales termoeléctricas y plantas desalinizadoras.

De los proyectos localizados en esta bahía, aquellos que presentan una instalación y/o utilización de infraestructura submarina que permite la descarga de residuos y posible alteración de las aguas marinas, corresponden a (Figura 10): Central Termoeléctrica Mejillones, Central Termoeléctrica Mejillones Unidad 2, Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Mejillones CTM3, Central Termoeléctrica Angamos, Central Termoeléctrica Cochrane, Modificación de punto de toma y descarga central Angamos e Instalación Planta desalinizadora MOLY-COP Chile”.

Figura 10 Localización Proyectos – Sector Industrial – Bahía Mejillones



Fuente: Elaboración propia en base a información del SEA Chile (2017)

a) Central Termoeléctrica Mejillones.

La Central Termoeléctrica Mejillones se encuentra ubicada en la Bahía de Mejillones en la zona industrial de la comuna, a 3 kilómetros al Noreste de la ciudad de Mejillones, Región de Antofagasta.

En junio de 1994 el titular Empresa Eléctrica del Norte Grande S.A. EDELNOR. S.A, presentó un Estudios de Impacto Ambiental para la evaluación, análisis y resolución por la COREMA II Región. Con una

inversión de US\$180 Millones, adjudicó el proyecto en el año 1995, teniendo la unidad a vapor generadora de energía eléctrica una capacidad de 150MW brutos de potencia, mediante un proceso de conversión, la central termoeléctrica permite la generación de energía eléctrica a partir de combustible de carbón o petróleo pesado n°6 mediante un proceso que consta de: liberación de energía en forma de calor mediante combustión, transferencia de calor de los gases de combustión a agua para generar vapor, conversión de energía mecánica en eléctrica (CHILE COREMA II Región, 1995).

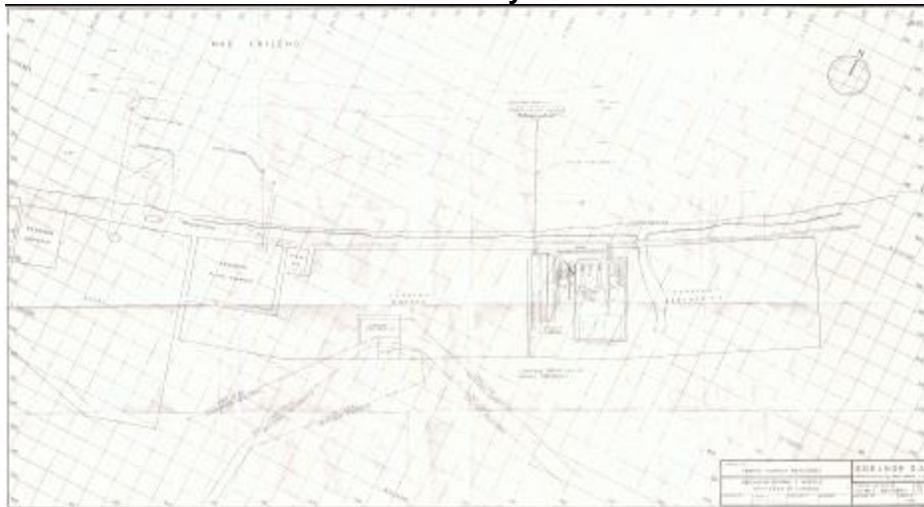
De acuerdo con la información obtenida por el Servicios de Evaluación de Impacto Ambiental, no está liberado la EIA presentada, por lo cual no se hace explicito cuales son los impactos derivado de este proyecto en las aguas marinas. Solo en la Resolución Exenta N°164/1995 declara que, como consecuencia del enfriamiento del agua de mar utilizada por la Central y su descarga al mar, la diferencia de temperatura será más 5°C y el sector de impacto tendrá una extensión de 30 metros mar adentro (CHILE COREMA II Región, 1995).

b) Central Termoeléctrica Mejillones Unidad 2.

En febrero de 1996 el titular Empresa Eléctrica del Norte Grande S.A. EDELNOR. S.A, presentó el Estudio de Impacto Ambiental para la evaluación, análisis y resolución por la COREMA II Región, la segunda parte del proyecto Planta Termoeléctrica Mejillones, denominada Unidad II. Con

una inversión de US\$ 200 Millones, adjudicó el proyecto en el año 1997. La unidad a vapor generadora de energía eléctrica tendría una capacidad de 160MW brutos de potencia y se localiza en un costado de la Unidad I aprovechando las instalaciones de ésta (Figura 11). La energía eléctrica producida mediante un proceso de conversión será entregada al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) (EDELNOR. S.A, 1996).

Figura 11 Disposición General Instalaciones Central Termoeléctrica Mejillones Unidad I y II.



Fuente: EDELNOR. S.A, (1996)

La Tabla 14 refleja que la unidad I y unidad II son de características similares y tienen como combustible principal el carbón bituminoso. Alternativamente considera el uso de petróleo pesado N°6 y una mezcla de carbón bituminoso/sub-bituminoso, en proporción 40% a 60% como combustible de respaldo. Además, la construcción de la unidad II, contempla para su desarrollo una planta desmineralizadora de agua de mar (EDELNOR. S.A, 1996).

Tabla 14. Características básicas de la central térmica Mejillones

	UNIDAD I	UNIDAD II
Potencia Bruta	150 MW	160 MW
Combustible principal	Carbón bituminoso importado	Carbón bituminoso importado
Presión vapor sobrecalentado	147 bar	145,5 bar
Consumo diario carbón	1.296 ton	1.296 ton
Eficiencia caldera	87,09%	87, 92%
Control cenizas	Precipitador electrostático (eficiencia 98%)	Precipitador electrostático (eficiencia 99%)
Chimenea	Única de 80 m	Única de 80 m

Fuente: EDELNOR. S.A, 1996.

Con respecto a los efluentes líquidos industriales que emitiría el proyecto, éste declara que corresponden principalmente al agua de enfriamiento de los condensadores y residuos salobres de la planta desalinizadora. La descarga superficial evacuada al mar no superaría los 32.000 m³/hora, no superior a 26.5°C. La descarga de enfriamiento de las unidades I y II son independientes y están localizados 1,8 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y separadas en 215m. La zona de Influencia térmica para la descarga es de 160m² para la unidad II y 3.800m² para la unidad I (EDELNOR. S.A, 1996), con esta información el EIA reconoce la existencia de alteraciones térmicas en las aguas marinas, lo que hace suponer un alza de temperatura provocando un reemplazo de especies del medio ambiente marino.

Finalmente, se contempla la ejecución de Plan de Seguimientos del Medio Ambiente Marino, el que incluye calidad de agua, sedimentos y comunidades bentónicas, especialmente en la zona de descarga, para detectar cambios y establecer medidas de mitigación.

c) Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Mejillones CTM3.

La Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Mejillones se encuentra ubicada en la bahía de Mejillones en la zona industrial de comuna de Mejillones, a 3 kilómetros al Noreste de la ciudad de Mejillones, Región de Antofagasta, en un terreno aledaño a las unidades a carbón I y II de la Central Termoeléctrica Mejillones. Este proyecto presentando también por EDELNOR. S.A, con una inversión estimada de US\$ 150 Millones, corresponde a la construcción y operación de una central de ciclo combinado que utilizará gas natural para la producción de energía eléctrica, con una potencia neta de 243MW en servicios base (EDELNOR S.A., 1998), con el objetivo principal de satisfacer, por medio del Sistema Interconectado del Norte Grande, la demanda energética de las fuentes consumidoras ubicadas en el Norte Grande.

La central propone un ciclo generador combinado que comprende una turbina a gas de 149,7 MW, una caldera a vapor y una turbina a vapor de 93,4MW y ambas turbinas acopladas a un alternador (EDELNOR S.A., 1998). El proyecto no contempla la instalación de nuevas plantas desaladoras, desmineralizadora y de agua potable ya que se utilizarían las instalaciones que posee la Central Termoeléctrica Mejillones.

El agua de enfriamiento de la nueva central, sería descargada al mar mediante un emisario superficial, el mismo por el cual se descargan las aguas de enfriamiento de la Unidad II de la Central Mejillones. A su vez las emisiones de residuos líquidos industriales estarían constituidas en un 99,88% por agua de enfriamiento, la cual es descargada al mar con un aumento de temperatura estimado de 10°C, modificada en su calidad físico-químico (EDELNOR S.A., 1998).

En su clasificación de impacto correspondiente al medio ambiente biológico marino se identifican los impactos que generaría el proyecto en sus etapas y los planes de mitigación y compensación que propone tanto en la etapa de construcción, operación y abandono (Tabla 15) (EDELNOR S.A, 1998):

- Etapa de construcción: Se identifican impactos negativos de jerarquía baja para: el medio ambiente biológico marino, parámetros físico-químicos de la columna de agua y parámetros físicos-químicos de los sedimentos marinos.
- Etapa de operación: Se identifican impactos negativos de jerarquía baja para: el medio ambiente biológico marino y parámetros físico-químicos de la columna de agua.
- Etapa de abandono: Se identifican impactos positivos de jerarquía media para el medio ambiente biológico marino e impactos positivos de jerarquía baja para parámetros físico-químicos de la columna de agua y parámetros físicos-químicos de los sedimentos marinos.

Tabla 15 Medidas de Mitigación y Compensación Medio Ambiente Marino

TIPO	ETAPA	IMPACTO	ELEMENTO	ACTIVIDAD	MEDIDA
Medio Biológico	Construcción	Alteraciones en la distribución y abundancia de las poblaciones de macrofauna y epibiota intermareal	Fauna Intermareal	Obra de empalme del sistema de enfriamiento de la central al emisario	Las obras se realizan en el área indicada, además de una campaña de monitoreo, para cuantificar la envergadura del impacto
		Alteraciones en las distribución y abundancia de las poblaciones de macrofauna y epibiota submareal	Flora y fauna submareal	Nivelación del fondo marino y construcción de obras civiles (emisario y sistema de aducción)	Las obras se deberían limitar al diseño del proyecto, para no provocar un efecto mayor al estipulado, traduciéndose en la menor alteración posible a las comunidades submareales que se verán afectadas
	Operación	Alteraciones en la distribución y abundancia de las poblaciones de fito y zooplancton	Poblaciones de fito y zooplancton	Capación y descarga de agua de mar para enfriamiento	Los caudales de aducción y descarga deberán cumplir con los estipulado en el diseño tanto en sus características físicas como químicas. Esto se traducirá en una menor alteración a las comunidades de fito y zooplancton que se verán afectadas
Parámetros Físicos-químicos de la columna de agua	Construcción	Alteración de los parámetros físicos de la columna de agua	Columna de agua	Movimiento de tierra y construcción de obras civiles (sistemas de aducción y emisario)	El cumplir estrictamente con el diseño de construcción del proyecto provocará la menor alteración en la calidad física de la columna de agua afectada por el emplazamiento del proyecto
		Alteración de la calidad química de la columna de agua	columna de agua	Movimiento de tierra y construcción de obras civiles (sistemas de aducción y emisario)	El manejo en esta etapa del proyecto deberá cumplir con el diseño del proyecto y así provocar la menor alteración posible en la condición natural de la columna de agua
	Operación	Aumento de la temperatura promedio del agua en el área de influencia de las descargas	columna de agua de mar	Descarga de agua de mar	La temperatura de efluente de descarga de aguas de enfriamiento cumplirá con la resolución DGTM y MM Ord.N° 12.600/422, al verter aguas a una temperatura menor a 30°C,
		Alteración de calidad química de la columna de agua en el área de influencia de la descarga	Columna de agua	Descarga de agua de mar	
Parámetros Físicos-químicos de los sedimentos marinos	Construcción	Alteración de la calidad física de los sedimentos marinos	Sedimentos marinos	Movimiento de tierra y construcción de obras civiles (sistemas de aducción y emisario)	El manejo se limita a cumplir estrictamente con lo estipulado en el diseño del proyecto, con el fin de provocar el menor impacto posible

d) Central Termoeléctrica Angamos.

La COREMA II Región en la Resolución Exenta N°290/2007, se pronuncia favorable al proyecto “Central Termoeléctrica Angamos” de la empresa Eléctrica Angamos S.A., emplazado en el sector industrial de la bahía de Mejillones, al costado norte del Complejo Portuario Mejillones, II Región de Antofagasta. Esta central contempla cuatro unidades de generación térmica de 150 MW cada una, que funcionarían utilizando combustible sólido (carbón bituminoso y sub bituminoso, además de Fuel Oil como combustible de respaldo). La central generaría una potencia bruta total estimada de 600 MW, energía que será inyectada al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) a través de una línea de transmisión por definir la que no está contemplada en la EIA. El monto de inversión considerado para las cuatro unidades es de US\$ 1.000 Millones (NORGENER S.A, 2006).

Con respecto a los efluentes líquidos emitidos por la central en la etapa de operación, corresponde principalmente al agua de enfriamiento de la central, utilizada en el condensador de cada unidad, el cual será enfriado por agua de mar, captada, recirculada y descargada nuevamente al mar. Esta emisión corresponde al 99% del total de residuos líquidos generados, el 1% restante corresponde a purgas de la planta desalinizadora, descargas de la planta desmineralizadora de agua de mar y proveniente de purgas de otros equipos y residuos domésticos.

De acuerdo con los impactos en el medio ambiente marino, declarados por la EIA corresponden en la etapa de construcción a la alteración del hábitat marino de fauna intermareal y submareal, declarados impacto negativo de significancia baja. En la etapa de operación se detectan dos impactos correspondientes a: creación de condiciones de hábitat para tortugas marinas, de impacto positivo con significancia media y alteración de la calidad del agua mar como impacto negativo con significancia baja (NORGENER S.A., 2006).

Para compensar estos impactos la EIA propone un Plan de Manejo Ambiental para el Medio Marino, para dos de los tres impactos declarados. En conjunto se propone un Plan de Seguimiento Ambiental que tiene por objetivo fundamental determinar si las medidas de manejo ambiental, tanto las incorporadas al proyecto como aquellas surgidas de la evaluación de impactos, han sido eficaces en garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

En el caso del medio ambiente marino, la empresa compromete un plan de seguimiento para la calidad de agua de mar, comunidades submareales y sedimentos marinos (Tabla 16), los cuales son desarrollados utilizando la misma metodología utilizada en la línea de base para así poder comparar los monitoreos, que tendrán una frecuencia semestral (NORGENER S.A., 2006). Este plan de seguimiento tiene que ir dirigido a la COREMA II Región.

Tabla 16. Plan de Seguimiento Medio Ambiente Marino. Central Termoeléctrica Angamos.

VARIABLE	CALIDAD DEL AGUA DE MAR	COMUNIDADES SUBMAREALES	SEDIMENTOS MARINOS	CIRCUITO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN
Impacto en:	Agua de mar en el área inmediata a las obras	Poblaciones de ambiente marino en área inmediata a las obras	Sedimentos submareales del área inmediata a las obras	Medio Ambiente Marino.
Descripción:	pH, temperatura, oxígeno disuelto, cloro libre, sólidos suspendidos, oniformes fecales y totales, HAT, sólidos sedimentables, la temperatura se medirá con CTDO, por lo que corresponde a un perfil de columna de agua con información a diferentes estratos., carbono orgánico total y particulado y materia orgánica, temperatura superficial y subsuperficial, mercurio (Hg), cadmio (Cd), zinc (Zn), plomo (Pb), cromo (Cr), molibdeno (Mo).	Índices comunitarios y ecológicos (S, H' y J'), cobertura porcentual, riqueza.	Calidad físico-química de los sedimentos a través de la caracterización de la granulometría, cobre y arsénico I	Se monitoreará: caudal, pH, temperatura, HAT, cloro, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales.
Monitorear en:	Estaciones utilizadas en la Línea de Base (ver Figura 5.3.4.1 del EIA).	Estaciones utilizadas en la Línea de Base.	Estaciones utilizadas en la Línea de Base (ver Figura 5.3.6.1 del EIA), Materia orgánica, carbonatos, sulfuros, partículas de carbón superficial, mercurio (Hg), cadmio (Cd), zinc (Zn), plomo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr), molibdeno (Mo).	En la aducción y descarga del circuito de refrigeración.

Tabla 16. Plan de Seguimiento Medio Ambiente Marino. Central Termoeléctrica Angamos.

VARIABLE	CALIDAD DEL AGUA DE MAR	COMUNIDADES SUBMAREALES	SEDIMENTOS MARINOS	CIRCUITO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN
Duración, Frecuencia:	Semestral, dos monitoreos al año durante toda la vida útil del proyecto, dos veces al año (campaña invierno, verano). Una vez iniciada la operación de la CTA, el Titular medirá trimestralmente el parámetro temperatura en la zona de descarga del efluente. Esto se realizará por los primeros dos años, al final de este plazo se evaluará la continuidad de las mediciones si las circunstancias así lo aconsejan. Lo anterior se realizará concordancia a los informes que se generen de avistamiento de tortugas marinas.	Semestral, dos monitoreos al año durante los tres primeros años de operación. De acuerdo a los resultados obtenidos, se evaluará con la autoridad la continuidad del programa.	Semestral, dos monitoreos al año durante toda la vida útil del proyecto, dos veces al año (campaña invierno, verano).	Toda la vida útil del proyecto., semestral
Metodología:	Similar a la utilizada en el estudio de Línea de Base	Similar a la utilizada en el estudio de Línea de Base.	Similar a la utilizada en el estudio de Línea Base.	Similar a la utilizada en la sección 5.3.4 del EIA.
Comparar con:	Antecedentes disponibles en la Línea de Base	Antecedentes disponibles en la Línea de Base.	Antecedentes disponibles en la Línea de Base.	Antecedentes disponibles en la Línea de Base
Frecuencia de Informes:	Mensual como si el monitoreo es semestral	Semestral	Semestral	Semestral
Informes dirigidos a:	COREMA II Región, DGTM y MM.	COREMA II Región, DGTM y MM	COREMA II Región, DGTM y MM	COREMA II Región, DGTM y MM.

Fuente: NORGENER S.A., (2006.)

e) Modificación del Punto de Toma y Descarga Central
Termoeléctrica Angamos

La empresa Eléctrica Angamos S.A, de acuerdo con la Resolución Exenta N°0023/2009, presenta la Declaración de Impacto Ambiental correspondiente a la “Modificación del punto de toma y descarga Central Termoeléctrica Angamos” a la COREMA Región de Antofagasta. Con una inversión de US\$ 54 Millones, el objetivo del proyecto consiste en la reducción de la longitud del ducto de toma y descarga del medio marino debido a una reducción, como máxima, de un 90% del caudal succionado y descargado al medio marino, respecto de lo aprobado en el Estudio Impacto Ambiental del proyecto “Central Termoeléctrica Angamos”. El caudal descargado se modificará de 65.000 m³/h a 4.500 m³/h, se estimó reducir la longitud del ducto de toma y descarga de agua, el presente proyecto consiste en un desplazamiento de los puntos de toma y de descarga de agua (ELECTRICA ANGAMOS S.A., 2006).

Durante la etapa de operación, el efluente líquido industrial que será descargado por el emisario submarino proviene en: 59% de la torre de enfriamiento, un 38% de la planta desalinizadora y un 3% de las purgas de los distintos equipos de la Central Termoeléctrica Angamos, se estima que la descarga al agua de mar incrementaría en menos de 1°C la temperatura de la condición inicial de una zona de pocos metros alrededor.

Como este es un proyecto de modificación a la Central Termoeléctrica Angamos, la COREMA II Región solicita el monitoreo, análisis, medición y

modificación a los planes de contingencia propuestos en la EIA Central Termoeléctrica Angamos destinadas a corregir situaciones no previstas en lo declarada en la EIA.

f) Central Termoeléctrica Cochrane.

La Comisión Regional de Medio Ambiente, COREMA II Región en la Resolución Exenta N°305/2009, se pronuncia favorable al proyecto “Central Termoeléctrica Cochrane” de la empresa NORGENER S.A., emplazado en el sector industrial de la Bahía de Mejillones, dentro del terreno correspondiente a la Central Termoeléctrica Angamos, II Región de Antofagasta.

Esta central contempla dos unidades de generación térmica de 280 MW cada una, estas unidades serán del tipo monoblock diseñadas para consumir combustibles sólidos (carbón) por medio de una caldera de tecnología carbón pulverizado. El vapor generado de 160 bar de presión y 565°C de temperatura, será expandido en una turbina de vapor del tipo condensación. La central generaría una potencia bruta total estimada de 560 MW, energía que será inyectada al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) a través de una línea de transmisión por definir la que no está contemplada en la EIA. El monto de inversión considerado para las dos unidades es de US\$ 1.100 Millones (NORGENER S.A., 2008).

Puesto que el proceso de desulfurización, que incorpora el proyecto, consume una importante cantidad de agua dulce, se contempla la instalación

de plantas desalinizadoras de agua de mar (una por cada unidad) de 2.700 m³/día de capacidad cada una, por lo que el sistema en conjunto podría desalinizar un flujo de 5.400 m³/día. Este flujo permitiría abastecer de agua desalada a los otros consumos de la central.

Por lo anteriormente expuesto, el principal efluente líquido industrial del proyecto será el agua de enfriamiento utilizado en el condensador de cada unidad, en un circuito cerrado mediante torres de refrigeración para ambas unidades. Para esto se debe captar agua de mar por medio de un sifón y bombas centrifugas. El sistema de descarga en el mar consistirá en un acueducto enterrado, seguido de un emisario submarino (NORGENER S.A., 2008).

El flujo de agua descargada al mar para las dos unidades es de 4.400m³/h y la temperatura del agua estaría incrementada como máximo en 10°C. De este flujo el 73% proviene de la purga de la torre de enfriamiento, 25% de la planta desalinizadora y el 2% restante corresponden a las purgas de los distintos equipos de la central.

De acuerdo con lo declarado en la EIA, presenta los parámetros de salida de los efluentes tratados en el proyecto, como se detallan en la Tabla 17, indicando además los límites máximos permisibles establecidos por el DS N°90/2000, para cada parámetro. Esta información ha sido generada por el monitoreo de control que realizaba en esa fecha NORGENER S.A. en la central Nueva Tocopilla de similares características.

Tabla 17. Característica de la Descarga de Riles para cada unidad. Central Termoeléctrica Cochrane.

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	CONCENTRACIÓN EN DESCARGA ²	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE D.S. 90/2000
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	2,8	20
Sólidos Sedimentables	ml/1/h	S.SED	< 0,2	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.	74	100
Aluminio	mg/L	Al	0,0381	1
Arsénico	mg/L	As	0,0232	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	< 0,0002	0,02
Cianuro	mg/L	CN ⁻	0,002	0,5
Cobre	mg/L	Cu	0,0077	1
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	< 0,002	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,01	0,2
Cromo Total	mg/L	Cr Total	0,0075	2,5
Estaño	mg/L	Sn	0,1326	0,5
Fluoruro	mg/L	F ⁻	1,18	1,5
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	1	10
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HC	< 0,01	1
Manganeso	mg/L	Mn	0,026	2
Mercurio	mg/L	Hg	< 0,001	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,014	0,1
Níquel	mg/L	Ni	0,0271	2
PH	Unidad	pH	7 - 9	6,0 – 9,0
Plomo	mg/L	Pb	< 0.003	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	0,05	10
Selenio	mg/L	Se	< 0,005	0,01
Sulfuro	mg/L	S ²⁻	0,001	1
Zinc	mg/L	Zn	0,0237	5
Temperatura	°C	T°	30	30

Fuente: NORGENER S.A.,(2008)

De acuerdo con los impactos en el medio ambiente marino declarados por la EIA, estos corresponden en la etapa de construcción a la alteración del

² Información comprobada de referencia extraída del Monitoreo en Central Tocopilla de NORGENER (2 Unidades de 140 MW)

hábitat marino de fauna intermareal y submareal, declarado impacto negativo de significancia baja. En la etapa de operación, se detecta el impacto correspondiente a la alteración de la calidad del agua mar como impacto negativo con significancia baja. Para compensar estos impactos, la EIA propone un Plan de Manejo Ambiental para el Medio Marino como se observa en la Tabla 18 (NORGENER S.A, 2008).

Tabla 18. Plan de Manejo Ambiental Medio Marino. Central Termoeléctrica Cochrane.

ETAPA DEL PROYECTO	FUENTE/CAUSA DEL EFECTO	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL
Construcción	Construcción del emisario submarino: Remoción de sedimento de fondo por excavaciones, trabajos submarinos para emplazar la tubería, movimiento de maquinaria, entre otros	Alteración del hábitat marino	Para disminuir la alteración del sustrato intermareal, la arena removida producto de la instalación del emisario será dispuesta nuevamente en la zanja de excavación a objeto de cubrir, donde corresponda, los apoyos del emisario, mientras que la fracción remanente será esparcida en el mismo sector. En el breve plazo los vientos y mareas imperantes en la zona distribuirán la arena en el sector haciendo desaparecer las huellas de vehículos y de las personas que participaron en las faenas. Durante la etapa de construcción e instalación del emisario, se reestablecerá en forma inmediata las características morfológicas de la playa, en todo el terreno intervenido directamente
Operación	Descarga de aguas de enfriamiento de las Central	Alteración de la calidad del agua de mar	Las consideraciones de manejo ambiental para este impacto han sido incorporadas en la ingeniería del proyecto y se refieren básicamente a : - El proyecto contempla la descarga de las aguas de enfriamiento a través de un emisario submarino en lugar de una descarga costera superficial

Tabla 18. Plan de Manejo Ambiental Medio Marino. Central Termoeléctrica Cochrane.

ETAPA DEL PROYECTO	FUENTE/CAUSA DEL EFECTO	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL
			La central considera una descarga a 76 m de la línea de baja marea, permitiendo con ello una mejor difusión de la pluma térmica

Fuente: NORGENER S.A., 2008.

Para determinar si las medidas de manejo ambiental, tanto las incorporadas al proyecto como aquellas surgidas de la evaluación de impactos, han sido eficaces en garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes se propone un Plan de Seguimiento Ambiental Marino (NORGENER S.A., 2008), idéntico al presentado por la Central Termoeléctrica Angamos (Tabla 16).

g) Instalación Planta Desalinizadora.

La Declaración de Impacto Ambiental del proyecto “Instalación Planta Desalinizadora” presentada por MOLY-COP Chile S.A. a la COREMA, II Región fue aprobada en la Resolución Exenta N°0197/2004, con un monto de Inversión de MUS\$ 557. El proyecto consiste en la implementación de una planta desalinizadora de agua de mar mediante proceso de osmosis inversa, con el fin de abastecer los requerimientos del proceso de fabricación de Bolas de Acero, equivalentes a 3375m³/día (MOLY-COP CHILE S.A., 2004a). Este proyecto se localiza en el sector industrial de la Bahía de Mejillones.

Sin embargo, esta planta desalinizadora utiliza como materia prima, el agua de mar ya empleada por Edelnor S.A en su condensador de la Planta Termoeléctrica Mejillones. Por lo tanto, el proyecto solo ocupa un emisario submarino para la descarga efluentes líquidos correspondientes al agua de mar de rechazo o salmuera. Ésta se caracteriza por tener un caudal de 560m³/día, equivalente a 23,4m³/hora, descargado con una temperatura máxima de 20°C y Sólidos en suspensión total de 43mg/L (MOLY-COP CHILE S.A., 2004a).

La DIA no declaró impacto en el medio ambiente marino, sin embargo, la Autoridad Marítima pertinente le solicitó presentar un Programa de Vigilancia Ambiental en el área adyacente a la descarga de Riles, el cual consiste en un monitoreo de las condiciones del exosistema marino-costero frente al emisario de descarga de la planta. El programa de monitoreo utilizado por la empresa esta resumido en la Tabla 19, tiene como objetivo describir las condiciones oceanográficas y biológicas de los sedimentos submareales frente al emisario de descarga de la planta desalinizadora.

Tabla 19. Programa de Monitoreo Marino. Instalación Planta Desalinizadora

COMPONENTE AMBIENTAL	LUGAR DE MONITOREO	PÁRAMETROS	FRECUENCIA	METODOLOGÍA
Calidad columna de agua	Descarga planta desalinizadora MOLY-COP, Mejillones	Físicos: Temperatura, densidad, salinidad, oxígeno disuelto, transparencia	Semestral	4 estaciones

Tabla 19. Programa de Monitoreo Marino. Instalación Planta Desalinizadora

COMPONENTE AMBIENTAL	LUGAR DE MONITOREO	PÁRAMETROS	FRECUENCIA	METODOLOGÍA
		Químicos: Aceites y grasas, DBO ₅ , sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, cloruros		Niveles: superficie, medio, fondo según bases técnicas
Correntometría lagrangiana	Descarga planta desalinizadora MOLY-COP, Mejillones	Correntometría: Dirección, Velocidad	Semestral	Estaciones por determinar según dirección y velocidad de los derivadores.
		CTD: Salinidad, temperatura y oxígeno		Registro en niveles superficies, medio, fondo, según bases técnicas
Calidad de sedimentos y organismos	Descarga planta desalinizadora MOLY-COP, Mejillones	Granulometría Materia Orgánica Potencial REDOX	Semestral	2 estaciones según bases técnicas
		Diversidad y Biomasa Macrofauna Bentónica		

Fuente: MOLY-COP CHILE S.A., 2004b.

8.1.2.2 Fiscalizaciones, Monitoreos y Seguimientos

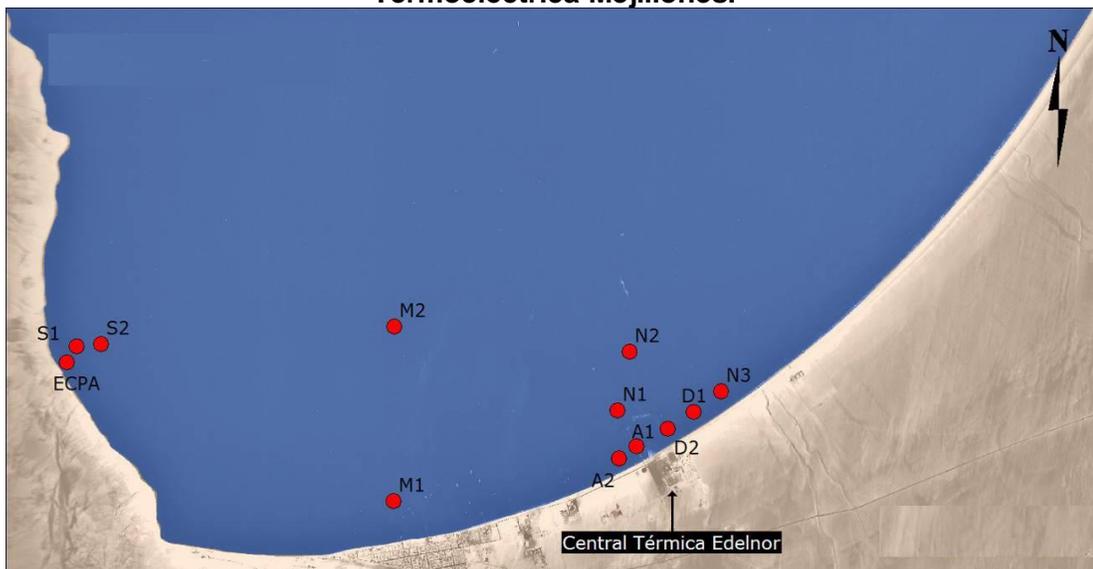
De acuerdo con lo declarado en las Evaluaciones de Impacto Ambiental como en las Declaraciones de Impacto Ambiental, las centrales termoeléctricas localizadas en la comuna de Mejillones, tanto de la empresa EDELNOR. S.A y NORGENER S.A se comprometen a un Plan de Monitoreo Ambiental como requerimiento de la COREMA II Región.

De la recopilación de documentos liberados por medio del Sistema de Evaluación Ambiental, solo se tiene acceso a 1 monitoreo que corresponde a

al año 2009. El área de monitoreo contempla una red de 12 estaciones de las cuales, siete se distribuyen en el sector cercano a la descarga (Estaciones N, A y D) y cuatro hacia el sector lejano a la descarga (Estaciones M y S), situadas frente a la Bahía de Mejillones (Figura 12).

El muestreo de datos correspondientes al Programa de Monitoreo Ambiental, de la empresa EDELNOR. S.A, corresponde a muestras de: Columna de agua, Pluma Térmica, Sedimentos Submareales, Sedimentos Intermareales, Macrofauna submareal de fondos blandos, Macrofauna intramareal de fondos blandos y caracterización de las aguas de refrigeración. Para el caso en estudio solo se analizarán los resultados obtenidos en cuanto a las características de la columna de agua correspondiente a Temperatura y Sólidos en Suspensión.

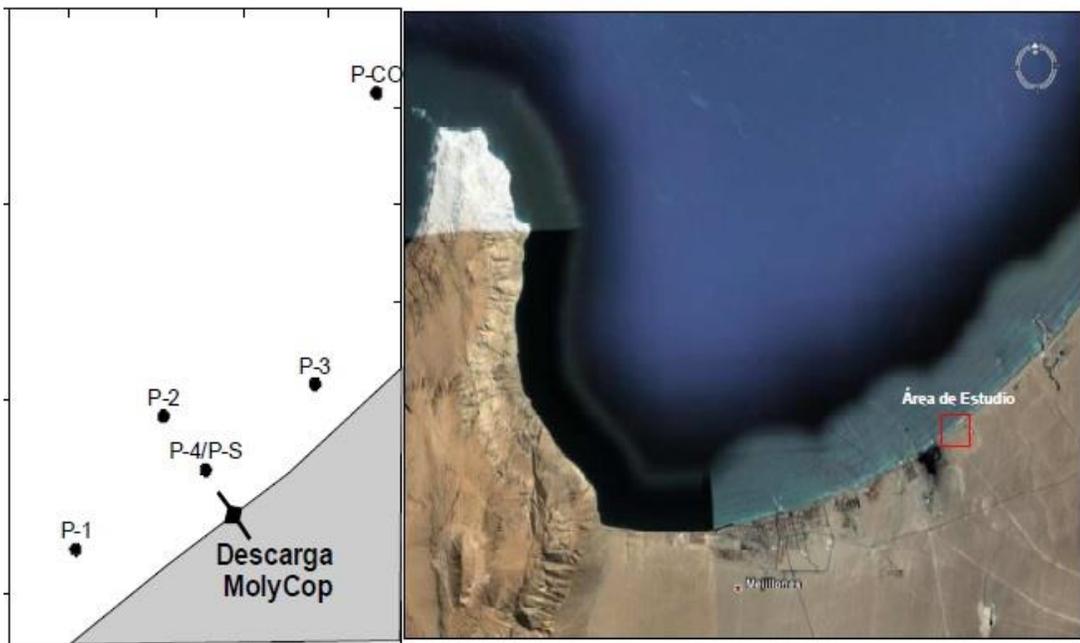
Figura 12. Localización Estaciones de muestreo Columna de Agua. Central Termoeléctrica Mejillones.



Fuente: (OIKOS CHILE S.A., 2009)

Por su parte, la empresa MOLY-COP Chile S.A ha desarrollado el Programa de Vigilancia Ambiental correspondiente a su Planta Desalinizadora, el cual consiste en el monitoreo de las condiciones del sistema marino-costero, correspondiente a la columna de agua, correntimetría lagrangiana, sedimentos submareales y comunidades marinas bentónicas presentes frente al emisario de descarga de la planta, iniciando dicha actividad durante el mes de julio del año 2009. En el área de estudio para este monitoreo, se consideran cuatro estaciones de muestreo más una estación de control ubicada al norte del área de descarga como se observa en la Figura 13.

Figura 13. Localización Estaciones de muestreo Columna de Agua. Planta Desalinizadora.



Fuente: CESMEC, (2011)

a) Temperatura Columna de Agua

De acuerdo con los registros históricos evaluados por EDELNOR. S.A, las condiciones de temperatura media desde el año 1998 al año 2009 el registro ha tenido fluctuaciones promedio desde los 12°C hasta los 20°C, tanto para las estaciones cercanas y lejanas a la descarga. Además, las aguas de superficie son las que presentan un leve aumento de temperatura con respecto a las aguas de fondo.

Las estaciones de monitoreo más cercanas a la descarga (N1-N2-N3-D1-D2-A1-A2) (Figura 15) reflejan en las aguas de superficie leves aumentos de temperatura en menos de 5°C en monitoreo del verano 2003, verano 2006 y verano 2008 con respecto al año anterior.

En general, la distribución de temperaturas de agua de superficie en los años monitoreados, tanto para las estaciones lejanas como cercanas a la descarga fluctúa entre los 15°C y 20°C. El plan de monitoreo declara que la Temperatura Superficial del Mar histórica, de acuerdo con los datos entregados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, es de 19°C y las mediciones de temperatura para ambos sectores en el periodo de estudio, no superan esta medida, sino más bien tienen una fluctuación hacia la baja.

Figura 14. Temperatura Sector lejano a la Descarga

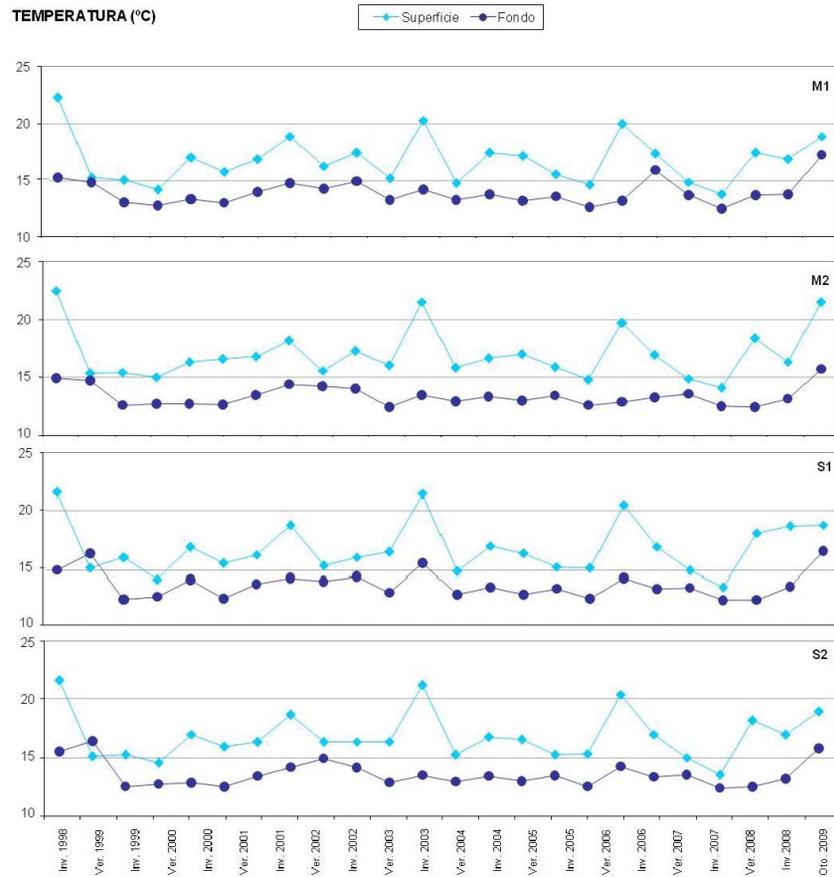
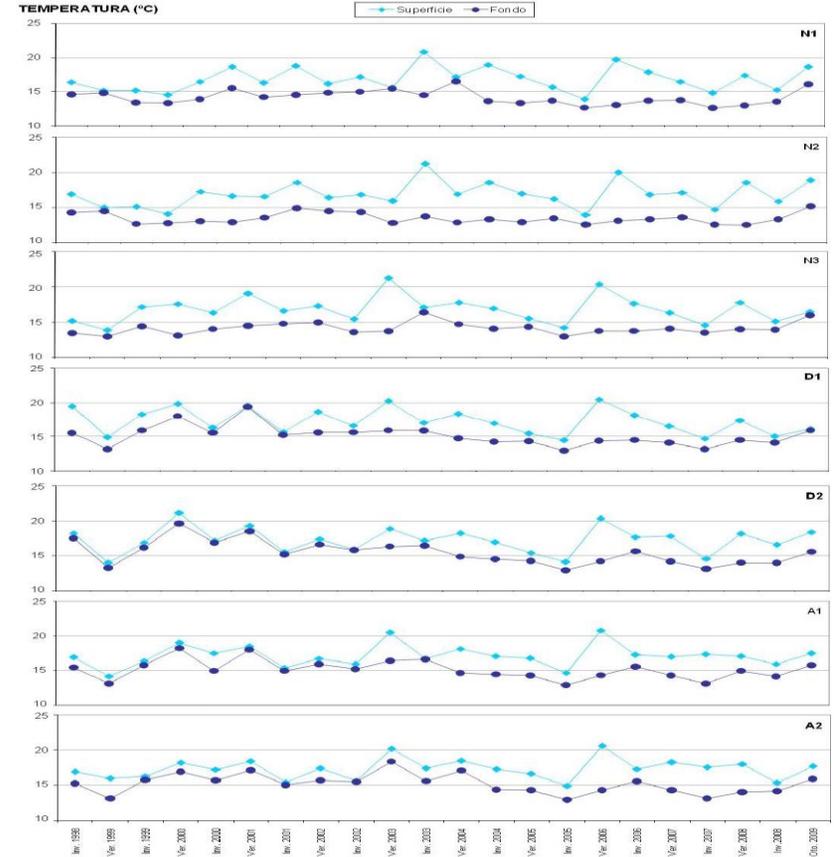


Figura 15. Temperatura Sector cercano a la Descarga



Fuente: (OIKOS CHILE S.A., 2009)

Con respecto al monitoreo de descarga de MOLY-COP CHILE S.A. con respecto a la temperatura, el programa declara que las temperaturas superficiales de la columna de agua fluctúan entre los 17°C a 20°C durante los periodos fríos y cálidos de los años monitoreados. Para las temperaturas del fondo de la columna de agua fluctúan entre los 14° a 17°C. Se declaran que las emisiones no superan los máximos permisibles según la norma D.S°90/2001 sobre la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marino dentro de la zona de protección litoral (CESMEC, 2011).

b) Sólidos en Suspensión. Columna de Agua

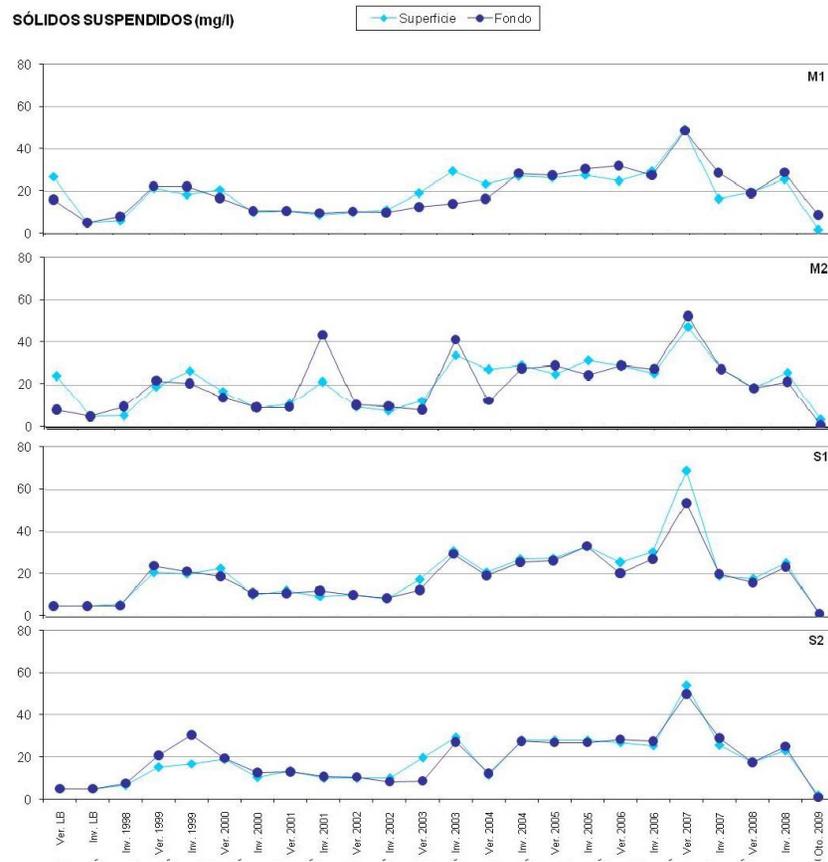
Al contrastar los niveles de sólidos en suspensión evaluados por EDELNOR. S.A, en el sector cercano y lejano a la descarga, se registran concentraciones desde la campaña de invierno de 1998 hasta otoño 2009. En general las concentraciones de sólidos en suspensión de la columna de agua han sido históricamente menores a los 40mg/L para ambos sectores monitoreados, registrando incrementos puntuales en las campañas realizadas en el verano de 2007, y la campaña de otoño 2009 presenta un descenso hacia 0mg/L (Figura 16 y Figura 17).

Con respecto al sector cercano a la descarga, se destaca que los sólidos en suspensión de fondo y superficie no presentan variaciones durante las campañas, mostrando una homogeneidad de los datos en todas las estaciones de monitoreo para todas las campañas, solo se refleja un leve aumento desde la campaña del verano 2003 en adelante

Con respecto al sector lejano a la descarga, la estación M2 refleja una heterogeneidad en los datos con respecto a los sólidos en suspensión de fondo, los cuales muestran un incremento sobre los 40mg/L para las campañas de invierno 2001, invierno 2003 y verano 2007. Por lo tanto, la concentración de sólidos suspendidos muestra valores más bajos de toda la serie histórica en el último monitoreo, la cual es explicada por el consultor por una baja productividad primaria (fitoplanctónica) que estaría afectando a la bahía desde el año 2007 (OIKOS CHILE S.A., 2009).

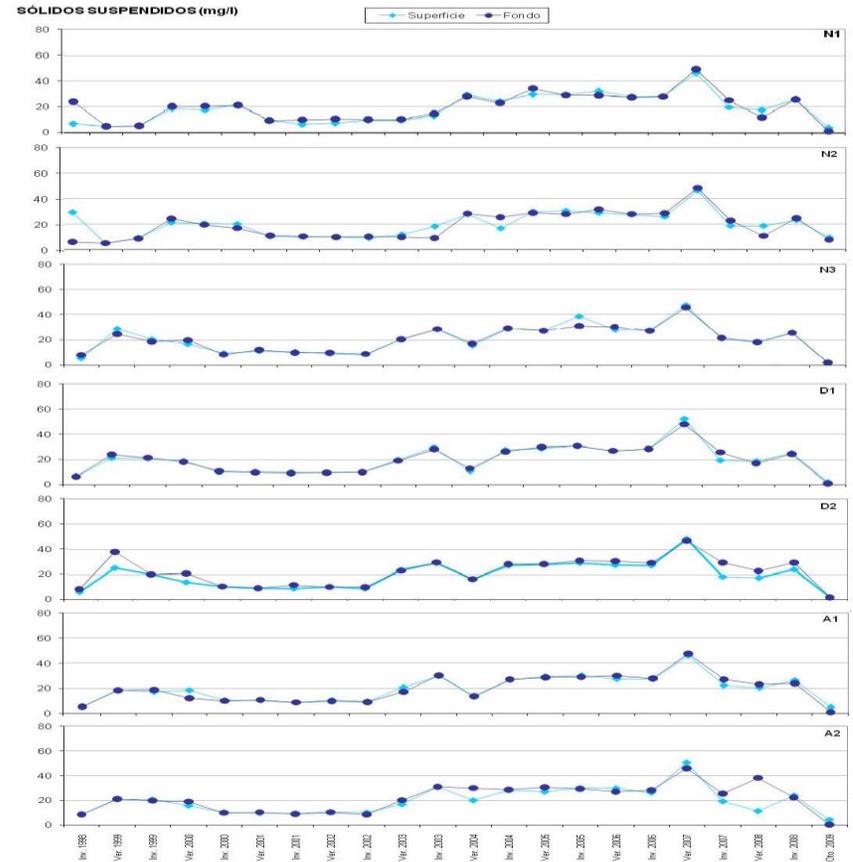
Con respecto al monitoreo de descarga de MOLY-COP CHILE S.A. con respecto a los sólidos totales suspendidos, el programa declara que los sólidos en suspensión desde el año 2006 al año 2009 han mostrado una gradual disminución de sus concentraciones a lo largo de la serie histórica, registrando un máximo de 110mg/L a nivel superficial de durante el periodo estival de 2007, llegando a registrar valores menores a 10mg/L en las dos últimas campañas (CESMEC, 2011).

Figura 16. Sólidos en Suspensión. Sector lejano a la Descarga.



Fuente: (OIKOS CHILE S.A., 2009)

Figura 17. Sólidos en Suspensión. Sector cercano a la Descarga.



Fuente: (OIKOS CHILE S.A., 2009)

8.1.3 Bahía de Antofagasta

La comuna de Antofagasta, al sur de la ciudad de Antofagasta, se encuentra Puerto Coloso, propiedad de la Minera Escondida donde se encuentra localizada una central termoeléctrica y plantas desaladoras.

Para el periodo de estudio se encontraron 10 proyectos que ingresaron al SEA Chile, relacionados con termoeléctricas y desaladoras, de los cuales 7 fueron aprobados. De acuerdo con la información recolecta (Tabla 20), 2 proyectos corresponden al sector productivo de Energía y 4 al sector productivo Saneamiento Ambiental que se localizan en la bahía de Antofagasta, que responden a Declaraciones de Impacto Ambiental correspondientes a plantas desalinizadora o desaladoras en la bahía.

Tabla 20. Proyectos Aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Antofagasta. Periodo 1990 - 2015

NOMBRE	FECHA CALIFICACIÓN	TITULAR	INVERSIÓN (MMU\$)	SECTOR PRODUCTIVO
Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Coloso	25-mar-1999	ENGIE ENERGÍA CHILE S.A.	150,00	Energía
Planta Desalinizadora de Antofagasta II Región	18-may-1999	AGUAS DE CHILE LTDA.	90,00	Saneamiento Ambiental
Planta Desaladora de Agua de Mar Antofagasta - II Región Chile	27-sept-2001	AGUAS DE ANTOFAGASTA S.A.	30,00	Saneamiento Ambiental
Línea de Alimentación a Planta Desaladora de Antofagasta	13-sept-2002	E-CL S.A.	0,85	Energía

Tabla 20. Proyectos Aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Antofagasta. Periodo 1990 - 2015

NOMBRE	FECHA CALIFICACIÓN	TITULAR	INVERSIÓN (MMU\$)	SECTOR PRODUCTIVO
Planta Desalinizadora Piloto (e-seia)	22-oct-2004	MINERA ESCONDIDA LIMITADA	1,40	Otros
Planta Desaladora Sur Antofagasta	14-sept-2012	AGUAS DE ANTOFAGASTA S.A.	120,00	Saneamiento Ambiental
Actualización y Ampliación Planta Desaladora La Chimba	11-jul-2014	AGUAS DE ANTOFAGASTA S.A.	10,00	Saneamiento Ambiental

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Con una inversión total de US\$ 402,25 millones en la comuna, las empresas titulares privadas Aguas de Antofagasta S.A., E-CL S.A, Minera Escondida Limitada S.A. y ENGIE Energía Chile S.A son las que dominan en la industria de la comuna, principalmente en el sector productivo de Energía y Saneamiento Ambiental.

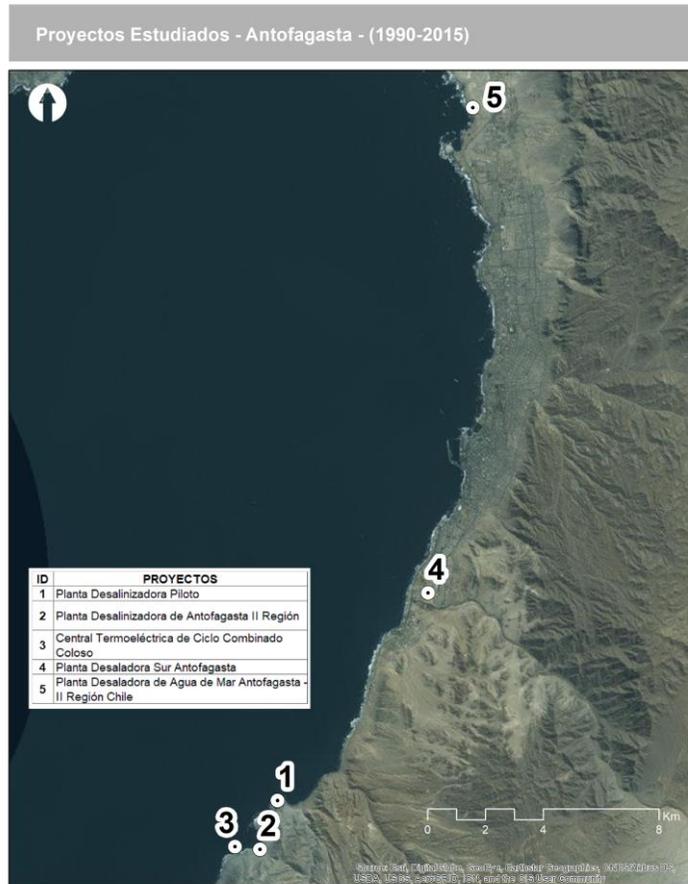
8.1.3.1 Caracterización de Proyectos en Antofagasta (1990 – 2015).

En la ciudad de Antofagasta, se caracterizan los proyectos relacionados con plantas desaladoras que buscan abastecer la demanda de agua potable de la ciudad. De acuerdo con la revisión bibliográfica los proyectos ingresados y aprobados por la COREMA, II Región y publicados actualmente por SEA Chile.

De los proyectos localizados en este sector, aquellos que presentan una instalación y/o utilización de infraestructura submarina que permite la

descarga de residuos y posible alteración de las aguas marinas, corresponden (Figura 18): Central Termoeléctrica Combinado Coloso, Planta Desalinizadora Piloto, Planta Desalinizadora de Antofagasta, Planta Desaladora de Agua de Mar Antofagasta y Planta Desaladora Sur.

Figura 18 Localización de Proyectos - Antofagasta



Fuente: Elaboración propia en base a información del SEA Chile (2017)

c) Central Termoeléctrica Combinado Coloso

Puerto Coloso localizado a 3km al Sur del límite urbano de Antofagasta, emplaza las instalaciones industriales de Minera Escondida, entre las cuales figuran dos plantas desalinizadoras y un puerto para embarque de concentrados.

En el año 1999, de acuerdo con la Resolución Exenta N°036/1999 fue aprobado el Estudio de impacto Ambiental Proyecto Central Termoeléctrica Combinado Coloso, de la empresa ELECTROANDINA S.A, por la COREMA de la II Región de Antofagasta. El proyecto consta de una inversión de US\$ 150 Millones y corresponde a una central de tipo combinado gas/vapor de 390MW de potencia neta, y una generación anual promedio de 3.000 GWh. Dentro de los elementos propios de un central de ciclo combinado están proyectadas: el sistema de refrigeración, planta desaladora y desmineralizadora entre otros, que provocan efluentes líquidos descargados al mar (ELECTROANDINA S.A, 1999).

Para esta central, el agua de mar utilizada y descargada retornaría al mar por medio de un emisario submarino, con una temperatura de 28,3°C y tendría un área de impacto de 140m de la costa con una diferencia de 1,2°C de temperatura (ELECTROANDINA S.A,1999). La caracterización de los efluentes líquidos, desarrollada en la Tabla 21 , revelan las temperaturas de las aguas descargadas durante el periodo de operación normal de la central. La central termoeléctrica, en su EIA declara impactos en el medio ambiente marino, para las etapas de construcción, operación y abandono del proyecto, los cuales son clasificados como impactos negativo reversible de jerarquía baja (Tabla 22).

Tabla 21. Caracterización Efluentes Líquidos. Central Combinado Coloso.

EFLUENTES LÍQUIDOS	FLUJO M³/DÍA	PROGRAMA	TEMPERATURA °C
Purgas de la caldera	10	Normal	28
Puntos de muestreo	5	Normal	28
Drenaje del suelo, cañerías y equipos	10	Normal	24
Perdidas en el ciclo principal	15	Normal	24
Desagüe del laboratorio	0	Normal	
Fugas del sistema cerrado de refrigeración por agua	1,85	Normal	21
Agua mar para refrigeración	332,4	Normal	29
Aguas residuales de hervido de la caldera	120	Inicio	28
Aguas residuales de 1ra limpieza	80	Inicio	28
Aguas residuales de 2da limpieza	80	Inicio	28
Drenajes sanitarios (aguas de planta agua servida)	15	Normal	21

Fuente: ELECTROANDINA S.A, 1999.

Como respuesta a estos impactos, la central propone como Plan de Seguimiento, el monitoreo de parámetros físicos químicos de la bocatoma y la descarga de aguas de enfriamiento, un monitoreo biológico de la macrofauna submareal. La frecuencia del monitoreo de las variables de: sedimentos disueltos, suspendidos, hidrocarburos totales, fosfato y cloro gaseoso se harían mensualmente. Los monitoreos continuos corresponden al caudal, pH y temperatura de los efluentes.

Tabla 22. Identificación de Impacto. Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Coloso.

ETAPA	IMPACTO	TIPO	JERARQUÍA
Construcción	Parámetros físicos de la columna de agua	Negativo - Reversible	Baja
	Parámetros químicos de la columna de agua	Negativo - Reversible	Baja
	Parámetros físicos de los sedimentos marinos	Negativo - Reversible	Baja
	Parámetros químicos de los sedimentos marinos	Negativo - Reversible	Baja
	Alteraciones en la distribución y abundancia de las poblaciones de micro fauna y epiobota intermareal y submareal	Negativo - Reversibilidad Parcial	Baja
Operación	Parámetros físicos de la columna de agua	Negativo - Reversible	Baja
	Parámetros químicos de la columna de agua	Negativo - Reversibilidad Parcial	Baja
	Alteraciones en la distribución y abundancia de las poblaciones de Fito y zooplancton	Negativo - Reversibilidad Parcial	Baja
Abandono	Normalización ecológica de las poblaciones de Fito y zooplancton	Positivo	Baja

Fuente: ELECTROANDINA S.A, (1999.)

d) Planta Desalinizadora Piloto

En el año 2004, Minera Escondida Limitada, presentó la Declaración de Impacto Ambiental de su proyecto "Planta Desalinizadora Piloto", a la COREMA II Región. Con una inversión de US\$ 1.4 Millones, y una vida útil de 1 año producto que esta instalación piloto buscaba verificar el rendimiento de la futura planta desalinizadora industrial instalada en el área puerto de embarque Coloso. Esta planta piloto tenía una capacidad para tratar 25m³/h de agua de mar, generando hasta 10m³/h de agua desalinizada de calidad industrial, 10m³/h de salmuera, 5m³/h restantes corresponden a aguas de excedentes (MINERA ESCONDIDA LIMITADA, 2004).

Mediante la Resolución Exenta N° 0257/2005, de fecha 22/09/2005, Minera Escondida solicita el cambio de la duración de la vida útil del proyecto de un año (situación original) a 40 años, para que este se desarrolle juntamente con la vida útil de las demás operaciones de Minera Escondida Limitada.

La planta piloto implica una descarga de salmuera y agua de lavado de 2,8 y 7,5 L/s que equivalen a un 0,28% y 0,75% de la descarga autorizada para la planta industrial. Si bien en las etapas de flotación, filtración y osmosis inversa descargan efluentes líquidos a aguas marinas (Tabla 23; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La DIA declara que su efecto en el medio marino será significativamente menor respecto del efecto pronosticado para la escala industrial (MINERA ESCONDIDA LIMITADA, 2004).

Tabla 23. Caudal del volumen total de descargas de efluentes líquidos

Etapas	Caudal de ingreso	Caudal de Salida
Flotación	600 m ³ /día Agua de mar	108 m ³ /día Excedente agua de mar /Devolución al mar
		100m ³ /día Rebose/Descarga al Mar
		50m ³ /día A lavado de filtros/Descarga al mar
		342m ³ /día A etapa de Filtración
Filtración	343 m ³ /día Desde Flotación	342m ³ /día A etapa de Filtración
Osmosis Inversa	342 m ³ /día Desde filtración	171m ³ /día Agua de producto desalinizada
		70m ³ /día Salmuera a lavado de filtros / Descarga al mar
		101m ³ /día Salmuera / Descarga al mar

Fuente: MINERA ESCONDIDA LIMITADA (2004)

Como el proyecto fue presentado con una duración de 1 año, y es solo una planta piloto, la empresa concluye que la descarga de efluentes líquidos al medio ambiente marino tendría un área de influencia de 100 metros muy limitada espacialmente donde el efecto provocado sobre el medio receptor

sería marginal tanto en cantidad como en duración, con respecto al de planta industrial donde se localiza, y a su vez cumpliría con el D.S. N°90/2001 de descarga de efluentes a aguas marinas.

e) Planta Desalinizadora de Antofagasta, II Región

El proyecto "Planta Desalinizadora de Antofagasta, II Región", consiste en la construcción y operación de una planta de tratamiento de agua de mar con el fin de obtener agua potable para satisfacer significativamente la demanda por este elemento en la región de Antofagasta. El proyecto consiste en desalar agua de mar a través del proceso de osmosis inversa y considera además la instalación de un emisario submarino que devuelva al mar el rechazo de agua portadora de las sales. La empresa proponente de este proyecto es de Aguas de Chile Ltda., compañía subsidiaria de CMS ENERGY. Se estima que el proyecto requiere una inversión de US\$ 90 millones, para producir 1.000l/s de agua potable. Una expansión a 1.400 l/s requeriría aproximadamente US\$36 millones adicionales (SGA IBERSIS S.A., 1998).

El proyecto "Planta Desalinizadora de Antofagasta, II Región", se localiza en caleta Lenguado, comuna y provincia de Antofagasta, II Región. El sitio del proyecto se encuentra inmediatamente al sur de las instalaciones industriales de Escondida en Coloso y se caracteriza por tener aguas libres de descargas de aguas servidas de la ciudad de Antofagasta (las sustancias orgánicas afectan el proceso), lo que asegura una operación más confiable de la

planta. Además, al estar la planta en caleta Lenguado, existe la posibilidad de proveer de agua potable a puntos intermedios entre la planta y los estanques de ESSAN, ubicados al sur de Antofagasta, a 12 km de la planta de desalinización.

El insumo central del proyecto, el agua de mar se obtiene mediante tuberías captadoras dispuestas en el fondo marino, a una profundidad de 10m. El agua es acondicionada en la toma (boca de tubería de captación) con hipoclorito de sodio, con el fin de cumplir con los requisitos de calidad de agua a tratar exigidos por las membranas del proceso de osmosis. El proceso de desalinización (eliminación de sales) del agua de mar a utilizar se denomina osmosis inversa, y consiste en el bombeo de agua de mar a una alta presión a través de membranas semipermeables que retienen las sales y dejan pasar solamente agua dulce (SGA IBERSIS S.A., 1998). La salmuera producida por el proceso de osmosis inversa será devuelta al mar en forma gravitacional mediante una tubería, dispuesta en el fondo marino. Se descargará 4.650m³/h de salmuera (cuando se produzca 925 l/s de agua potable).

Junto con la descarga de salmuera al mar, se descargarán las aguas de lavado de filtros, que poseen componentes químicos que al mezclarse con la descarga se neutralizan, y el efluente tratado de la planta de tratamiento de aguas servidas. En la Tabla 24 se presentan los iones que componen el efluente. El nivel de iones en el efluente es aproximadamente un 72% superior que las concentraciones en el agua de alimentación. Asimismo, se

espera que la temperatura de la descarga sea 2-3°C superior a la temperatura natural del agua de mar.

Tabla 24. Composición Química del Efluente.

Parámetros	Aguas de rechazo (efluente)
CATIONES (mg/l como ion)	
Ca ⁺⁺	632,9
Mg ⁺⁺	2.115,60
Na ⁺⁺	19.020,70
K ⁺	1.261,10
Sr ⁺⁺	22,7
ANIONES	
HCO ₃ ⁻	224,6
Cl ⁻	34.480,90
SO ₄ ⁼	4.283,60
F ⁻	0,4
NO ₃ ⁻	25,4
PO ₄ ⁼	N/A
TDS	62.069,90
PH	7,2
Conductividad	N/A

Fuente: SGA IBERSIS S.A., (1998)

Producto de la descarga de agua salobre en el mar, la empresa declara que el efecto que eventualmente se podría producir sería el incremento de la salinidad en el agua de mar, pero que no tendría efectos ambientales. Sin embargo, en la DIA se propone un Proyecto de Vigilancia Ambiental, en donde se consideraría realizar monitoreos semestrales (otoño-invierno y primavera-verano) en tres estaciones oceanográficas donde se realizarían mediciones de: oxígeno disuelto, salinidad, temperatura, pH, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, análisis de comunidades intramareales tanto en el sustrato blando como en el rocoso y las comunidades submareales, siguiendo la metodología utilizada para levantar la línea de base del proyecto

y que sería sometido a aprobación de la autoridad pertinente antes de su aplicación y una vez construida la planta y previo a su operación (SGA IBERSIS S.A., 1998). Sin embargo, hasta la fecha no han sido publicados los resultados de este plan de vigilancia.

f) Planta Desaladora de Agua de Mar Antofagasta - La Chimba

La Declaración de Impacto Ambiental del proyecto “Planta Desaladora de Agua de Mar de Antofagasta II Región - Chile” de Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta S.A fue calificado como favorable por la COREMA, II Región por medio de la Resolución Exenta N°228/2001.

El proyecto consistiría en el diseño, construcción de obras civiles, suministro y montaje de equipos e instrumentos, puesta en marcha y operación de una planta desaladora de agua de mar mediante la tecnología de osmosis inversa, destinada a la producción de agua potable para satisfacer el incremento de demanda en la población de la ciudad de Antofagasta. El terreno en donde se emplazan las obras correspondientes a la Planta Desaladora de Agua de Mar se ubica en la zona denominada Caleta La Chimba, junto a la isla Guamán, al norte del núcleo urbano de la ciudad de Antofagasta. El monto total estimado de inversión para el Proyecto será de US\$ 30 millones (EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A, 2001).

El proyecto se desarrolló en 4 fases, incrementando la capacidad máxima de producción hasta 52.000 m³/día, como se observa en la Tabla 25. La

descarga de salmuera tendrá un caudal de 13.423 m³/día en su fase inicial y aumentaría a 53.591 m³/día, cuando esté en su capacidad máxima de funcionamiento.

Tabla 25. Balance diario de Masas de Agua por fases. Planta Desaladora de Agua de Mar de Antofagasta.

Etapa de operación	Capacidad Nominal	Toma de Agua de mar		Descarga de Salmuera		Producción Agua Potable	
	L/s	L/s	M ³ /día	L/s	m ³ /día	L/s	m ³ /día
Fase I	150	306	26.423	155	13.423	150	13.000
Fase II	300	612	52.846	311	26.846	301	26.000
Fase III	450	917	79.268	466	40.268	451	39.000
Fase IV	600	1.223	105.691	621	53.691	602	52.000

Fuente: EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A, 2001.

La obra gruesa cuenta con una captación de agua de mar que corresponde a un ducto de 350 metro de longitud y 1.600mm de diámetro y el proceso de desalación corresponde a Osmosis Inversa, provocando una salmuera que se descarga por gravedad a un emisario de descarga marino de 200m de longitud y 1200 mm de diámetro, también en la zona de La Chimba. La salmuera de rechazo corresponde a agua de mar concentrada (70g/L) y sin incremento de su temperatura (EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A, 2001).

El proyecto en su DIA declara que no provocará riesgos en las aguas de mar ni en la flora o fauna marina, pero que adjunta en Anexo N° 2 de Addendum N°1, la caracterización físico – química y bacteriológica de la descarga al mar y la comparación con los límites máximos que establece el Decreto Supremo

N° 90/2001 para descarga de residuos líquidos fuera de la zona de protección del litoral, dicho documento no se encuentra a libre disposición.

Durante la operación la empresa se compromete a realizar un plan de muestreo a las aguas crudas, tratadas y de rechazo, el cual debe tener el análisis diario de: pH, temperatura, conductividad/salinidad, amoníaco, cloro residual, coliformes totales y fecales y análisis mensuales físico-químicos entre otros (EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A, 2001). Estos planes de monitoreos no se encuentran a libre disposición, solo una visita de fiscalización a la planta desaladora en abril de 2003 que declara que la planta aún se encontraba en marcha blanca, por lo cual, pasando esa etapa, el titular debiese comenzar con los informes mensual de seguimiento ambiental.

En el año 2014, Aguas de Antofagasta S.A, presenta la Declaración de Impacto Ambiental al proyecto “Actualización y Ampliación Planta Desaladora La Chimba”, con el fin de aumentar el caudal de producción de agua potable de la desaladora, pasando de una producción a esa fecha de 600l/s hasta 850l/s, para cubrir la demanda por la población de la ciudad de Antofagasta (GHD, 2013).

Con dicha ampliación el proyecto produciría salmuera de similares características ya generadas con la planta desaladora, generando solo un aumento de caudal máximo de 1.217m³/hora y que serían vigilados por los planes de monitoreos que se comprometió a entregar el proyecto inicial.

g) Planta Desaladora Sur Antofagasta

La Declaración de Impacto Ambiental del proyecto “Planta Desaladora Sur Antofagasta” de Aguas Antofagasta S.A fue calificado en el año 2012 como favorable por la Comisión de Evaluación Ambiental, II Región por medio de la Resolución Exenta N°208/2012.

El objetivo del proyecto se enmarca en el plan estratégico de Aguas Antofagasta S.A. el cual consiste en tener un sistema de producción de agua potable sustentable en el tiempo dado la escasez de agua corriente de cordillera; para ello, el proyecto pretende la construcción de una nueva planta desaladora de agua de mar, que abastezca la demanda que, para esa fecha, satisface la ciudad con agua de cordillera (40% del total) más el aumento estimado de la demanda en un horizonte de 20 años. El monto de inversión fue de US\$ 120 Millones (GHD, 2011). Para esa fecha, la ciudad de Antofagasta estaba siendo abastecida en aproximadamente un 45% por agua desalada proveniente de la planta desaladora La Chimba, la que a su capacidad máxima podría abastecer hasta un 60% de la demanda actual de la ciudad.

La planta desaladora se ubicaría en el sector sur de la ciudad de Antofagasta, a diferencia de la planta La Chimba que está ubicada en el sector norte de la ciudad, con la finalidad de disminuir el riesgo de falla en el suministro de agua potable a la ciudad por causas externas, tales como: problemas de suministro eléctricos, contaminación marina u otro factor exógeno a la operación de la planta, ya que al ubicar las plantas desaladoras

en distintos sectores y ante la ocurrencia de los factores externos anteriormente señalados, se podrá reducir la probabilidad de falla total del sistema de producción de agua potable (GHD, 2011).

Los efluentes líquidos para descargar durante la operación del proyecto, corresponden al descarte de salmuera producido en el proceso de osmosis inversa, más los efluentes tratados provenientes del lavado de membranas y al efluente decantado proveniente del lavado de los filtros de arena, que serían evacuados a través de un emisario con difusor de descarga que estará ubicado en el fondo marino fuera de la zona de protección litoral. La DIA establece que las características del efluente de descarga, como se observa en la Tabla 26, cumpliría con los límites máximos establecidos en D.S 90/2001. La fase de operación tenía fecha de inicio para noviembre 2013.

El caudal por evacuar por la descarga será de 4.466 m³/h. La descarga de salmuera será continua durante toda la vida útil del proyecto y se realizará en el mar, y el sitio de descarga corresponde a un área que no presenta usos relacionados con actividades humanas que puedan estar en riesgo producto de la descarga de salmuera (GHD, 2011).

Tabla 26. Características del efluente de descarga.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO			
pH	7,64		
CONDUC.a 20°C	75.652,41	µmhos/cm.	
T.D.S.	59.119,25	mg/L	
ALCALINIDAD	231,34	ppm CO3Ca	
T.A.C.	11.453,51	ppm CO3Ca	
TEMPERATURA	13,6°C		
COLOR	Pt-Co		
TURBIDEZ	U.N.F.		
SUSTANCIAS TÓXICAS	mg/L	MATERIA ORGÁNICA Y OTROS	mg/L
Arsénico	0,07	DBO5	1,93
Cadmio	0	DQO	0,83
Boro	6,85	Nitrógeno Proteico	0
Mercurio	0	Compuestos fenólicos	0
Plomo	0	Detergentes	0
Selenio	0	Aceites y Grasas	0
Cromo(total)	0	Hidrocarburos	0
CromoVI	0	Sólidos en suspensión	0,04

Fuente: (GHD, 2011)

La empresa pretende supervisar y controlar el cumplimiento normativo de los efluentes de la descarga de salmueras provenientes de la planta de procesos de la desaladora sur de Antofagasta, con el fin de asegurar que las variables ambientales relevantes de la columna de agua de la zona de descarga del efluente se mantengan en condiciones similares a las condiciones sin proyecto y cumpla la normativa vigente, correspondiente las concentraciones de descargas del D.S 90/2001(Tabla 27). Sin embargo, la DIA del proyecto no

considera la suscripción a compromisos ambientales voluntarios (GHD, 2011).

Tabla 27. Programa de Vigilancia Ambiental en Operación.

MATRIZ AMBIENTAL	N° DE ESTACIONES	ESTACIONES	VARIABLES	FRECUENCIA
Caracterización efluente	1	Cámara de muestreo ubicada en Edificio de Procesos	Muestreo para acreditar cumplimiento Tabla N°5 D.S. N°90/00	Mensual
Pluma de salmuera	33	33 estaciones de muestreo, dispuestas en 8 ejes radiales en torno a la descarga de salmuera a 0m, 25m, 50m, 75m y 100m con una estación de control	Perfil de temperatura y salinidad	Semestral
Fauna bentónica fondos duros submareales e intermareal	4 (transectos)	TN1 - T0 - TS1- Control TN2	Listados especies, Abundancia, Diversidad, Dominancia, Riqueza y Uniformidad	Semestral

Fuente: GHD (2013)

8.1.3.2 Fiscalizaciones, Monitoreos y Seguimientos

De acuerdo con la información del Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental, y del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Los proyectos descritos en este estudio para la comuna de Antofagasta no presentan a acceso público los resultados de los planes de monitoreo ambiental de sus instalaciones, ni tampoco existe registro de fiscalización disponible de los impactos de sus operaciones en aguas marinas.

8.1.4 Bahía de Taltal

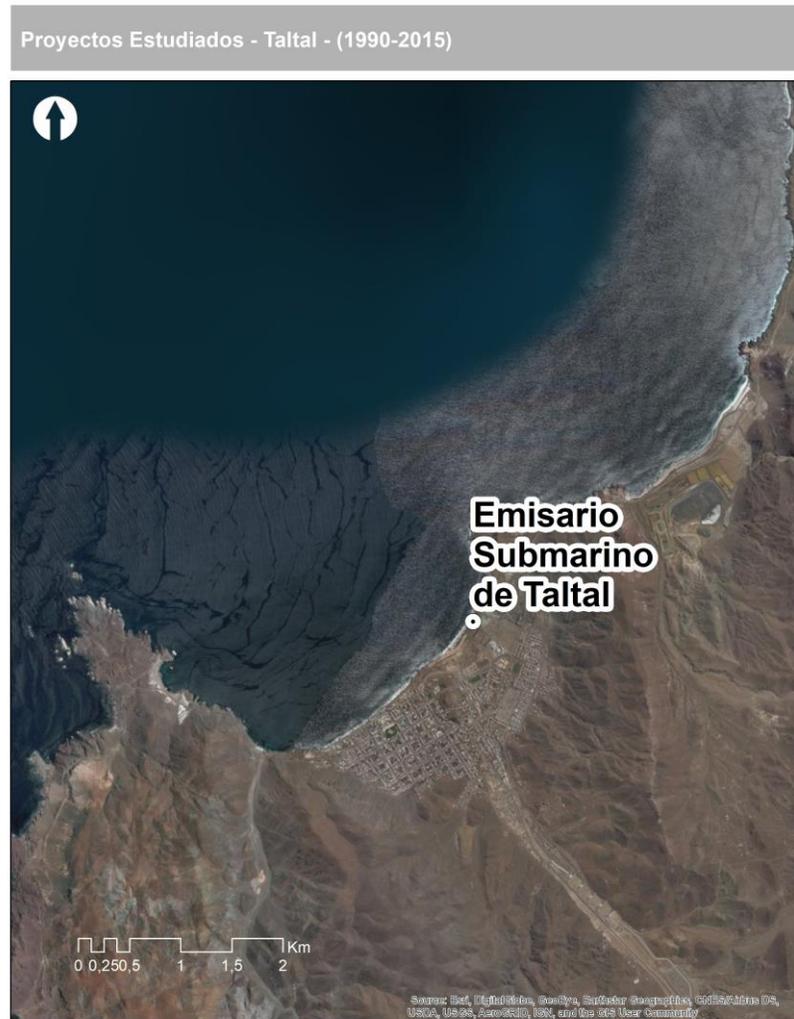
La comuna de Taltal, localiza una central termoeléctrica de ciclo combinado Taltal localizada a 55km al norte de la ciudad de Taltal y a 2 km al norte de Paposo, con una potencia instalada de aproximadamente 370MW de potencia neta. Este proyecto termoeléctrico es de la filial ENDESA y está hecha con el objetivo de satisfacer la demanda de la zona Centro Sur del país en tiempos de sequía. Esta fue aprobada en el año 1998 y las Fase I y Fase II del proyecto en el año 2000. Como la localización del proyecto está fuera de la bahía de Taltal, no entrará en el área de estudio.

8.1.4.1 Caracterización de Proyectos en Taltal (1990 – 2015).

De los proyectos localizados en la bahía de Taltal, solo uno declara emisiones liquidadas al medio submarino.

El proyecto "Emisario Submarino de Taltal" de la Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta, ESSAN S.A., se presentó a la COREMA II Región y fue aprobado en la Resolución Exenta N°022/1999, por cumplir todos los requisitos aplicables y la normativa en materia ambiental. La inversión del proyecto se estimó en US\$1,8 Millones para ser ejecutada en el año 1999.

Figura 19 Localización Proyectos - Taltal



Fuente: Elaboración propia en base a información del SEA Chile (2017)

Este proyecto formaba parte del proyecto "Mejoramiento Integral del Alcantarillado de Taltal y Saneamiento Costero" como solución al problema sanitario que presentaba la ciudad en esa fecha, con el fin de aplicar un mejoramiento de las condiciones ambientales, el cual contiene medidas para el control y reducción de la contaminación en el borde costero y contempla la construcción de colectores, plantas elevadoras y un emisario submarino para la evacuación de las aguas servidas, localizado fuera de la zona de

protección litoral (ESSAN S.A., 1999). Con respecto al emisario submarino de 1.000 metros de longitud y una profundidad de 41 metros, localizado en Caleta Ossa, en el norte de la ciudad, emitirían una descarga de efluentes, que para su calidad contarían con un sistema de tratamiento preliminar. El caudal estimado de aguas servidas se estima en 22,2l/s y un caudal máximo de 61,4 l/s.

Dentro de los factores ambientales posiblemente impactados por el emisario submarino en la etapa de construcción, producto de la instalación del proyecto se encuentra el deterioro temporal de la calidad de agua causada por contaminación por derrames involuntarios de aceites o combustibles, y está catalogado como impacto localizado de baja magnitud. A su vez, producto de la contaminación de la bahía de Taltal al momento de proponer el proyecto, la instalación del emisario traería impactos positivos como el mejoramiento en la calidad del agua y la eliminación de la contaminación orgánica del fondo marino (ESSAN S.A., 1999).

Con respecto al plan de monitoreo ambiental propuesto por la empresa sanitaria, orienta un Plan de Restauración Ambiental para el componente oceanografía referente a la calidad del agua. Para el caso de derrames de volúmenes considerables, la empresa recurrirá a medidas de limpieza que no detalla en su propuesta. Para aquellas emergencias producto de la ruptura de las instalaciones el proyecto declara que el medio marino será capaz de auto depurarse, con respecto a los riesgos de pérdida del medio biótico no considera medidas de prevención.

Para el Plan de Seguimiento Ambiental en el medio físico y su componente oceanográfico, se orientaría a la realización de análisis periódicos de calidad de las aguas servidas pretratadas, descargadas al mar a través del emisario submarino y a un diagnóstico en la calidad de las aguas del cuerpo receptor, comparándolas con los resultados obtenidos en la línea de base en la franja litoral. El monitoreo contaría con 10 estaciones de muestreo que medirán en la columna de agua superficial las variables de: grasas y aceite, DBO₅, coliformes totales y fecales, sólidos suspendidos, turbiedad, color y pH (ESSAN S.A., 1999), éstas estaciones de muestreo se localizarían en toda la bahía de Taltal.

8.1.4.2 Fiscalizaciones, Monitoreos y Seguimientos

La información entregada por el Servicios de Evaluación Ambiental declara que el proyecto de la sanitaria tiene una visita inspectiva con fecha 5 de octubre de 1999, pero no da informes de monitoreos. Con respecto al Sistema de Información de Fiscalización Ambiental, solo se han fiscalizados en la comuna proyectos relacionados con Minería y Energía, no existe fiscalización para este proyecto.

8.2 Caracterización de la calidad de agua de mar en la Región de Antofagasta

Las variables de clorofila, sólidos en suspensión y turbidez fueron obtenidas por el modelo descrito para cada una en la metodología, para realizar la caracterización de los indicadores en cada una de las bahías seleccionadas y obtener resultados comparativos de acuerdo con el promedio normalizado obtenido en el periodo de estudio.

La caracterización de cada variable es relativa y se realizó en las bahías de Algodonales (Tocopilla), Mejillones, Antofagasta (sector la Chimba) y Taltal, compuestos por puertos, sectores de descarga de centrales termoeléctricas, zonas de infraestructura industrial, frente a zonas residenciales y los núcleos urbanos.

8.2.1 Clorofila. Resultados y tendencias. Periodo 1990 – 2015

Las tendencias para la variable de clorofila construida en los sectores seleccionados se sintetizan en la Tabla 28. En ella se pueden ver los diferentes valores que alcanza el indicador en el periodo analizado. En el Gráfico 2 son más evidentes los comportamientos diferenciados, según tipo de bahía. La unidad de medida del indicador es relativo, debido a que es necesario calibrar in situ para obtener una unidad de medida real.

Tabla 28. Resultados obtenidos para clorofila. Periodo 1990 – 2015.

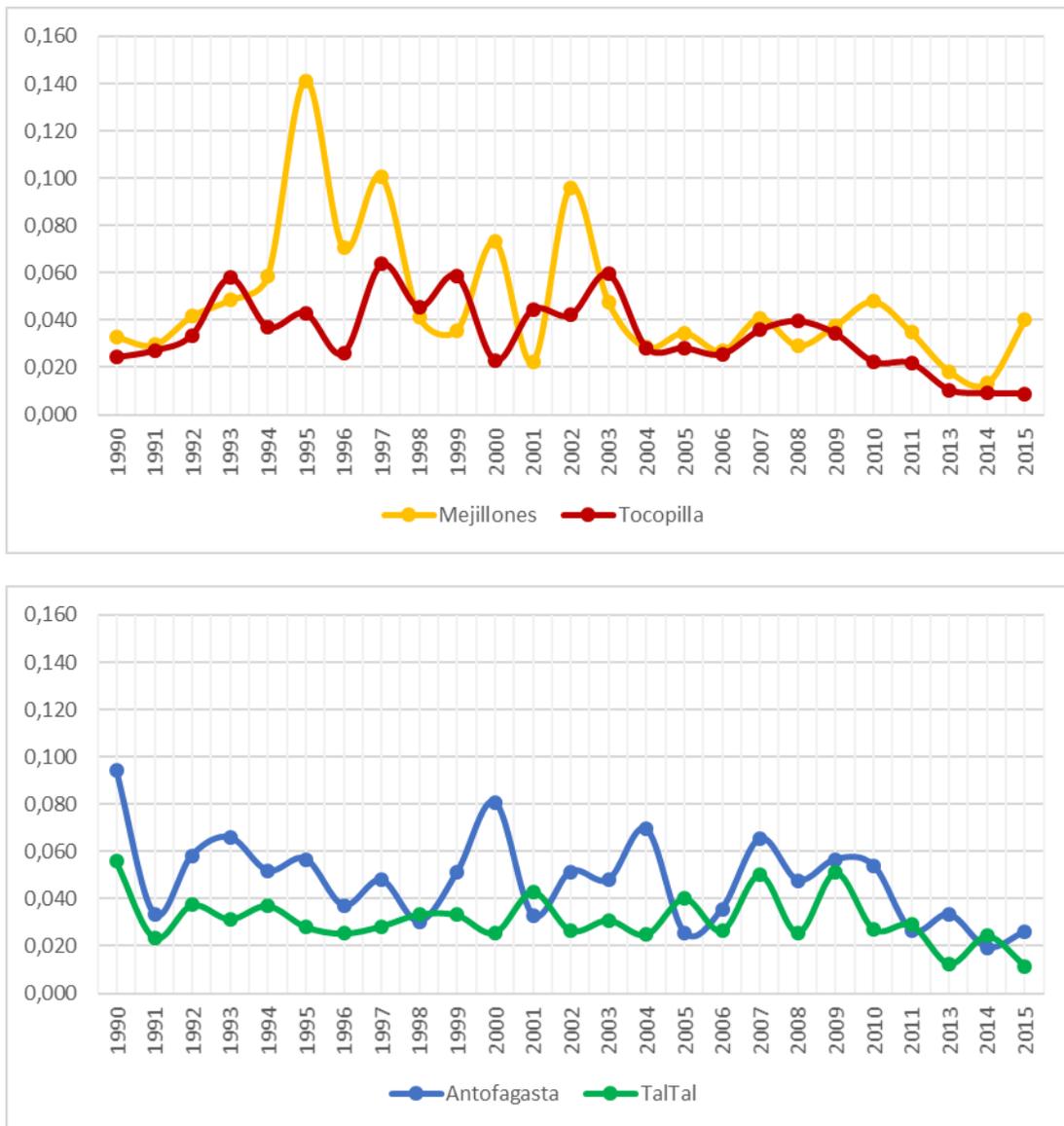
Año	Ciudad			
	Antofagasta	Mejillones	Taltal	Tocopilla
1990	0,094	0,033	0,056	0,024
1991	0,034	0,029	0,024	0,027
1992	0,058	0,042	0,037	0,034
1993	0,066	0,048	0,031	0,058
1994	0,052	0,058	0,037	0,037
1995	0,057	0,141	0,028	0,043
1996	0,037	0,071	0,025	0,026
1997	0,048	0,101	0,028	0,064
1998	0,030	0,041	0,033	0,046
1999	0,051	0,036	0,033	0,059
2000	0,081	0,073	0,026	0,023
2001	0,033	0,022	0,043	0,044
2002	0,051	0,096	0,027	0,042
2003	0,048	0,048	0,031	0,060
2004	0,069	0,028	0,025	0,028
2005	0,026	0,035	0,040	0,028
2006	0,036	0,027	0,027	0,026
2007	0,065	0,041	0,050	0,036
2008	0,048	0,029	0,026	0,040
2009	0,057	0,038	0,051	0,034
2010	0,054	0,048	0,027	0,022
2011	0,027	0,035	0,029	0,022
2013	0,033	0,018	0,013	0,010
2014	0,019	0,013	0,024	0,009
2015	0,026	0,040	0,012	0,009

Fuente: Elaboración Propia, (2017)

En el Gráfico 2 se puede apreciar que la bahía de Algodonales de la comuna de Tocopilla y la bahía de Mejillones son los sectores que alcanzan los valores más altos y fluctuantes en el indicador, mientras que Antofagasta y Taltal representan valores bajos. También se pueden observar que los ciclos no son homogéneos en todos los sectores estudiados. Esto se aprecia en el caso del sector de Mejillones, que presentan contra cíclico a las zonas con valores extremos durante la mayoría del periodo contemplado, el caso de Taltal presenta una tendencia homogénea y poco oscilante durante el periodo en estudio con valores entre 0,020 y 0,040.

Los años que presentan valores extremos para Mejillones se presentan en los años 1995, 1997, 2000, 2002 siendo la bahía que presenta mayor variación de clorofila. Para la comuna de Tocopilla el descenso del valor referencial de clorofila comienza en el año 2008.

Gráfico 2. Comportamiento temporal y tendencias lineales de la clorofila por ciudad referencial. Periodo 1990 – 2015.

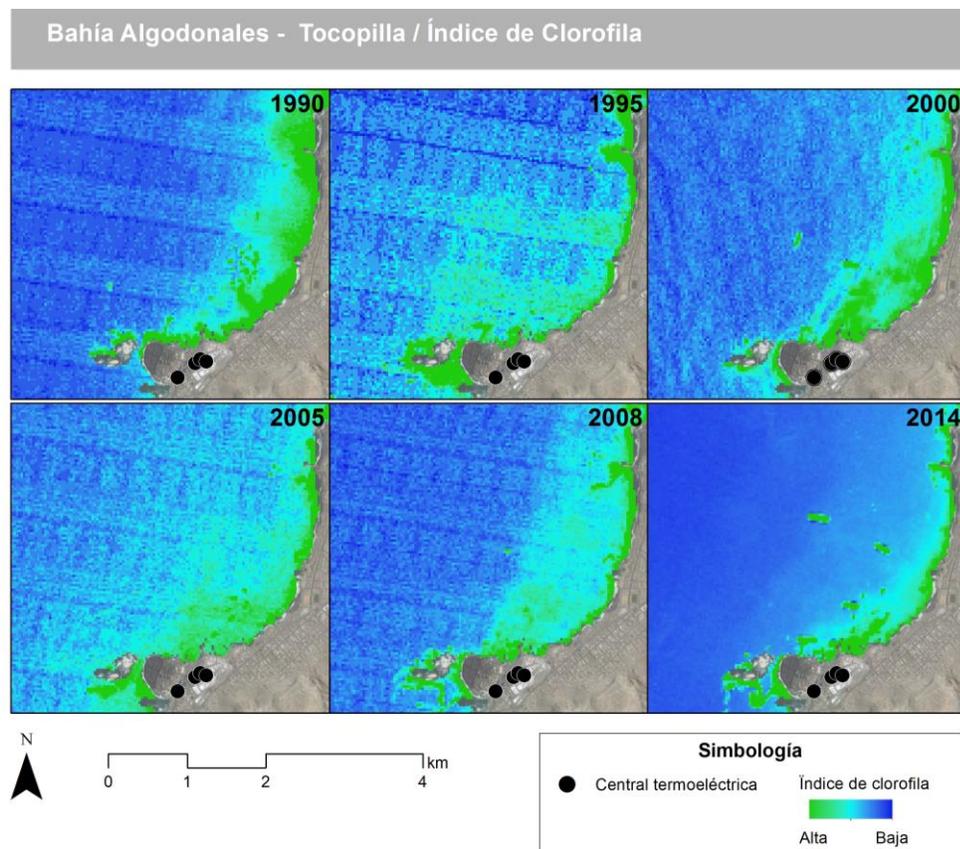


Fuente: Elaboración Propia (2017)

Al cartografiar la variable en estudio se pueden observar claras diferencias en el comportamiento temporal de la clorofila.

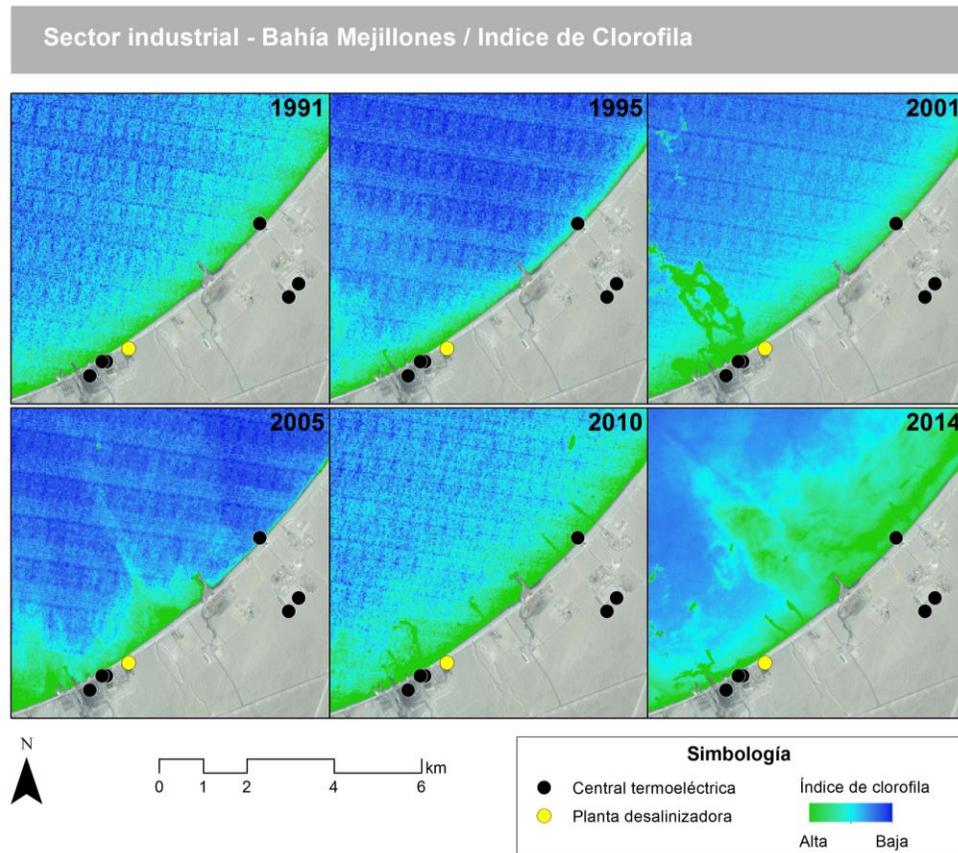
La distribución de la clorofila en la bahía de Algodonales (Mapa 7) se observa en todos los casos como a medida que aumenta la distancia de la orilla de la costa, la concentración de la clorofila va disminuyendo. Se observa como la variación espacio temporal, se ve influencia por la localización de las centrales termoeléctricas en la bahía, en todos los casos la concentración de clorofila se presenta en el sector industrial de Punta Algodonales y disminuye en el sector norte de la bahía.

Mapa 7. Clorofila - Bahía Algodonales



Fuente: Elaboración Propia (2017)

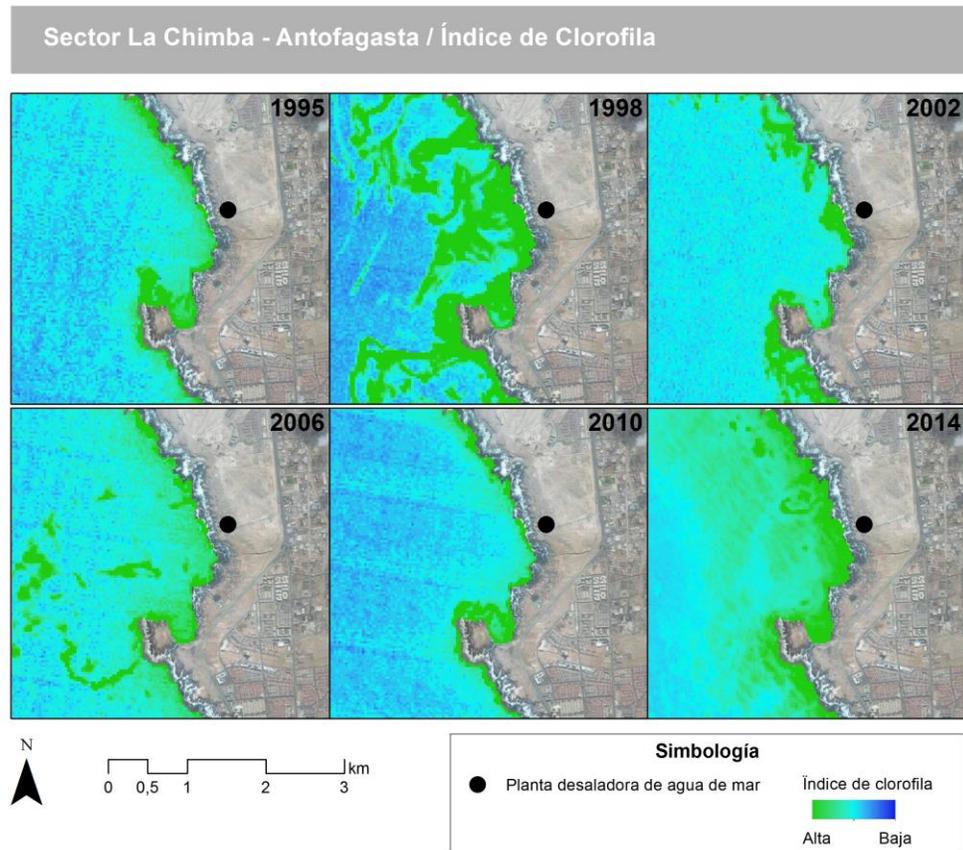
Mapa 8 Clorofila – Sector Industrial Mejillones



Fuente: Elaboración Propia (2017)

El sector industrial de la bahía de Mejillones (Mapa 8), presenta un aumento en concentración de clorofila al comparar los resultados de los años 1991 y 2014, se observa como la instalación de emisarios submarinos, cuya liberación de materia orgánica al mar, modifica las condiciones de la clorofila en la costa, provocando que en una zona donde habría que esperar baja concentración, se presenten altos niveles de concentración lejanos a la línea de costa.

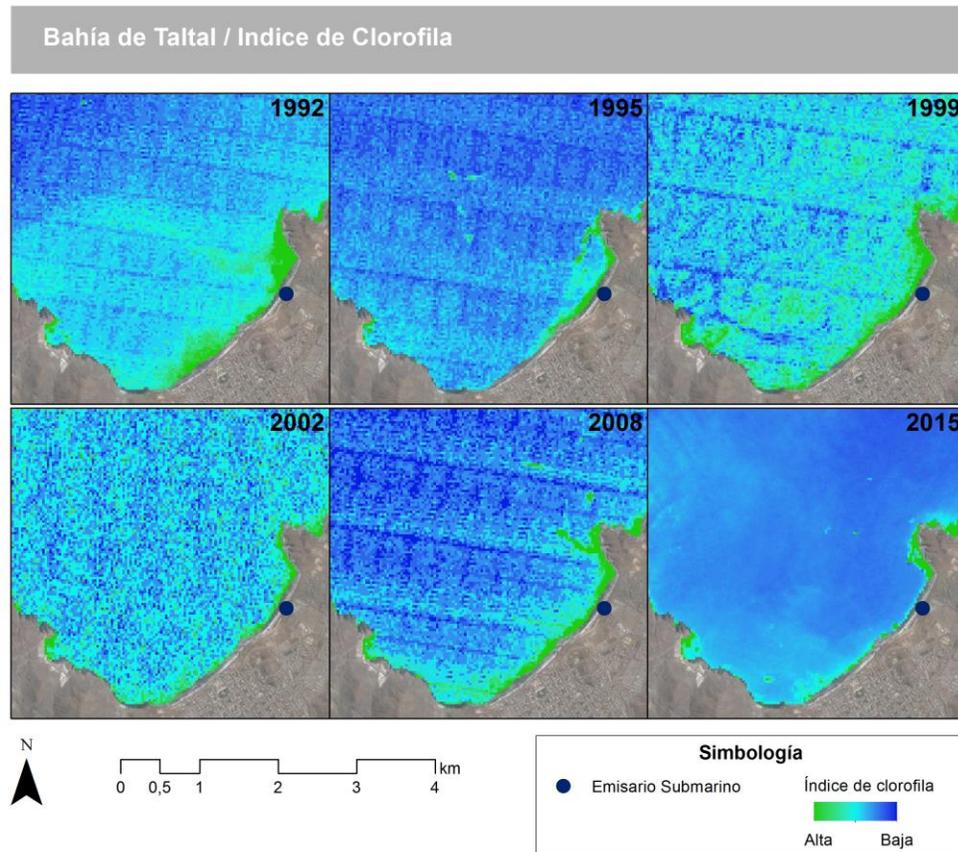
Mapa 9 Clorofila – Sector La Chimba



Fuente: Elaboración Propia, (2017)

Para el caso del sector de la Chimba, en la bahía de Antofagasta (Mapa 9), donde se localiza la planta desaladora de agua de mar, el índice de clorofila varía para todos los años entre media y alta concentración, que es todo lo contrario a lo que se observa en la bahía de Taltal (Mapa 10), que presenta una tendencia baja concentración de clorofila en sus costa.

Mapa 10 Clorofila - Bahía Taltal



Fuente: Elaboración Propia, 2017

8.2.2 Sólidos en Suspensión. Resultados y tendencias. Periodo 1990 – 2015

Las tendencias observadas para los sólidos en suspensión de los sectores seleccionados se sintetizan en la Tabla 29. En ella se pueden ver los diferentes valores que alcanza el indicador en el periodo analizado. En el Gráfico 3 son más evidentes los comportamientos diferenciados, según localidad. La unidad de medida del indicador es relativa, debido a que es necesario calibrar con datos in situ para obtener una unidad de medida real.

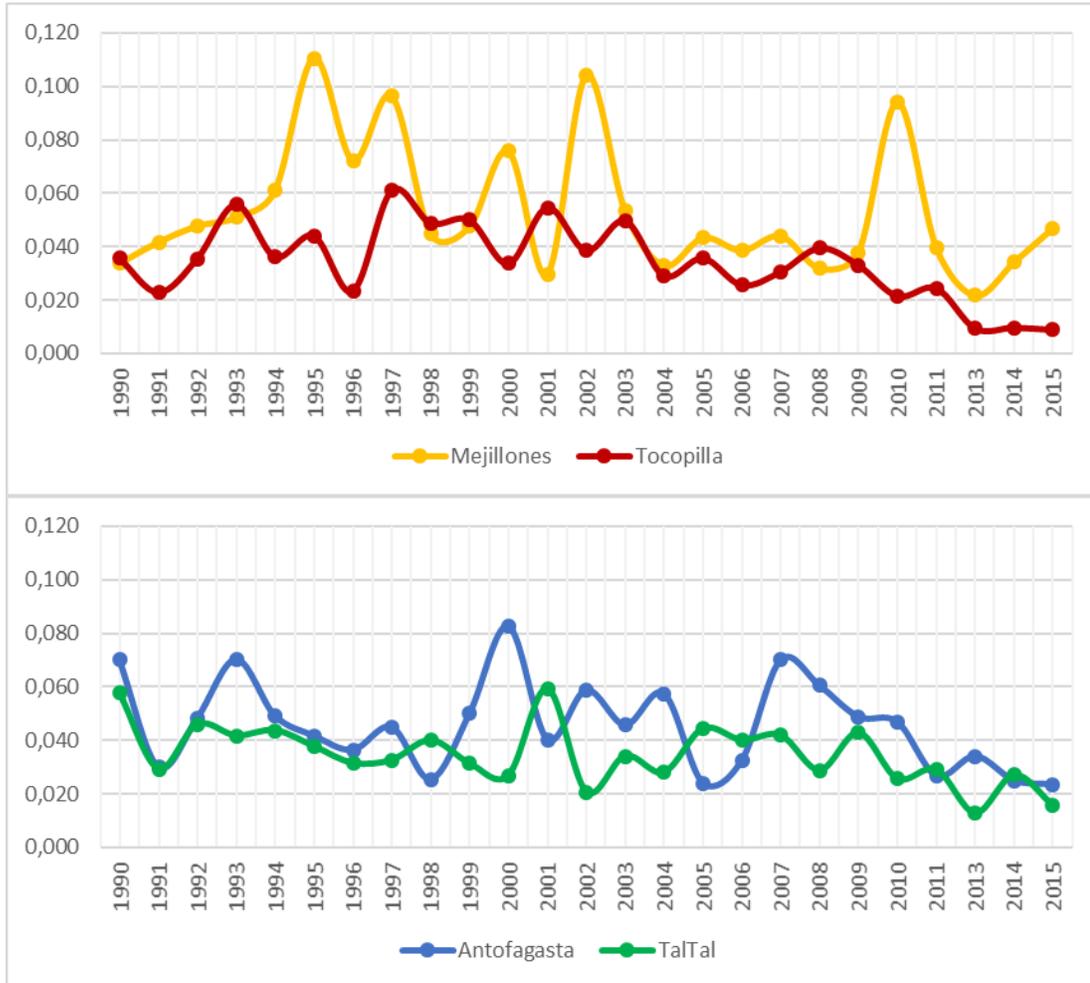
Tabla 29. Resultados obtenidos para Solido en Suspensión. Periodo 1990 – 2015.

Año	Ciudad			
	Antofagasta	Mejillones	TalTal	Tocopilla
1990	0,070	0,034	0,058	0,036
1991	0,030	0,042	0,029	0,023
1992	0,048	0,048	0,046	0,036
1993	0,070	0,051	0,042	0,056
1994	0,049	0,061	0,044	0,036
1995	0,042	0,111	0,038	0,044
1996	0,036	0,072	0,031	0,023
1997	0,045	0,096	0,033	0,061
1998	0,025	0,045	0,040	0,049
1999	0,050	0,048	0,031	0,050
2000	0,083	0,076	0,027	0,034
2001	0,040	0,030	0,059	0,055
2002	0,059	0,104	0,021	0,039
2003	0,046	0,053	0,034	0,050
2004	0,057	0,033	0,028	0,029
2005	0,024	0,043	0,044	0,036
2006	0,032	0,039	0,040	0,026
2007	0,070	0,044	0,042	0,031
2008	0,060	0,032	0,029	0,040
2009	0,049	0,038	0,043	0,033
2010	0,047	0,094	0,026	0,022
2011	0,027	0,040	0,029	0,025
2013	0,034	0,022	0,013	0,009
2014	0,025	0,034	0,027	0,010
2015	0,023	0,047	0,016	0,009

Fuente: Elaboración Propia (2017)

En el Gráfico 3 se puede apreciar que Mejillones y Antofagasta son las bahías que presentan los valores más altos en el indicador, para la bahía de Antofagasta, sector la Chimba se ve un incremento de sólidos en suspensión en el año 2000 y posteriormente en el año 2007. La bahía de Algodonales en Tocopilla presenta una disminución constante desde el año 2008 al 2015. Nuevamente Taltal presenta un valor referencial menores que las demás bahías.

Gráfico 3. Comportamiento temporal y tendencias lineales del sólido en suspensión por ciudad referencial. Periodo 1990 – 2015.

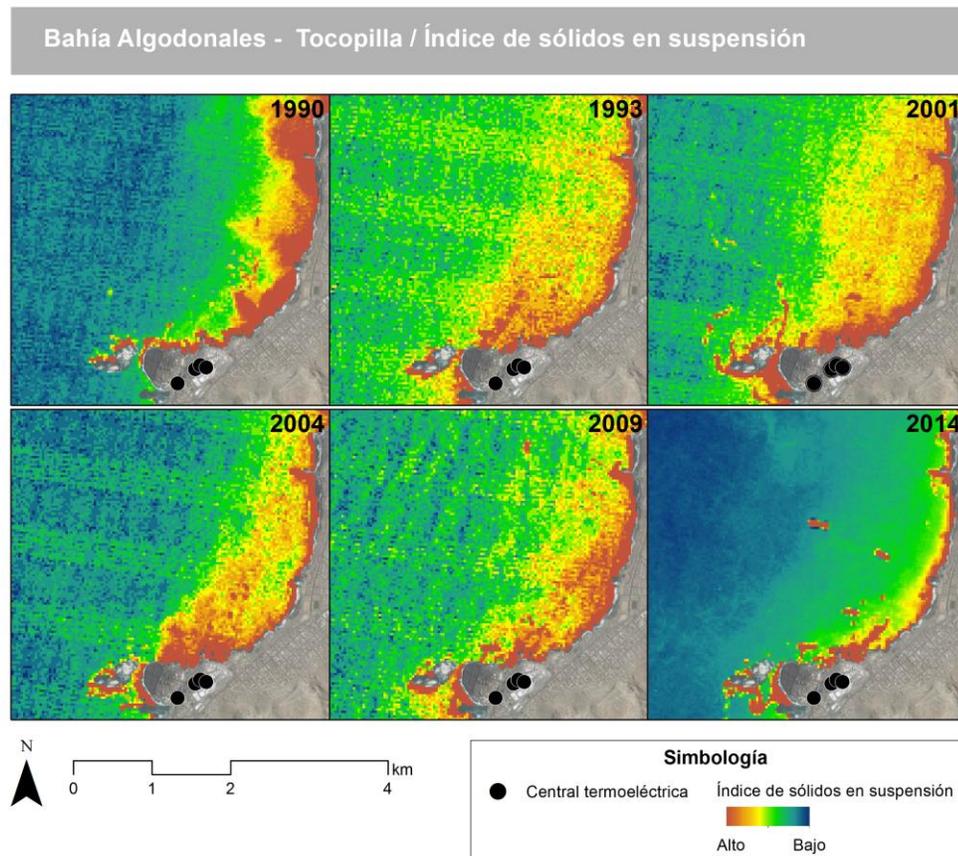


Fuente: Elaboración Propia (2017)

La concentración de sólidos en suspensión en la bahía de Algodonales (Mapa 11) no presenta grandes variaciones, se refleja una alta concentración en el año 1990 que se observa disminuida hacia el año 2014. Sin embargo, existe una distribución relativa de esta variable en la bahía que va principalmente de medio a alto desde el borde costero. En el sector de Punta Algodonales, donde se localizan las centrales termoeléctricas, la

concentración de sólidos en suspensión es homogénea al comportamiento temporal de esta variable en toda la bahía.

Mapa 11 Sólidos en suspensión - Bahía Algodonales

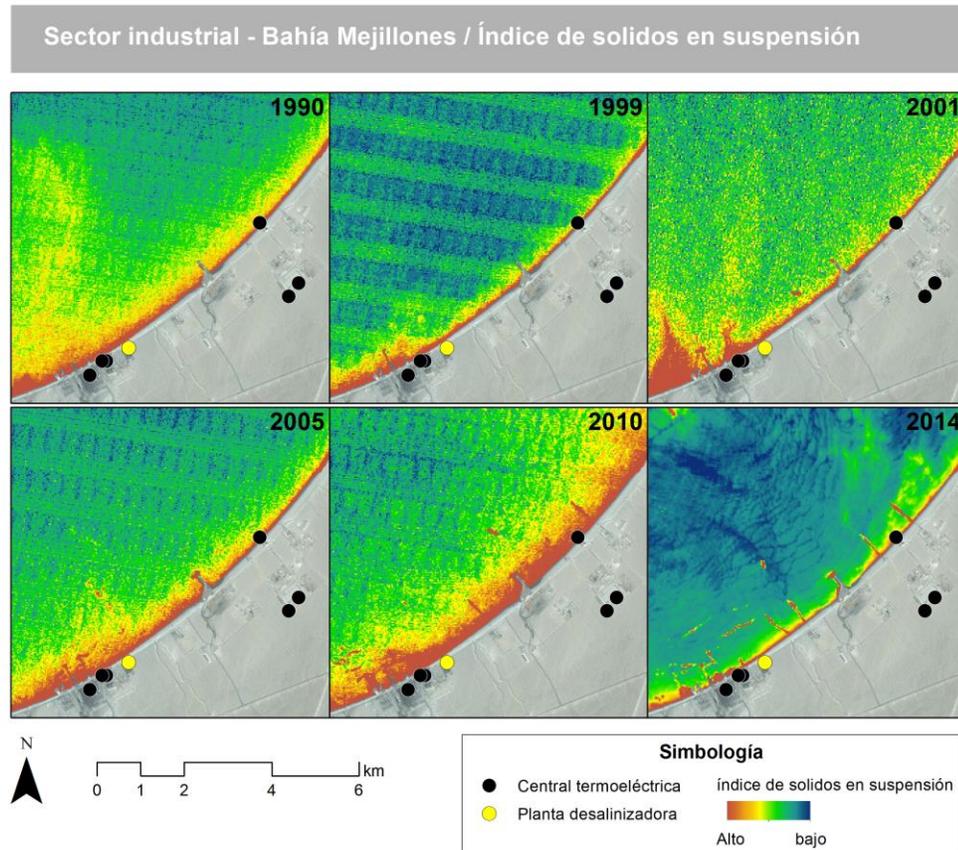


Fuente: Elaboración Propia (2017)

El sector industrial de Mejillones (Mapa 12) refleja la mayor cantidad de sólidos en suspensión a menor profundidad, la acumulación de éstos se da en la orilla de la costa que puede ser respondida por el oleaje y aporte antrópico realizado desde la infraestructura localizada en el borde costero. El año 2104 refleja como la infraestructura en el mar permite la concentración

de sólidos en suspensión alrededor de estas y se refleja el efecto disipador de la marea en la materia suspendida.

Mapa 12 Sólidos en Suspensión – Sector Industrial Mejillones

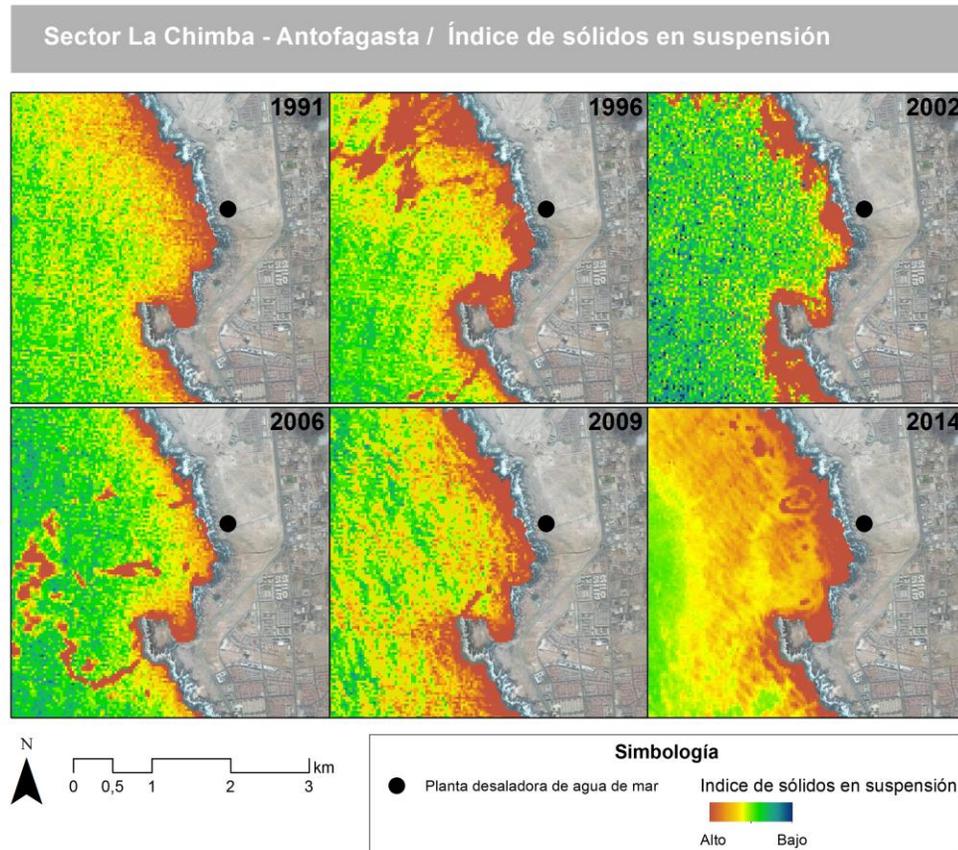


Fuente: Elaboración Propia (2017)

El sector de la Chimba en Antofagasta (Mapa 13), refleja una constante en la acumulación alta de sólidos en suspensión en su línea de costa, lo que refleja que la descarga de salmuera de la planta desaladora no interviene en las acumulación de sólidos en la bahía, como se observa los casos de los años 1990 y 1996 , no presenta una fuerte disminución en la concentración

del índice alto observado en comparación con los años 2009 y 2014 en donde ya estaba en funcionamiento la planta desaladora la Chimba.

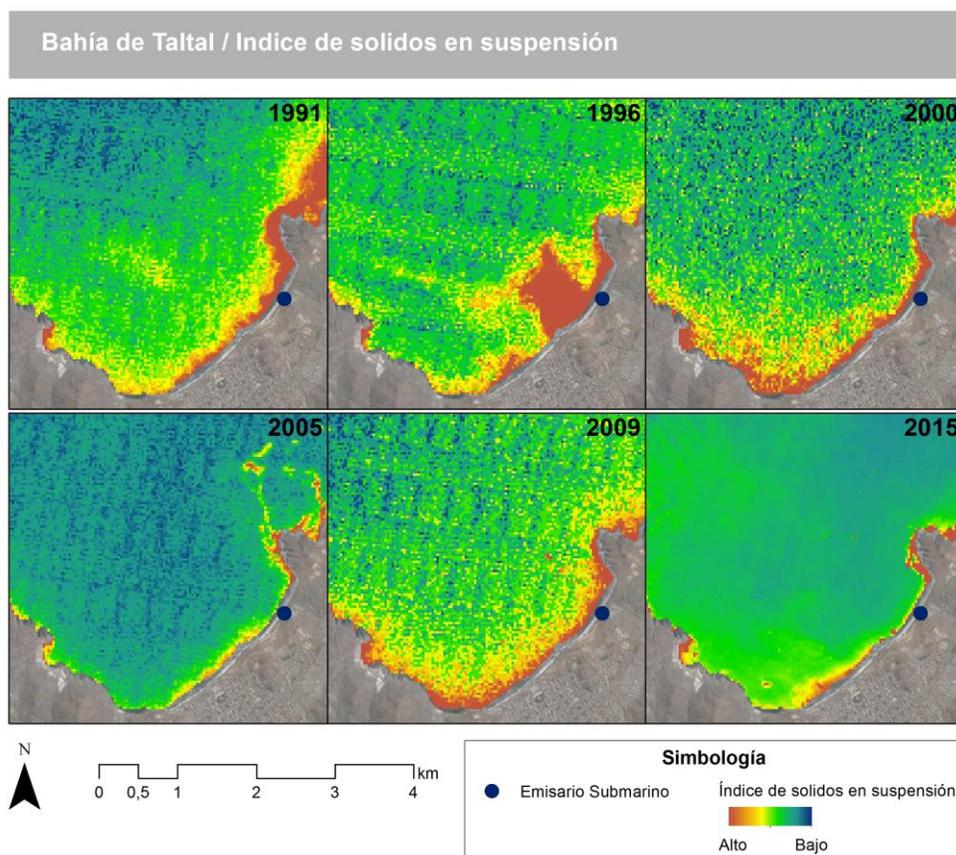
Mapa 13 Sólidos en Suspensión – Sector La Chimba



Fuente: Elaboración Propia (2017)

La bahía de Taltal (Mapa 14 Mapa 22) presenta una evidente disminución en la concentración de sólidos en suspensión, si bien el indicador es relativo, la concentración en la línea de costa para los años 2005, 2009 y 2015 es mucho más baja que la de los años 1991 y 1995, se refleja una concentración constatada en la punta oeste de la bahía que puede ser por la acumulación de material rocoso erosionado característico en este sector.

Mapa 14 Sólidos en Suspensión – Bahía de Taltal



Fuente: Elaboración Propia (2017)

8.2.3 Turbidez. Resultados y tendencias. Periodo 1990 – 2015

Las tendencias observadas para la turbidez del agua construido en los sectores seleccionados se sintetizan en la Tabla 28. En ella se pueden ver los diferentes valores que alcanza el indicador en el periodo analizado. En el Gráfico 4 son más evidentes los comportamientos diferenciados, según tipo de efluente. La unidad de medida del indicador es relativa, debido a que es necesario calibrar para obtener una unidad de medida real.

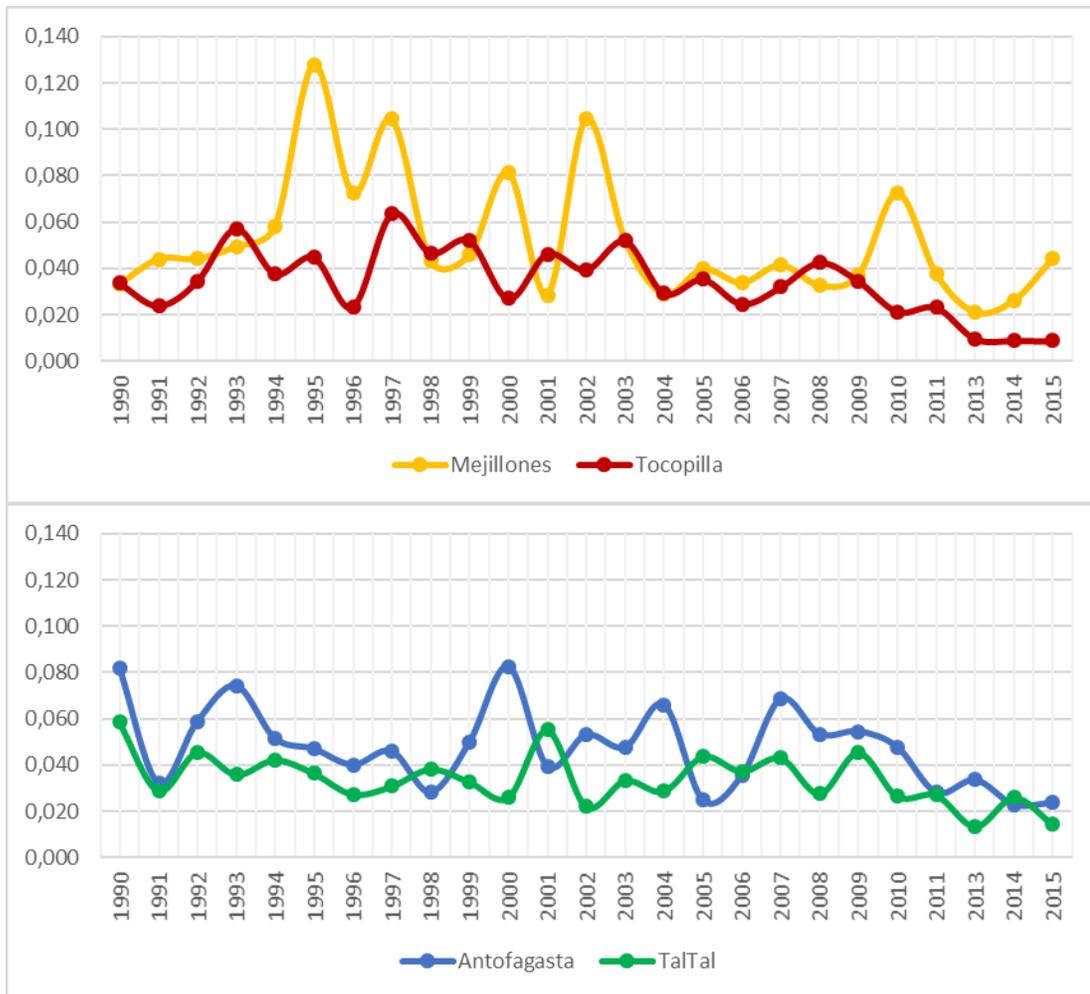
Tabla 30. Resultados obtenidos para Turbidez de agua. Periodo 1990 – 2015.

Año	Ciudad			
	Antofagasta	Mejillones	Taltal	Tocopilla
1990	0,082	0,033	0,059	0,034
1991	0,032	0,044	0,029	0,024
1992	0,059	0,044	0,046	0,034
1993	0,074	0,050	0,036	0,057
1994	0,051	0,058	0,042	0,038
1995	0,047	0,128	0,036	0,045
1996	0,040	0,072	0,027	0,023
1997	0,046	0,104	0,031	0,063
1998	0,028	0,043	0,038	0,047
1999	0,050	0,046	0,033	0,052
2000	0,082	0,081	0,026	0,027
2001	0,040	0,028	0,055	0,046
2002	0,053	0,104	0,022	0,039
2003	0,048	0,052	0,033	0,052
2004	0,066	0,029	0,029	0,029
2005	0,025	0,040	0,044	0,035
2006	0,035	0,034	0,037	0,025
2007	0,068	0,041	0,043	0,032
2008	0,053	0,033	0,028	0,042
2009	0,055	0,037	0,045	0,034
2010	0,048	0,072	0,026	0,021
2011	0,028	0,037	0,027	0,023
2013	0,034	0,021	0,013	0,010
2014	0,023	0,026	0,026	0,009
2015	0,024	0,044	0,014	0,009

Fuente: Elaboración Propia (2017)

En el Gráfico 4 se puede apreciar una oscilación similar que en la variable sólidos en suspensión. En donde nuevamente la bahía de Mejillones presenta los valores máximos en turbidez de agua. La Bahía de Tocopilla en los alcanza su valor relativo más alto en el año 1997 (0,06) y para el más bajo en el año 2015 (0,009). La bahía de Taltal oscila sus valores entre 0,013 y 0,059. Para el caso de Antofagasta su valor máximo se da en el año 2000 (0,082) y el mínimo en el año 2014 (0,023).

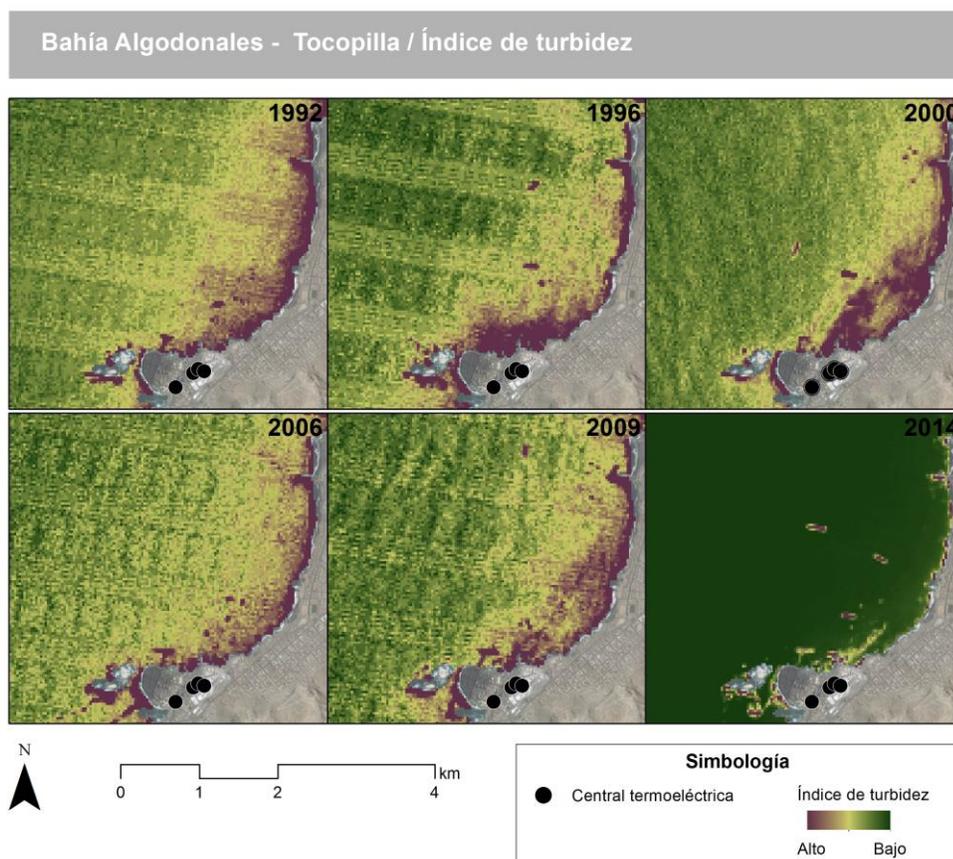
Gráfico 4. Comportamiento temporal y tendencias lineales de la turbidez de agua por ciudad referencial. Periodo 1990 – 2015.



Fuente: Elaboración Propia (2017)

El Mapa 15 refleja la turbidez del agua en la bahía de Algodonales, la cual tiene un comportamiento homogéneo en los años de estudio, exceptuando el año 2014. La concentración alta de turbidez de agua en la orilla de costa va disminuyendo fuertemente hacia una baja concentración aguas adentro.

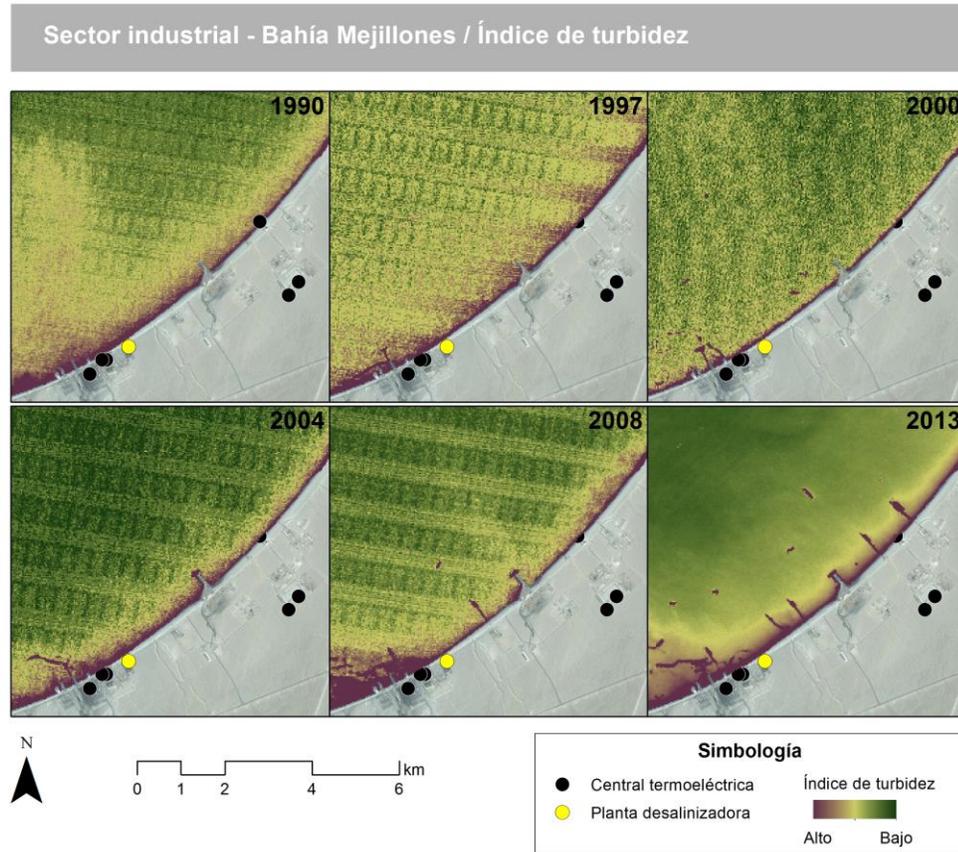
Mapa 15 Turbidez - Bahía Algodonales



Fuente: Elaboración Propia (2017)

El sector industrial de Mejillones (Mapa 16), refleja la baja turbidez del agua en la bahía, concentrada en la línea de costa y en la infraestructura antrópica aguas adentro. Para los años 2004, 2008 y 2013 se observa una acumulación en la zona sur poniente del sector en estudio, donde se localiza la central termoeléctrica mejillones.

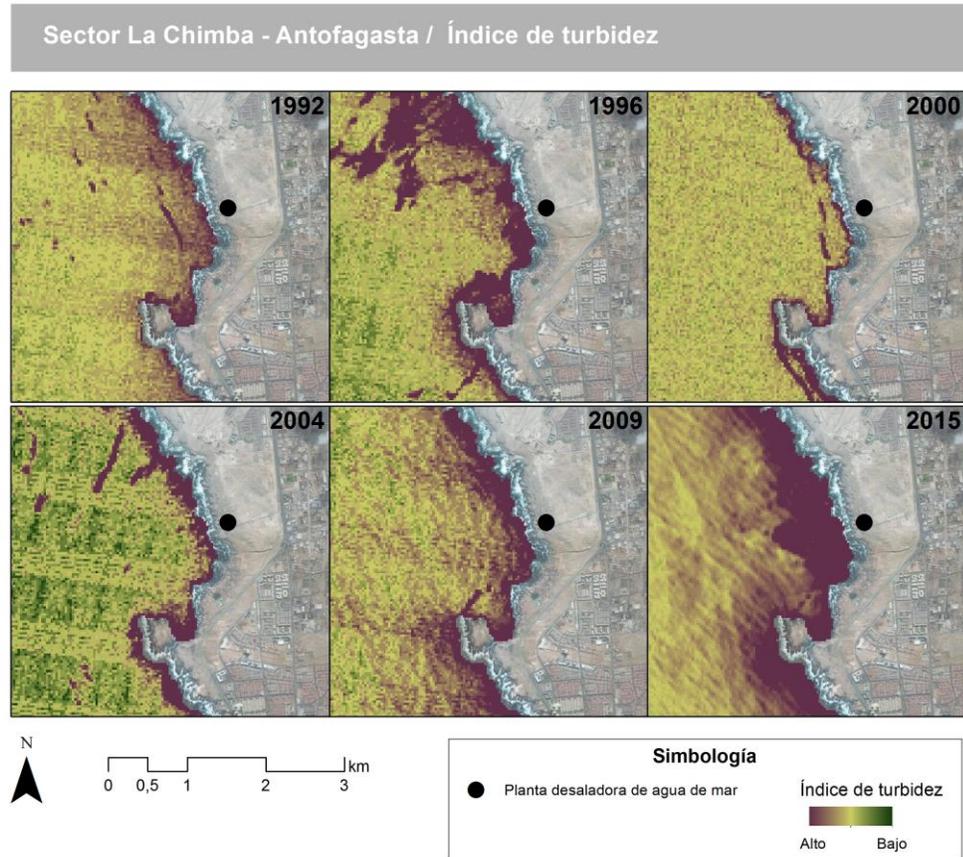
Mapa 16 Turbidez – Sector Industrial Mejillones



Fuente: Elaboración Propia (2017)

En el sector de La Chimba (Mapa 17), la concentración alta de turbidez presenta una distribución espacio temporal más heterogénea en el agua de mar. El año 2015 refleja la concentración alta de turbidez en aguas alejadas de la línea de costa, todo lo contrario que se observa para el año 2000, en donde la turbidez del agua es más baja en todo el sector.

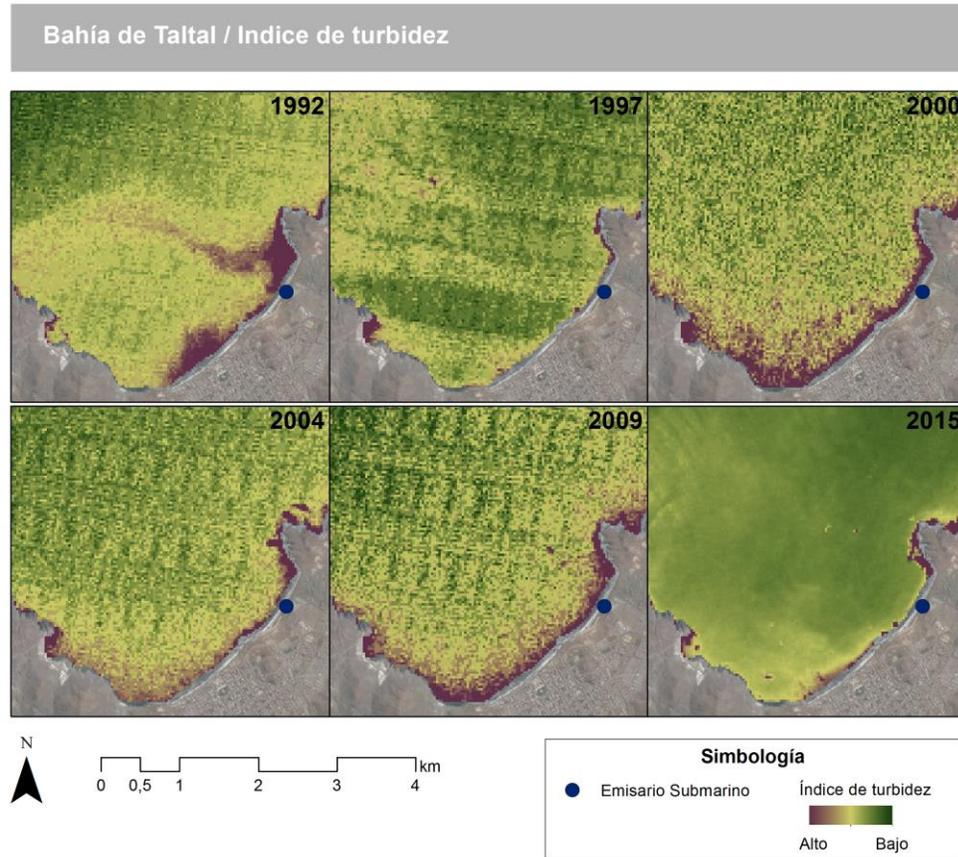
Mapa 17 Turbidez - Sector La Chimba



Fuente: Elaboración Propia (2017)

En la bahía de Taltal (Mapa 18) se observa la baja concentración de turbidez de agua en los años de estudio. Solo el año 1992, refleja una concentración de turbidez en el área central y nororiente de la bahía. En los años siguientes se observa la baja concentración de este índice en la línea de costa.

Mapa 18 Turbidez - Bahía de Taltal



Fuente: Elaboración Propia (2017)

8.2.4 Índice de calidad superficial del agua (ICSA). Resultados y tendencias. Periodo 1990 – 2015

Las tendencias observadas para el Índice de calidad superficial del agua construido con las tres variables anteriormente analizadas en los sectores seleccionados se sintetizan en la Tabla 31. En ella se pueden ver los diferentes valores que alcanza el indicador en el periodo analizado. En el Grafico 5 son más evidentes los comportamientos diferenciados.

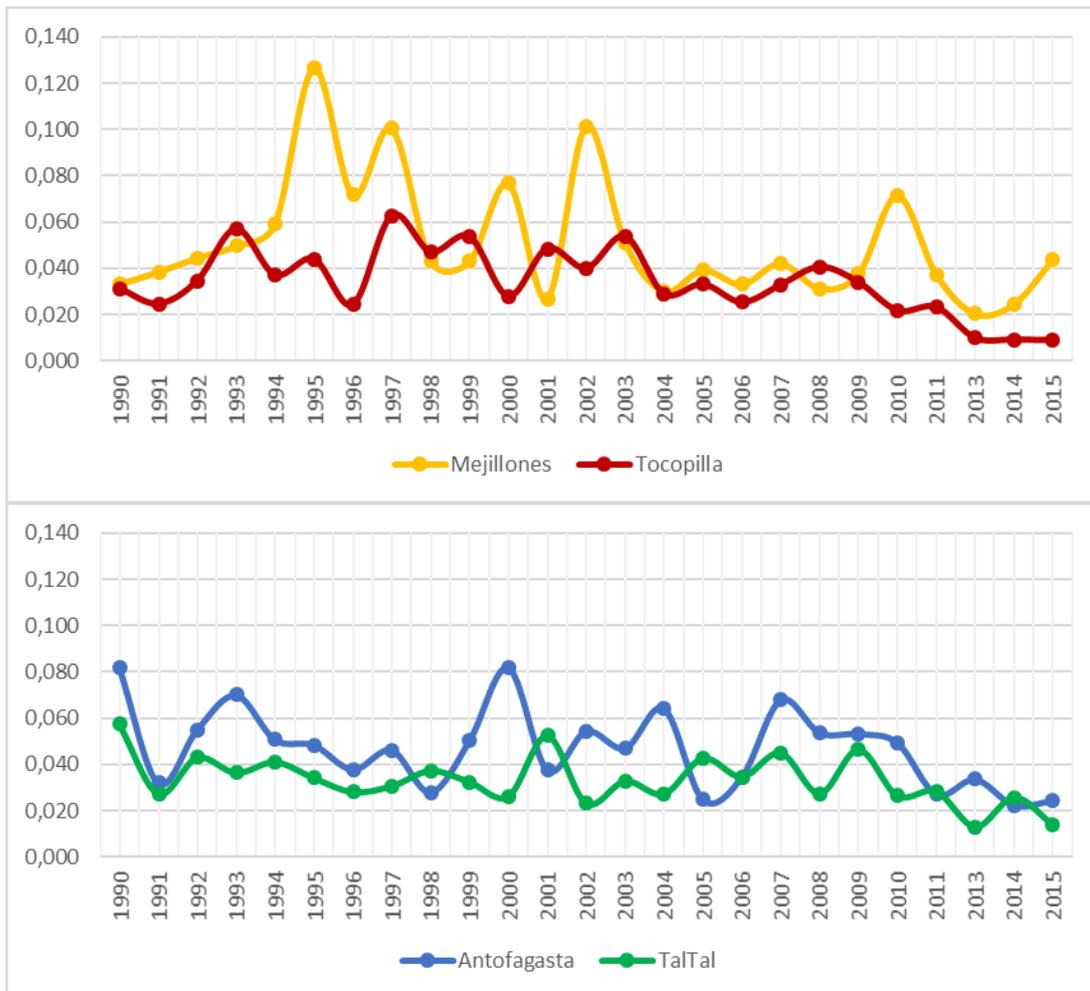
Tabla 31. Resultados obtenidos para el índice de calidad superficial del agua. Periodo 1990–2015.

Año	Ciudad			
	Antofagasta	Mejillones	Taltal	Tocopilla
1990	0,082	0,033	0,057	0,031
1991	0,032	0,038	0,027	0,025
1992	0,055	0,045	0,043	0,034
1993	0,070	0,050	0,036	0,057
1994	0,051	0,059	0,041	0,037
1995	0,048	0,127	0,034	0,044
1996	0,038	0,072	0,028	0,024
1997	0,046	0,101	0,031	0,063
1998	0,028	0,043	0,037	0,047
1999	0,050	0,043	0,032	0,054
2000	0,082	0,077	0,026	0,028
2001	0,038	0,027	0,052	0,048
2002	0,054	0,101	0,023	0,040
2003	0,047	0,051	0,033	0,054
2004	0,064	0,030	0,027	0,029
2005	0,025	0,039	0,043	0,033
2006	0,035	0,033	0,035	0,025
2007	0,068	0,042	0,045	0,033
2008	0,054	0,031	0,027	0,041
2009	0,053	0,038	0,046	0,034
2010	0,049	0,071	0,026	0,022
2011	0,027	0,037	0,028	0,023
2013	0,034	0,020	0,013	0,010
2014	0,022	0,025	0,026	0,009
2015	0,024	0,044	0,014	0,009

Fuente: Elaboración Propia (2017)

El índice de calidad de superficial del agua construido en los sectores seleccionados se sintetiza en la Tabla 31. En ella se pueden ver los diferentes valores que alcanza el indicador en el periodo analizado. En el Grafico 5 son más evidentes los comportamientos diferenciados, según tipo de efluente. La unidad de medida del indicador es relativa, debido a que es necesario calibrar para obtener una unidad de medida real.

Gráfico 5 Comportamiento temporal y tendencias del índice de calidad superficial del agua por ciudad referencial. Periodo 1990 – 2015

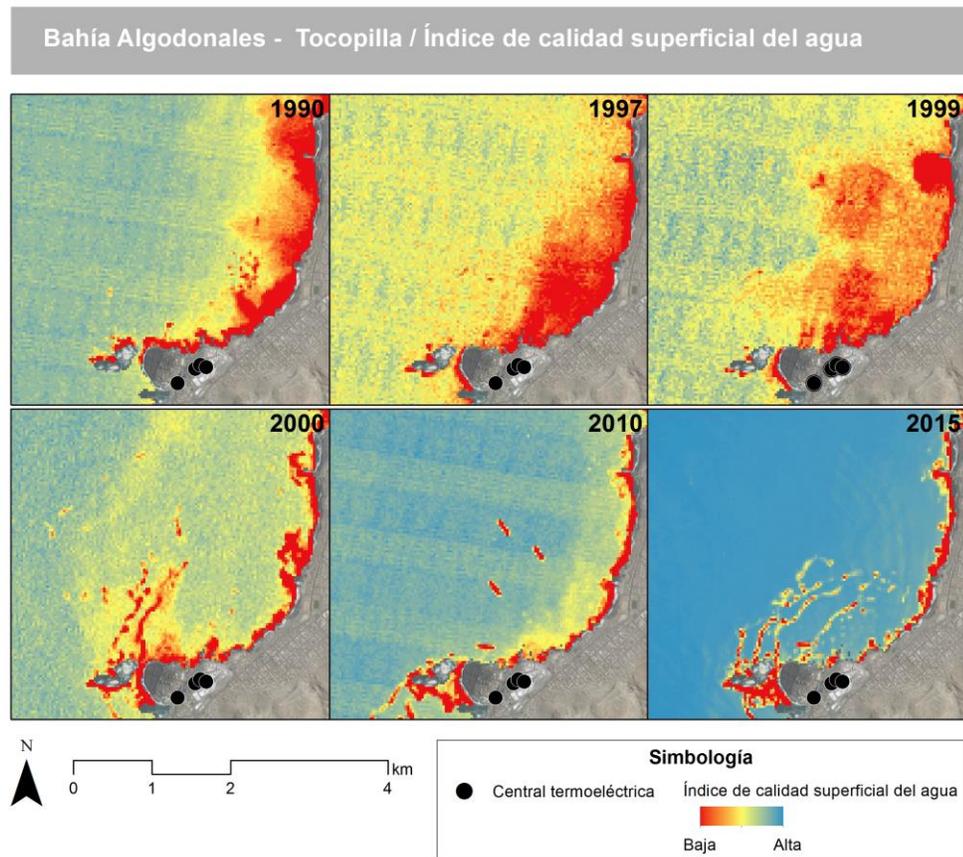


Fuente: Elaboración Propia (2017)

La tendencia del ICSA se puede apreciar (Gráfico 5) como en la bahía de Mejillones la calidad comienza a bajar su calidad en los primeros 5 años de estudios, posteriormente se presentan años de muy baja calidad (1995, 1997, 2000, 2002, 2010). Para el caso de bahía Algodonales en Tocopilla presenta desde el año 2010 en adelante valores de mejor calidad de sus aguas y los años de más baja calidad en 1993 y 1997.

La bahía de Antofagasta presenta baja calidad en sus aguas en los años 1990, 1003, 2000, 2004 y 2007 y su mejor calidad en los años 2014 y 2015. Taltal es de las bahías más constantes en su calidad, si bien presenta años de baja calidad como son 1990, 2001, 2007 y 2009. Y los años de mejor calidad son 2002, 2013 y 2015.

Mapa 19 Calidad Superficial del Agua de Mar - Bahía Algodonales



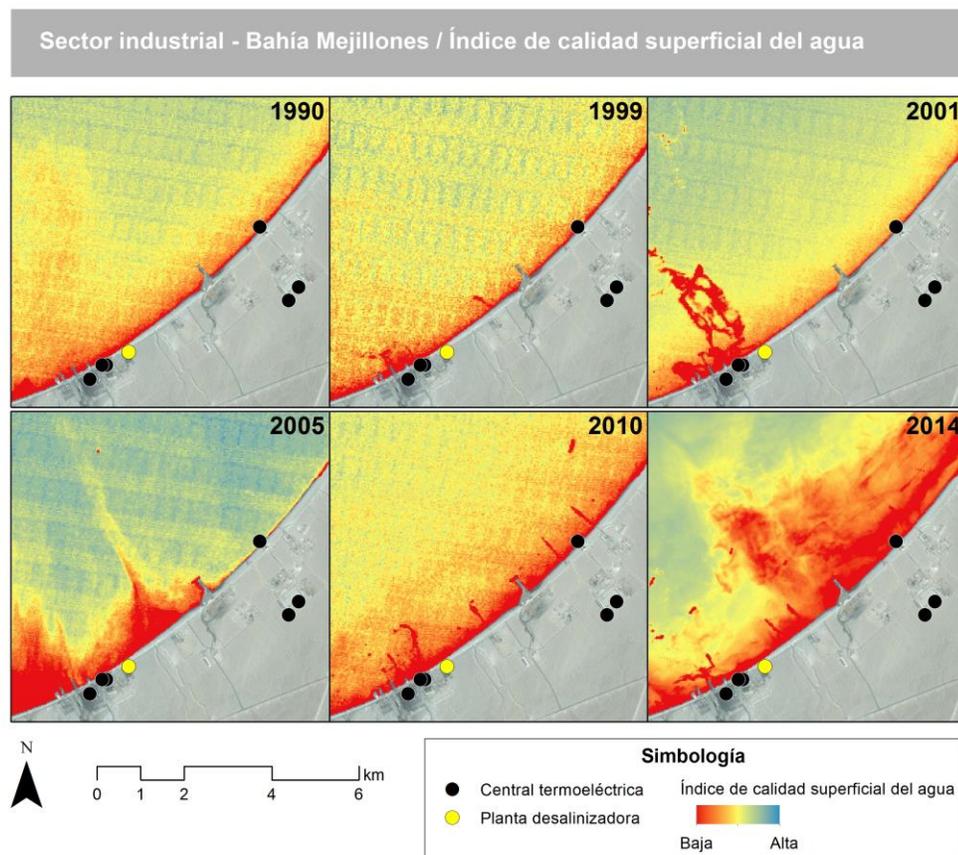
Fuente: Elaboración Propia (2017)

El índice de calidad superficial de agua de mar para la bahía de Algodonales (Mapa 19) refleja como la calidad del agua ha ido mejorando en el periodo de estudio. En la década de los 90' la bahía presenta una calidad más baja en

aguas alejadas a la línea de costa, que es contrarrestada con las imágenes del año 2010 y 2015 en donde se observa que la mala calidad del agua se localiza principalmente en la línea de costa y no en aguas profundas.

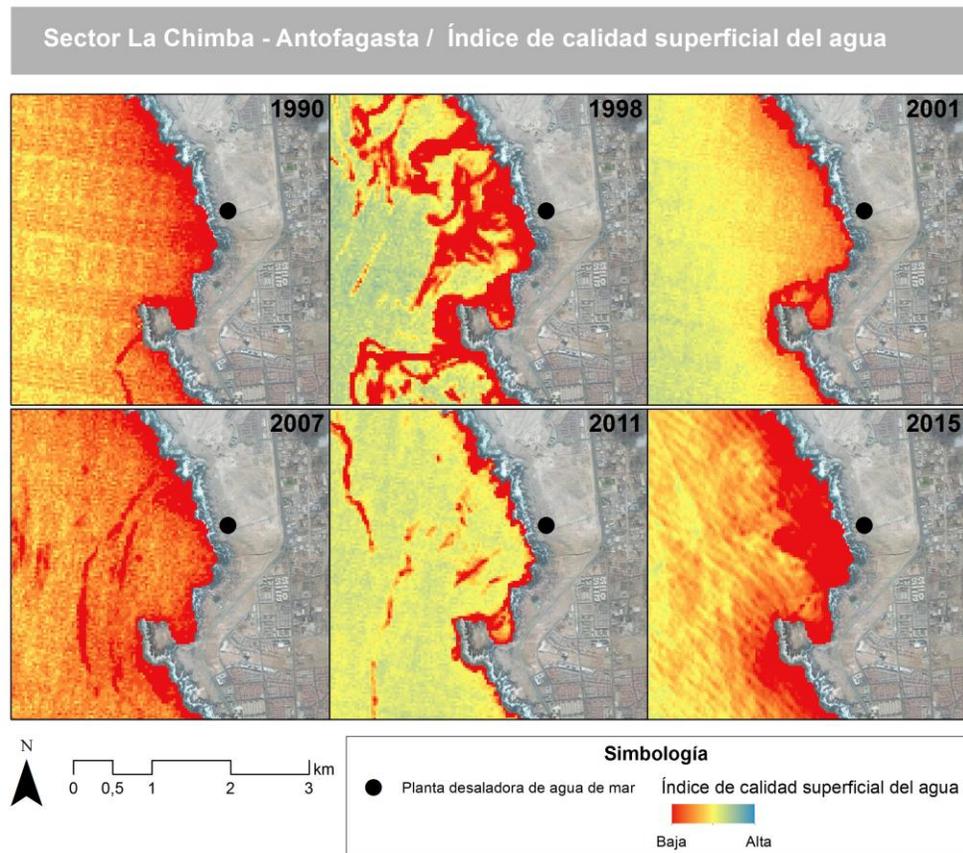
Caso contrario ocurre en el sector industrial de Mejillones (Mapa 20), donde se observa la influencia de las actividades industriales en la calidad del agua. En el año 2001, 2005 y 2010 se refleja la influencia de las descargas provenientes de la central termoeléctrica Mejillones, que revelan una columna de agua de baja calidad frente a sus instalaciones, y donde se localizan los emisarios submarinos que descargan residuos líquidos al mar.

Mapa 20 Calidad Superficial del Agua de Mar – Sector industrial Mejillones



El sector de la Chimba (Mapa 21) presenta una variación heterogénea de en la calidad superficial del agua de mar. Los años 1990 y 2007 reflejan una baja calidad en el agua de mar para el sector, contrarrestada en los años 2001 y 2011 en donde la baja calidad de agua está localizada continua a la línea de costa.

Mapa 21 Calidad Superficial del Agua de Mar - Sector La Chimba

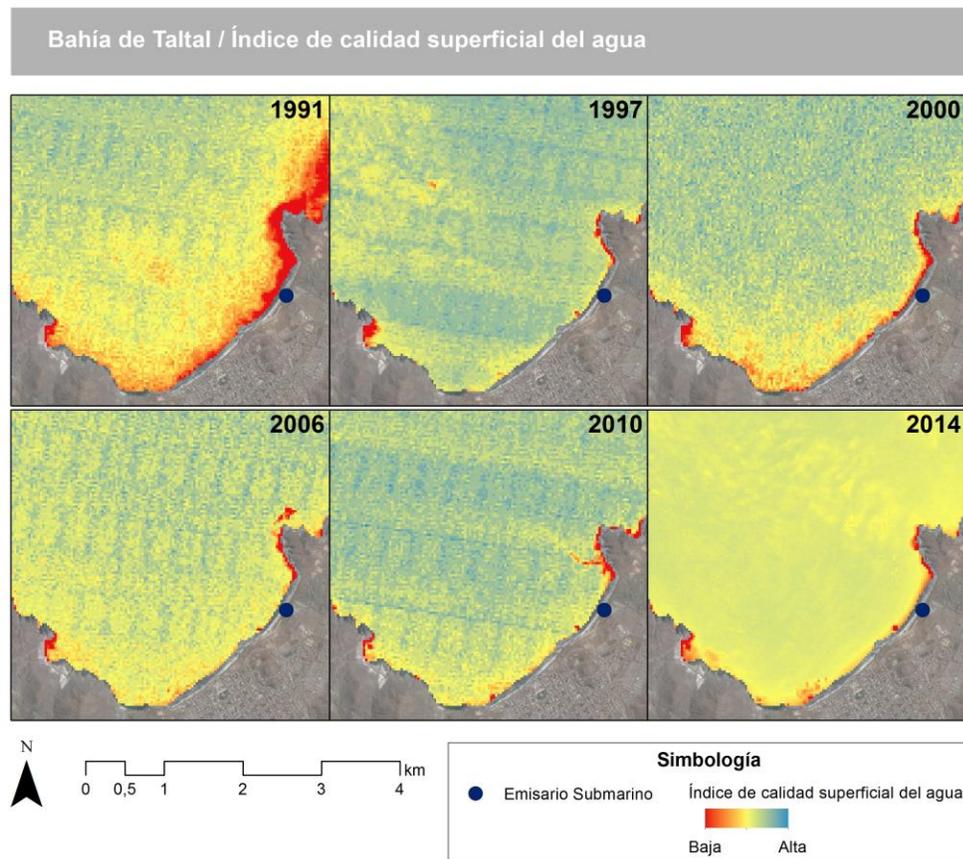


Fuente: Elaboración Propia (2017)

El indicador de calidad de agua de mar en la bahía de Taltal (Mapa 22) refleja la buena calidad del agua de mar en comparación con las bahías en estudio anteriormente expuestas. En el año 1991 la bahía presenta una baja

calidad de sus aguas cercanas a la línea de costa, que disminuye para los otros periodos. Si bien no presenta una alta calidad de sus aguas, presenta una calidad media de forma homogénea en toda la bahía.

Mapa 22 Calidad Superficial del Agua de Mar – Bahía de Taltal

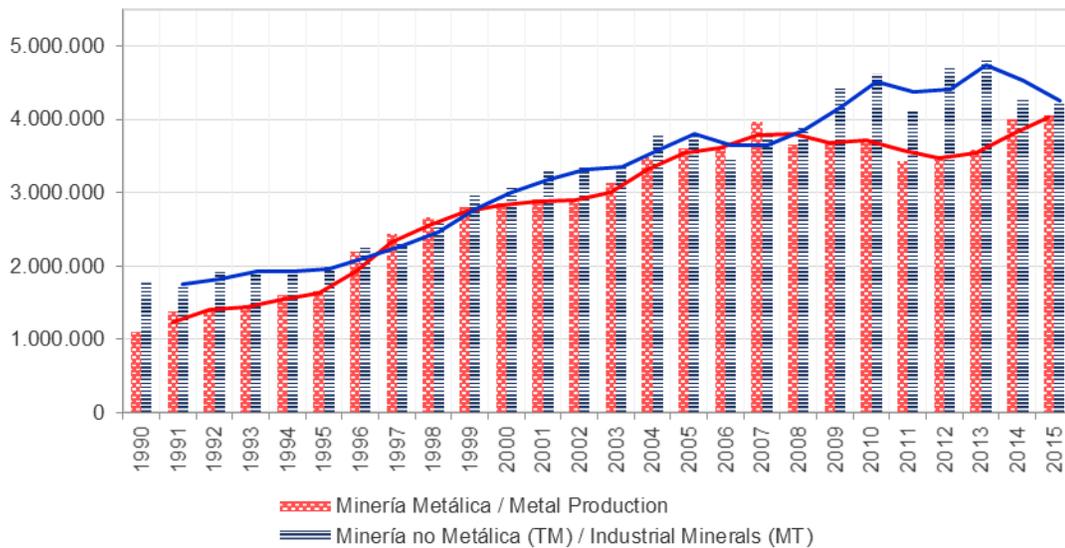


Fuente: Elaboración Propia (2017)

8.3 Producción Minera en la Región de Antofagasta. 1990 – 2015

La producción minera, tanto metálica como no metálica en la región de Antofagasta durante el periodo en estudio presenta una tendencia al alza (Gráfico 6).

Gráfico 6. Producción Minera Metálica - No Metálica. Periodo 1990 – 2015.



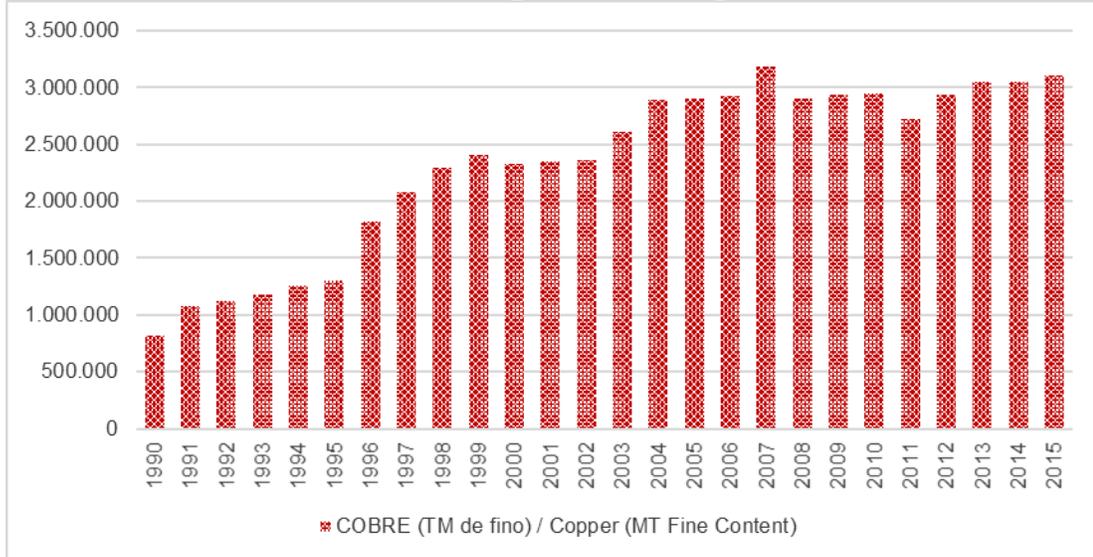
Fuente: COCHILCO (2016)

La producción minera metálica en la región, compuesta por cobre, oro, plata, molibdeno, plomo, zinc, hierro y manganeso, en el periodo de estudio, tiene su mayor producción en el año 2015 (4.051.103 TM de fino) y un marcado periodo de descenso de producción en el año 2007 con 3.961.042 TM de fino, hasta 3.437.071 TM de fino en el año 2011, casi un 15% de la producción. Para el caso de la minería no metálica, la región ha experimentado un aumento constante en la producción para el periodo en estudio. Presentando en el periodo de 2007 al 2013 un crecimiento de un 26%, pasando de 3.815.311 TM, a 4.801.220 TM.

Al analizar la dinámica que ha tenido la producción de cobre en la región para el periodo en estudio, es posible observar en el Gráfico 7, un salto en la

producción de 1995 a 1996, pasando de producir más de 500.000 TM de cobre de un año para otro.

Gráfico 7. Producción de Cobre. Región de Antofagasta. Periodo 1990 – 2015.



Fuente: Cifras de producción de cobre elaboradas por SERNAGEOMIN. COCHILCO (2016)

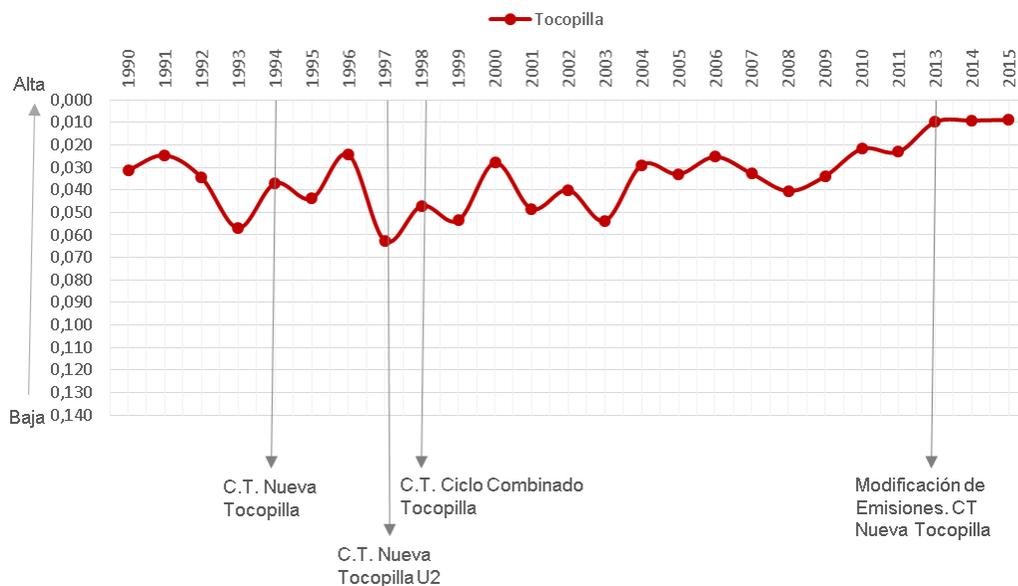
8.4 Análisis de Resultados

La calidad superficial del agua de mar, al vincularla con la producción minera no evidencia una relación directamente proporcional. Principalmente, por la condicionante que, para el periodo en estudio, la producción minera presentó un constante aumento, sin contra ciclos, a diferencia de los ICISA analizados. En la comuna de Tocopilla, el ICISA presenta oscilaciones constantes en el periodo de estudio (Gráfico 8). Desde la adjudicación de la central termoeléctrica Nueva Tocopilla, se refleja un empeoramiento en la calidad del agua desde 1996 a 1997. Sin embargo, desde el año 2004 en adelante la calidad del agua, presenta una tendencia hacia calidad alta. Puede existir

una relación entre la aprobación del proyecto “Modificación Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla” para el cumplimiento de norma de emisiones centrales termoeléctricas en el año 2013 y la tendencia homogénea de los años 2013-2014-2015.

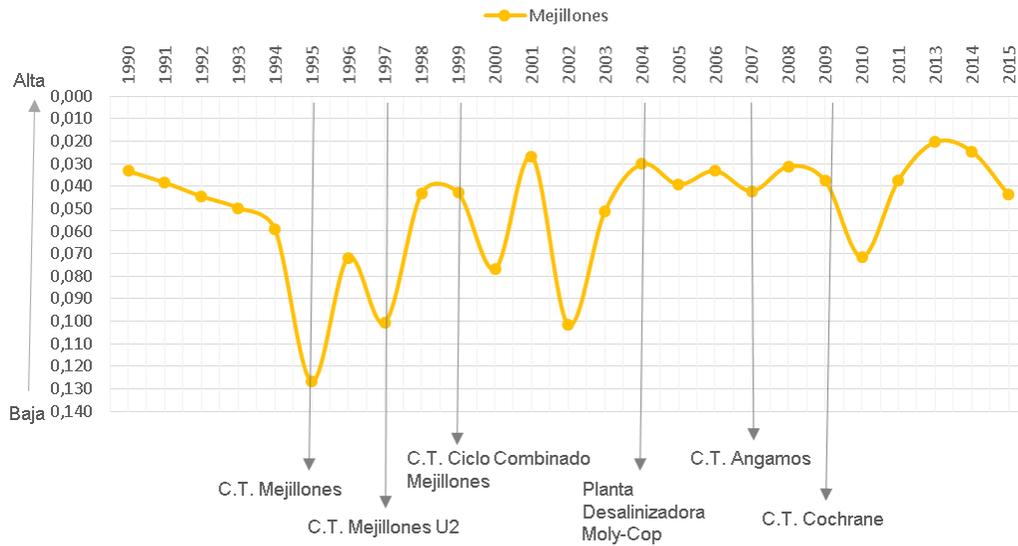
En el sector industrial de Mejillones, el ICSA presenta oscilaciones de alta a baja calidad en el periodo de estudio (Gráfico 9). Este sector, es el que presenta más proyectos aprobados de termoeléctricas. En la década de los 90’, se ponen en marcha tres proyectos de centrales termoeléctricas, que no afectaron claramente a la calidad del agua, pero que, al comparar los valores relativos de este periodo con la bahía de Algodonales, que durante el mismo periodo se desarrollaron tres proyectos de termoeléctricas, Mejillones presenta un rango de valor entre 0,12 – 0,04 de ICSA, casi el doble que bahía Algodonales en esta misma fecha 0.06-0.02.

Gráfico 8. ICSA - Proyectos aprobados. Bahía Algodonales



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Gráfico 9 ICSA - Proyectos aprobados. Mejillones

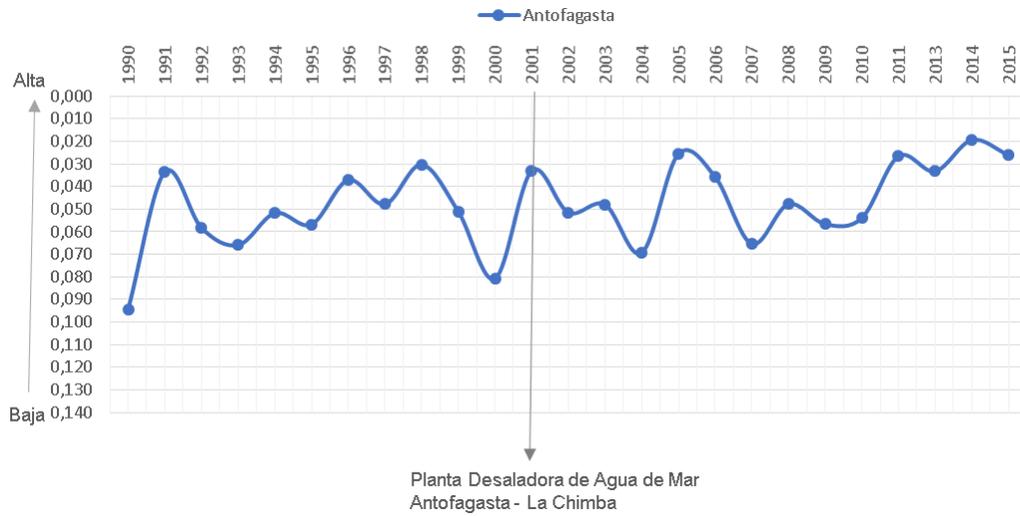


Fuente: Elaboración Propia, 2017

La instalación de plantas desaladoras no intervienen en la tendencia del ICSA, en el caso del sector de la Chimba (Gráfico 10) en Antofagasta, en el año 2001 se aprueba el proyecto de instalación de la planta desaladora y desde este año en adelante si bien se presentan periodos que el ICSA aumenta su valor (empeora la calidad) no altera la tendencia general , lo mismo ocurre para Mejillones con la instalación de la planta desalinizadora de Moly-Cop en el año 2004.

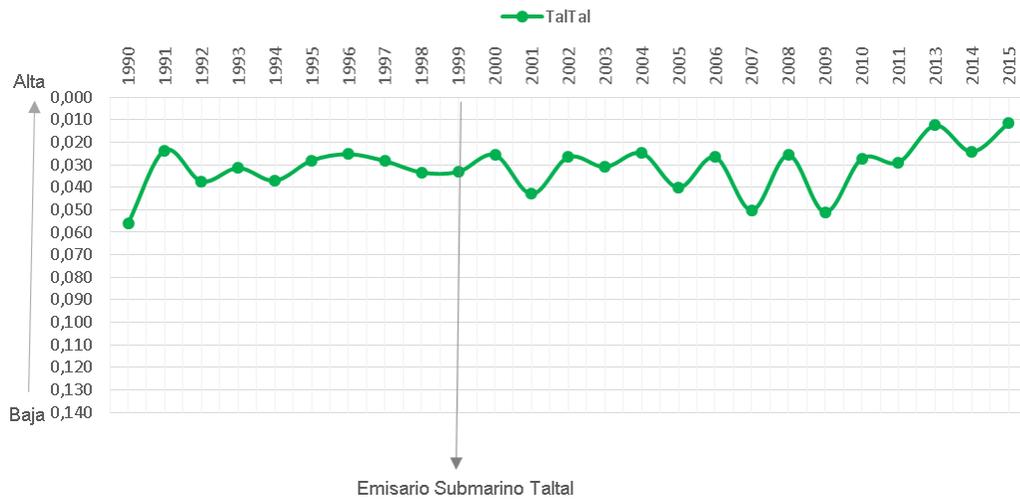
La bahía de Taltal refleja que la concentración del ICSA en valores más bajos a diferencia de las otras áreas de estudio (Gráfico 11), varía entre 0.05 y 0.01. Si bien la bahía presenta una oscilación desde la alta a la baja calidad relativa, se concentra en su valor absoluto muy cercana a la alta calidad relativa, Taltal al no presentar infraestructura industrial en el borde costero, presenta en todo el periodo de estudio aguas de mejor calidad.

Gráfico 10 ICSA - Proyectos aprobados. Sector La Chimba



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Gráfico 11 ICSA - Proyectos aprobados. Bahía de Taltal



Fuente: Elaboración Propia, 2017

9. DISCUSIÓN

La discusión es planteada en relación directa a la metodología y la vinculación de los resultados con el rol y la importancia de la minería en la región.

Con respecto a la metodología utilizada para la obtención de los parámetros de calidad de agua superficial en cada una de la bahía del presente estudio, enmarcadas en los métodos utilizados por Polvorinos et al. (2001), Fernández-Palacios et al. (1997) y el Ministerio de Medio Ambiente (2015).

Las metodologías establecen la concentración de las variables en el área de estudio, la falta de la información local levantada en terreno hace que el modelo solo sea relativo y no empírico, lo que permite observar la distribución temporal del componente, pero no la variación en cuanto a cantidad. Además, permitiría con una toma de muestra se identifique mejor la turbidez del agua con respecto a los sólidos en suspensión, que al utilizar las mismas bandas de las plataformas Landsat, no refleja las diferencias en su distribución espacial ni en la tendencia temporal de la variable.

Con respecto al Indicador de Calidad Superficial del Agua (ICSA) anual utilizado por el Ministerio de Medio Ambiente (2015), que promedia los valores de un año normalizado para la clorofila, sólidos en suspensión y turbidez del agua, generaliza la información obtenida y la hace poco representativa anualmente, principalmente porque depende de la cantidad de imágenes que presenten una extensión de superficie cubierta con nubes de máximo 60% de la escena, que en este caso corresponde a la costa del

norte de Chile, que de acuerdo a Quintana et al (2007), producto de la influencia permanente de las altas presiones del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur y de la componente de aguas frías por la corriente de Humboldt existe una capa persistente de nubosidad tipo estratos cúmulos, sobre las aguas oceánicas frías, y afecta casi permanentemente la costa norte, estas características afectan en el número de imágenes al año que pueden ser adquiridas.

Con respecto a la relación entre las variables del estudio del agua de mar y la infraestructura de centrales termoeléctricas y/o plantas desaladoras, se refleja como en las bahías con mayor número de infraestructura en el espacio litoral, disminuye la calidad del agua de mar (Ojeda et al, 1994), independientemente que el indicador utilizado por el Ministerio de Medio Ambiente (2015) es relativo, por medio de la teledetección se refleja la diferencia en la calidad de las aguas entre aquellas bahías que desarrollan actividades económicas tradicionales (pesca, puerto, etc), como es el caso de Taltal, en comparación con la bahía de Mejillones que está sujeta a grandes tensiones debido a la intensa descarga de residuos líquidos al mar en su zona industrial.

De acuerdo con la legislación vigente, respecto a la descarga de líquidos en aguas marinas (Decreto Supremo N° 90/2001), que tienen que cumplir los proyectos aprobados por el SEIA y fiscalizados por la Superintendencia de Medio Ambiente, el campo de la teledetección permitiría corroborar la información entregada por parte de los monitoreos solicitados a cada

empresa, para confirmar que cumplen o no la normativa. El modelo utilizado para evaluar los Sólidos en Suspensión podría ser calibrado con la información entregada por los planes de monitoreo de las centrales termoeléctricas y corroborar con información “in situ”, la interpretación entregada por parte de las empresas correspondientes.

El rol y desarrollo de la actividad minera en la región de Antofagasta, de acuerdo con Baeza et al. (2014), ha desarrollado una brecha partir de la actividad minera, reduciendo el *stock* de los recursos del sistema socio ecológico regional. En donde, el recurso minero hace plantear e interpelar a las políticas públicas frente al equilibrio entre sustentabilidad, bienestar social y economía nacional.

La conformación de un conglomerado de empresas productoras de bienes y servicios para la minería en la región a utilizado las bahías de las principales ciudades costeras en Antofagasta para el emplazamiento de termoeléctricas y desaladoras que nutren de energía y agua a la minería de manera indirecta, han provocado una variabilidad en la calidad del agua de mar. Que responde a la brecha socio ecológico regional de Baeza et al (2014) en donde se reduce la calidad de las aguas en aquellas bahías que presentan infraestructuras de termoeléctricas y desaladoras, como Mejillones o Algodonales-Tocopilla, sin existir una retribución adecuada o mitigación de los efectos ambientales y sociales que provoca la actividad.

Las EIA de los proyectos termoeléctricos ingresados al SEA Chile para ambas bahías, refleja la poca o nula importancia que se tiene con el medio

ambiente marino. Al clasificar los impactos, en este ámbito, con significancia baja o media, limitándose a cumplir los límites exigidos en el Decreto Supremo N° 90/2001, y solo proponer planes de monitoreo y/o vigilancia en las zonas de aducción y/o descarga de material, sin existir planes de mitigación ni compensación frente a impactos para el medio ambiente marino ni para la calidad de las aguas, refleja en la región lo declarado por Daher (2015), que existe una mirada restrictiva y naturalista de la sustentabilidad, frente a la importancia de la actividad minera para el PIB del país, la preocupación ambiental se vuelve casi nula en este ámbito.

Las EIA revisadas reflejan que los proyectos de centrales termoeléctricas o de plantas desaladoras, generan desechos líquidos descargados a aguas marinas que modifican las características naturales del entorno receptor. Al analizar la distribución temporal de las concentraciones y distribución de la clorofila a, sólidos en suspensión y turbidez del agua, refleja una alteración en las concentraciones posterior a la aprobación de cada proyecto.

El estudio de esta tesis, si bien no desarrolla la temática de los impactos marinos en las bahías estudiadas, refleja que este ambiente, poco estudiado en la región, está siendo alterado en las bahías que presentan este tipo de infraestructura (Mejillones – Algodonales) que alimentan a la actividad minera, generando una alteración silenciosa que puede estar provocando impactos indirectos en las aguas marinas.

10. CONCLUSIÓN

Siendo este trabajo una aplicación poco explorada para analizar el impacto de termoeléctricas y desaladoras en el medio marino, fuimos viendo que en algunos aspectos de los monitoreos de los SEIA y SINFA, fueron insuficientes, y es allí la importancia de la Teledetección para construir y mantener un monitoreo y toma de muestra semestral o anual de las características de la columna de agua. Considerando además los datos históricos de estos monitoreos se podría calibrar este estudio y realizar una muestra empírica de la calidad del agua para cada bahía. Además de corroborar si los datos declarados en los programas de monitoreos son verdaderos o no.

Con respecto a los modelos utilizados para evaluar la calidad superficial de agua de mar, aunque son resultados relativos y no empíricos, el uso del campo de la teledetección para evaluar estas variables es factible, pese a las dificultades prácticas que puede presentar. Se hace necesario disponer de información recogida "insitu" simultáneamente a la adquisición de la imagen, este método no empírico, puede fácilmente transformarse en modelo empírico con la toma de dato en terreno. De todos modos, la combinación de bandas y utilización de regresiones lineales propuestas permiten visualizar la distribución cualitativa espacio-temporal de las variables para la calidad de agua de mar.

No se logró establecer una relación clara entre el indicador de calidad superficial de agua de mar con la producción minera en la región de Antofagasta, ya que la tendencia del ICSA fue oscilante en todas las bahías y la producción minera presentó una tendencia de crecimiento constante. Sin embargo, la relación entre la cantidad de proyectos aprobados y la producción minera es directamente proporcional, a medida que aumenta la producción aumentan los proyectos de centrales termoeléctricas o de generación de energía en Mejillones o Tocopilla.

En cuanto a la pregunta de investigación: ¿Existe relación entre la calidad superficial de agua de mar y la infraestructura asociada indirectamente a la minería? Si bien, existe una influencia directa entre bahías con o sin zonas de uso industrial y ICSA. La bahía de Taltal presenta las concentraciones más favorables a la calidad del agua y de acuerdo al PRC comunal, su uso es solo portuario y de caletas artesanales. Aunque en Taltal, existe un emisario submarino para aguas servidas, este genera una alteración favorable en el ICSA, ya que permite mejorar la calidad desde 1990, en donde no existía emisario submarino, en comparación de los años posteriores al 2000 con emisario submarino. En contraste, se encuentra la bahía de Mejillones y Algodonales en Tocopilla, que poseen emisarios submarinos de termoeléctricas y/o desaladoras en sus costas, y generan una alteración negativa del ICSA, fluctuando temporalmente hacia una calidad baja. Es decir, la bahía de Taltal, que no posee infraestructura asociada a la minería, presenta en el periodo de estudio, un mejor Índice de Calidad

Superficial del Agua que bahía de Mejillones y Algodonales en Tocopilla. Por lo tanto, se puede concluir que existe una relación entre la calidad superficial de las aguas y aquellas bahías que presentan infraestructura de termoeléctricas y/o desaladoras.

Como propuestas futuras, este trabajo considera seguir dando continuidad a la investigación de calidad de agua por medio del campo de la Teledetección, pero se deben tomar en cuenta las siguientes variables para corroborar el estudio:

- Recolección de información in situ simultáneamente a la adquisición de la imagen satelital.
- Considerar las variables físico-ambientales de las bahías en estudio como: forma de la bahía, dirección de vientos, tipo de marea al momento de la toma de muestra, temperatura superficial del mar.
- Para el caso del Indicador de calidad superficial del agua de mar, este puede ser utilizado como un modelo de estudio temporal, pero no generalizarlo al estudio anual del mar, debido a las dinámicas temporales que presentan el mar.

En la actualidad, y de acuerdo con la bibliografía utilizada, el mar de Chile ha sido estudio principalmente por biólogos, oceanógrafos y ciencias afines. La teledetección permite que la Geografía pueda aportar en la investigación de este medio ambiente resultados con una mayor escala temporal y espacial, contribuir desde la planificación y gestión medioambiental de las costas chilenas, con un análisis integral entre mar y continente como un solo

sistema- El Geógrafo, puede revelar la vinculación de los procesos socio-económicos que se dan en un región y las alteraciones que pueden estar ocurriendo en un medio ambiente marino imperceptible al ojo humano, pero alcanzable por medio de la teledetección.

Para terminar, mencionaremos unas palabras de Robert P. Bukata: “La teledetección operacional de la calidad de las aguas interiores y litorales virtualmente no existe. (...) Así, después de décadas de impulso tecnológico, la teledetección de las aguas continentales y litorales todavía está esperando el tirón del usuario final” (Bukata 2005). Esto porque, a pesar de las limitaciones de la teledetección para la cuantificación de la calidad de agua que han quedado en evidencia en este trabajo, creo firmemente que es un aporte y que puede aportar mucho más no solo en el ámbito académico de la investigación pura, sino a la gestión directa del medio ambiente general del país.

Esperemos que este trabajo haya contribuido de alguna forma a acercar la teledetección al usuario final o, al menos, haber puesto de manifiesto en alguna medida sus posibilidades de aplicación real en un corto plazo.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alkan, N., Alkan, A., Gedik, K., & Fisher, A. (2016). Assessment of metal concentrations in commercially important fish species in Black Sea. *Toxicology and Industrial Health*, 447-456.
- AES GENER S.A. (2011). Declaración de Impacto Ambiental. Disposición de Rises de Combustión de Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla. En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5365904
- Aroca, P., & Atienza, M. (2008). La conmutación regional en Chile y su impacto en la Región de Antofagasta. *EURE*, 34(102), 97-120.
- Arroyo, M., & Rivera, F. (2004). Empresa y Desarrollo Regional Sustentable. El caso de la gran minería en la Región de Antofagasta. *Ambiente y Desarrollo*, (2), 71-77
- Banco Central de Chile. (2016). Base de datos Estadísticos. Recuperado de: <https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx>
- Baeza, S., Barton, J., Campero, C., León, S. Rodríguez, C & Solís, O. (2014). ¿Cuán sustentable es la región de Antofagasta? Indicadores y tendencias para un desarrollo regional sustentable. Universidad Católica del Norte. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable. Observatorio Regional de Desarrollo Sustentable de Antofagasta. Instituto Políticas Públicas Universidad Católica del Norte-
- Barbieri, M., Bravo, M., Farías, M., González, A., Pizarro, O., & Yáñez, E. (1995). Fenómenos asociados a la estructura térmica superficial del mar observados a través de imágenes satelitales en la zona norte de Chile. *Investigaciones marinas*, 99-122.
- Bowker, D.E. & Witte, W.G., (1977). The use of LANDSAT for monitoring wáter parameters in the coastal zone. *Satellite Applications to Marine Techology*. New Orleans, 193–198.
- Cáceres, M. (2004). Surface feature of the circulación in fjords of Southern Chile observed in ers and Landsat images. *Gayana (Concepción)*, 71-76.
- Calderón, C., & Valdés, J. (2012). Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Rev. Biol.Mar.Oceanogr.*, 121-133.
- Cavallaro, S., (2000). Fotosíntesis. [versión electrónica] En: <http://www.monografias.com/trabajos28/fotosintesis/fotosintesis.shtml>

- CESMEC. (2011). Programa de Vigilancia Ambiental Área Adyacente a la Descarga del RIL. Bahía de Mejillones II Región MOLY-COP-CHILE S.A. En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesSyF.php?modo=ficha&id_expediente=322640
- Chander, G., Markham, B., & Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 893–903.
- CHILE. Ministerio de Defensa Nacional. (1992). Decreto Supremo N° 1 Reglamento para el control de la contaminación acuática. 18 de noviembre de 1992. En: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=7232>
- CHILE. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2001). Decreto Supremo N° 90. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. 7 de Marzo de 2001. En: http://www.dga.cl/administracionrecursoshidricos/Documents/DTO_90_07_MAR_2001.pdf
- Chuvieco, E., (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial* 3ª ed, Madrid: Ediciones RIALP
- Chuvieco, E., (2002). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio* 1ª ed., Barcelona: Ariel Ciencia
- COCHILCO (2016). Comisión Chilena del Cobre. Base de datos. Ministerio de Minería. Chile. En: <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Bases-de-Datos.aspx>
- Comisión Nacional de Energía. (2016). Central de información y discusión de energía en Chile. Central de Energía. En: <http://www.centralenergia.cl/centrales/mapa-centrales-operacion/>
- Cortés, M. (2010). *La Muerte Gris de Chañaral*. Chañaral: Heinrich Böll Stiftung. Cono Sur.
- Curran, P.J. & Novo, E.M.M., (1988). The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. *Journal of Coastal Research*, 4(3), 351–368.
- Daher Hechem, A. (2015). Cluster minero sin cluster solcial: Antofagasta-Chile. *Revista de Urbanismo*, (33), 26-36.
- Damasceno, E., & Caldas, I. (2008). Impactos ambientales en la ciudad de Manaus: una búsqueda de comprensión. *Revista ingeniería de construcción*, 94-101.

- Dekker, A.G. & Peters, S.W.M., (1993). The use of the Thematic Mapper for the analysis of eutrophic lakes: a case study in the Netherlands. *International Journal of Remote Sensing*, 14(5), 799–821
- Doerffer, R. et al., (1989). Analysis of Thematic Mapper data for studying the suspended matter distribution in the coastal area of the German Bight (North Sea). *Remote Sensing of Environment*, 28, 61–73
- Donoso, M. (2013). El mercado del cobre a nivel mundial: evolución, riesgos, características y potencialidades futuras. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería.*, 21(2), 248-261.
- Doña, C., Domínguez, J. A. & Caselles, V., (2009). Hacia una relación única para el estudio del estado trófico de lagos y embalses con Thematic Mapper. *Revista de Teledetección*, 32, 25–39
- EDELNOR S.A. (1996). Evaluación de Impacto Ambiental. "Central Termoeléctrica Mejillones Unidad II". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=891
- EDELNOR S.A. (1998). Evaluación de Impacto Ambiental. "Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Mejillones CTM3". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1420
- ELECTRICA ANGAMOS S.A. (2006). Declaración de Impacto Ambiental. "Modificación del Punto de Toma y Descarga Central Termoeléctrica Angamos". En: <http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=3050313>
- ELECTROANDINA S.A. (1998a). Evaluación de Impacto Ambiental. "Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado en Tocopilla". En: http://seia.sea.gob.cl/elementosFisicos/enviados.php?id_documento=7667857
- ELECTROANDINA S.A. (1998b). Informe Técnico Final. "Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado en Tocopilla". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1100
- ELECTROANDINA S.A. (1999). Evaluación de Impacto Ambiental. "Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Coloso". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1080
- ELECTROANDINA S.A. (2010). Declaración de impacto Ambiental. "Instalación de Nueva Grúa y Terminal Marítimo de Graneles Líquidos en Central Termoeléctrica

- Tocopilla". En:
http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4616799
- EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A. (2001). Declaración de Impacto Ambiental. "Planta Desaladora de Agua de Mar de Antofagasta II Región- Chile". En:
http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=3951
- ENGIE Energía Chile S.A. (2013b). Declaración de Impacto Ambiental. "Uso de Cal Hidratada, Central Termoeléctrica Tocopilla para cumplimiento de Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas". En:
http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2128958787
- ESSAN S.A. (1999). Informe Técnico Final. Emisario Submarino Taltal. En:
http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1495
- Farías, M., & Castro, C. (2008). Variabilidad de la temperatura superficial del mar, identificación de surgencias costeras y su relevancia en un área marina costera protegida del desierto de Atacama. *Revista de geografía Norte Grande*, 49-61.
- Fernández, Y., Sánchez, J., & González, J. (2005). Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain). *Desalination*, 395-402.
- Fernández-Palacios, A. et al., (1997). Metodología para el seguimiento multitemporal de la calidad de las aguas costeras en Andalucía a través del tratamiento de imágenes Landsat-TM. En J. L. Casanova & J. Sanz, eds. *Teledetección: Usos y aplicaciones*. Valladolid: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valladolid, 203–210.
- Finley, R.J. & Baumgardner, R.W.J., (1980). Interpretation of surface-water circulation. Arkansas Pass, Texas, using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 10, 3–22.
- Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, 1-76.
- Fuentes, J. (2014). Analysis of the process of environmental impact assessment for seawater desalination plants in Spain . *Desalination*, 166-174.
- Galaz-Mandakovic, D. (2017). Turbinas y electricidad para la Mina, Lamparas a parafina para la población: crónica de una asimetría del capitalismo minero en

- Tocopilla (1914-1942). Estudios atacameños, <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-10432016005000028>.
- García, E., & Ballesteros, E. (2001). El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas. *Blanes*.
- GHD. (2011). Declaración de Impacto Ambiental. "Planta Desaladora Sur Antofagasta". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6055342
- GHD. (2013). Declaración de Impacto Ambiental. "Actualización y Ampliación Planta Desaladora La Chimba". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6055342
- Gonçalves, A. (2004). El análisis de ciclo de vida y su aplicación a la arquitectura y al urbanismo. Madrid, España: Doctorado en Ciudades, Periferias y Vitalidad Urbana.
- GORE. (2016). Gobierno Regional. Región de Antofagasta. Obtenido de División de Planificación y Ordenamiento Territorial. En: <http://www.territorioregional.cl/index.php/es/noticias/91-propuesta-macrozonificacion-del-borde-costero>
- GORE Antofagasta. (2010). Macrozonificación del Borde Costero desde el Sector Público. Región de Antofagasta. Obtenido de Departamento de Planificación y Ordenamiento Territorial. División Planificación y Desarrollo Regional. Programa de zonificación regional del Borde Costero. En: <http://www.goreantofagasta.cl/attachments/article/100/Memoria%20de%20Propuesta%20de%20Macrozonificacion%20del%20Borde%20Costero.pdf>
- Hernández B, J.F. & Hernández L., (2003). Aplicación de técnicas de teledetección al estudio de la turbidez de las aguas litorales en la costa oriental de Gran Canaria mediante un modelo teórico. *Veguetta*, (7), 229–240.
- Han, L., (1997). Spectral Reflectance with Varying Suspended Sediment Concentrations in Clear and Algae-Laden Waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(6), 701–705
- Ilustre Municipalidad de Antofagasta (2001) Memoria Explicativa. Plan Regulador Comunal de la Ciudad de Antofagasta. Región de Antofagasta. Chile. En: <http://www.municipalidaddeantofagasta.cl/index.php/plan-regulador>

- Ilustre Municipalidad de Mejillones, (2013) Modificación Plan Regulador Comunal de Mejillones, Zona Urbana Consolidada y Portuaria Mejillones. Ordenanza Local. Región de Antofagasta. Chile. En <https://www.mejillones.cl/2014/05/plan-regulador-comunal/>
- Ilustre Municipalidad de Taltal, 2012. Modificación Plan Regulador Comunal de Taltal, borde costero urbano y zona portuaria. Ordenanza Local Región de Antofagasta. Chile. En http://municipalidadtaltal.cl/transparencia/_files/123/20130513-223935_c-ordenanza-local-proyecto-junio-2012.pdf
- Ilustre Municipalidad de Tocopilla. (2015). Modificación Plan Regulador Comunal de Tocopilla. Zona urbana industrial no consolidada. Informe Ambiental. Región de Antofagasta. Chile. En: <https://drive.google.com/file/d/0B-kqvJBncisuaERscVFivjhJdGc/view>
- Hwan Ahn, Y. S. (2004). Atmospheric Correction of the Landsat Satellite Imagery for Turbid Waters. *Gayana (Concepción)*, 1-8.
- J. D. Colby (1991). Topographic normalization in rugged terrain. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 57, 531–537.
- Jackson, P. & Sheiham, I.,(1991). Measurement of colour and turbidity. En I. M. Lamont,ed. *Water research topics*. Ellis Horwood Publishers, 221–229
- Johnson, R.W.,(1978). Mapping of chlorophyll a distributions in coastal zones. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44, 617–624.
- Lara, C., Miranda, M., Montecino, V., & Iriarte, J. (2010). Chlorophyll-a MODIS mesoscale variability in the Inner Sea of Chiloé, Patagonia, Chile (41-43°S): Patches and Gradients. *Revista de biología marina y oceanografía*, 217-225.
- Lagos, G., Blanco , H., Torres, V., & Bustos, B. (2001). Minería y minerales de Chile en la transición hacia el desarrollo sustentable. Centro de investigación y planificación del Medio Ambiente, Cipma y Pontificia Universidad de Chile.
- Letelier, J., Soto-Mardones, L., Salinas, S., Vincenti, L., Pavez, R., & Arriagada, M. (2012). Influencia de la península de Mejillones en la variabilidad oceanográfica anual e interanual frente al norte de Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, 513-526.
- Leyton, Y., Letelier, A., & Mata, M. T. (2017). *Bacillus pumilus* Marinos Inhibidores de la Fijación de Microalgas a Sustratos Artificiales. *Información tecnológica*, 181-190.
- Méndez, P. (2016). Algunas precisiones sobre el término anticipado del procedimiento de evaluación ambiental. *Revista de derecho (Valdivia)*, 141-159.

- MINERA ESCONDIDA LIMITADA. (2004). Declaración de Impacto Ambiental. "Planta Desalinizadora Piloto". En: <http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=418910>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2015). Ficha Metodológica. Construcción de indicadores ambientales nacionales a partir de imágenes satelitales. Chile
- Ministerio de Medio Ambiente. (2015). Informe. Construcción de indicadores ambientales nacionales a partir de imágenes satelitales. Chile
- MINVU. (2009). Estado de la Planificación Urbana en Chile Ministerio de Vivienda y Urbanismo, División de Desarrollo Urbano. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- MMSD. (2002). Mining, Minerals and Sustainable development Project. IIED & WBCSD.
- MOLY-COP CHILE S.A. (2004a). Declaración de Impacto Ambiental. "Instalación Planta Desalinizadora". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=322640
- MOLY-COP CHILE S.A. (2004b). Propuesta de Vigilancia Ambiental. "Instalación Planta Desalinizadora". En: <http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=322643>
- Montecino, V., Paredes, M., Paolini, P., & Rutllant, J. (2006). Revisiting chlorophyll data along the coast in north-central Chile, considering multiscale environmental variability. *Revista chilena de historia natural*, 213-223.
- Morales, H., & Azocar, R. (2016). Minería y relaciones interétnicas en Atacama. *Estudios atacameños*, 113-127.
- Moreira, J.M. et al., (2009). Generación de indicadores para el seguimiento de la calidad de las aguas litorales. Evolución de la turbidez en la desembocadura del Río Guadalquivir. *Teledetección: agua y desarrollo sostenible*. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Calatayud, 197–200.
- Munday, J.C. & Alföldi, T.T., (1979). Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solids measurement. *Remote Sensing of Environment*, 8, 169–183
- Munday, J.C. & Zubkoff, P.L., (1981). Remote sensing of dino-flagellate blooms in acturbid estuary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47(4), 523–531

- Navarro Almonacid, R., & Rivera Mercado, C. (2013). Evaluación ambiental en Chile: falencias y tensiones dentro del Estado. *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, (55), 173-192.
- NORGENER S.A. (1993). Evaluación de Impacto Ambiental. "Central Nueva Tocopilla". En: http://seia.sea.gob.cl/elementosFisicos/enviados.php?id_documento=7667037
- NORGENER S.A. (2000). Declaración de Impacto Ambiental. "Aumento de Potencia de Generación y Uso de Mezclas de Petcoke y Carbón en la Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1996
- NORGENER S.A. (2006). Evaluación de Impacto Ambiental. "Central Termoeléctrica Angamos". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1819307
- NORGENER S.A. (2008). Evaluación de Impacto Ambiental. "Central Termoeléctrica Cochrane". En: <http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=3030998>
- NORGENER S.A. (2012). Declaración de Impacto Ambiental. "Modificación Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla para el Cumplimiento de Norma de Emisiones Centrales Termoeléctricas". En: <http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=7477391>
- OIKOS CHILE S.A. (2009). 22° Monitoreo del Medio Ambiente Marino. Central Termoeléctrica Mejillones. Fase Operación. En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesSyF.php?modo=ficha&id_expediente=891
- OIKOS CHILE S.A. (2011). 32° Monitoreo de Largo Plazo. Central Termoeléctrica NORGENER S.A., Tocopilla, II Región. En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesSyF.php?modo=ficha&id_expediente=890
- Ordoñez, J., Moreno, L., González, J., & Cisternas, L. (2015). Use of discharged brine from reverse osmosis plant in heap leaching: Opportunity for caliche mining industry. *Hydrometallurgy*, 61-68.
- Oyama, Y. et al., (2007). A new algorithm for estimating chlorophyll-a concentration from multi-spectral satellite data in case II waters: a simulation based on a controlled laboratory experiment. *International Journal of Remote Sensing*, 28(7), 1437–1453.

- Parra, J., Morales, L., Sobrino, J., & Romero, J. (2011). Estimación de la temperatura superficial del mar desde datos satelitales NOAA-AVHRR: validación de algoritmos aplicados a la costa norte de Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 179-183.
- Petry, M., Sanz, M., Langlais, C., Bonnélye, V., Durand, J., Guevara, D. Homma, C. (2007). The El Coloso (Chile) reverse osmosis plant. *Desalination*, 141-152.
- Polvorinos, J., Hernández, M & Forteza (2001). Estimación de Parámetros Hídricos en el Pantano de Gergal (Sevilla) Mediante Teledetección. *Teledetección. Medio Ambiente Cambio Global*, 322–325, 2001.
- Poornima, E., Rajadurai, M., Rao, V., Narasimhan, S., & Venugopalan, V. (2006). Use of coastal waters as condenser coolant in electric power plants: Impact on phytoplankton and primary productivity. *Journal of Thermal Biology* , 556-564.
- RAE. (2016). Real Academia Española. Definición de Calidad. En: <http://lema.rae.es/drae/?val=calidad>
- Ritchie, J.C., Cooper, C.M. & Schiebe, F.R., (1990). The relationship of MSS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll and temperature in Moon Lake, Mississippi. *Remote Sensing of Environment*, (33), 137–148.
- Rivera, N., & Aroca, P. (2014). Escalas de producción en economías mineras: El caso de Chile en su dimensión regional. *EURE*, 247-270.
- Roberts, D., Johnston, E., & Knott, N. (2010). Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: a critical review of published studies. *Water Res*, 5117-5128.
- Robinson, I.S., 1985. *Satellite oceanography*, Southampton: Ellis Horwood
- Roco, R. (2010). Efecto del aumento de temperatura y presencia de pintura anti-incrustante sobre la supervivencia, crecimiento, alimentación y estrés en juveniles de loco *Concholepas concholepas* (Gastropoda, Muricidae): Impacto potencial de termoeléctricas costeras. Coquimbo: Universidad Católica del Norte.
- SERNAGEOMIN (2016). Servicio Nacional de Geología y Minería. Anuario de la Minería de Chile 2016. Ministerio de Minería. Chile. En: <http://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/Anuario-2016-sernageomin.pdf>
- Srivastava, Satyam & Sadistap, Shashikant. (2017). Non-destructive sensing methods for quality assessment of on-tree fruits:. *Journal of Food Measurement and Characterization*. En: <https://www.researchgate.net/publication/320334612>

- SGA IBERSIS S.A. (1998). Declaración de Impacto Ambiental. "Planta Desalinizadora de Antofagasta, II Región". En: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1339
- SMA (2014). Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas. Gobierno de Chile. En: http://www.academia.edu/9461226/Gu%C3%ADa_de_aspectos_ambientales_relevantes_para_centrales_termoel%C3%A9ctricas
- Taylor, C. (2006). The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin* , 30-48.
- USGS (2016). Land Remote Sensing Program. En <http://remotesensing.usgs.gov/index.php>
- Valdés, J., Sifeddine, A., Mariano, C., & Ortlieb, L. (2004). artículas de carbón en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del Sur (23°S): Implicancias ambientales en un contexto histórico. *Investigaciones marinas*, 93-99.
- Yáñez, E., Silva, C., Barbieri, M., & Nieto, K. (1996). Pesquería artesanal de pez espada y temperatura superficial del mar registrada con satélites NOAA en Chile central. *Investigaciones Marinas*, 131-144.
- Y. Z. Yacobi, A. Gitelson, and M.(1995).Remote sensing of chlorophyll in Lake Kinneret using highspectral-resolution radiometer and Landsat TM: spectral features of reflectance and algorithm development,. *J. Plankton Res.*, vol. 17, no. 11, pp. 2155–2173.
- Zhu, X., He, Z. & Deng, M., 2002. Remote sensing monitoring of ocean colour in Pearl River estuary. *International Journal of Remote Sensing*, 23(20), pp.4487–4497