

Usos de la zona costera en el Golfo de Arauco: importancia ambiental y ecológica

Uses of the coastal zone in the Gulf of Arauco: environmental and ecological importance

Aldo Hernández^{1,*}, Oscar Inostroza-Michael¹, Marco Salamanca^{2,3}, Cristian Chandía^{2,3}, Eduardo Hernández-Miranda^{2,4,5}, Odette A. Vergara⁶, José Miguel Bogdanovich⁷ & Carlos Leal González^{1,8}

¹Centro de Investigación en Recursos Naturales HOLON SpA, Concepción, Chile.

²Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

³Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

⁴Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

⁵Laboratorio de Investigación en Ecosistemas Acuáticos (LInEA), Concepción, Chile.

⁶Centro de Investigación Oceanográfica COPAS Coastal, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

⁷Consultora ambiental Quantev SpA., Santiago, Chile.

⁸Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales con mención en Sistemas Acuáticos Continentales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

*Corresponding author: aldo.hernandez@holonchile.cl

RESUMEN

Se presenta una descripción actualizada de los principales usos del territorio costero del Golfo de Arauco, Región del Biobío, Chile. Esta descripción se elabora a partir de información oficial que cubre el periodo 2015-2024, y se efectúa con la finalidad de aportar a la comprensión sobre cómo estos usos pueden afectar el comportamiento ambiental de indicadores del estado de la columna de agua, sedimentos marinos y comunidades de especies marinas que habitan en el intermareal y el submareal de este cuerpo de agua. Una descripción adecuada de los usos de la zona costera de este golfo, puede permitir vincular los resultados de los levantamientos físico-químicos y de biodiversidad local con las fuentes y vías de contaminación potenciales, facilitando la comprensión de los efectos de los aportes antrópicos sobre este sistema, además de complementar el establecimiento de medidas adecuadas para el control de la contaminación marina y protección de su biodiversidad.

Palabras clave: fuentes difusas, fuentes fijas, usos territoriales, zona costera.

ABSTRACT

An updated description of the main uses of the coastal territory of the Gulf of Arauco, Biobío Region, Chile, is presented. This description is elaborated from official information covering the period 2015-2024, and is carried out with the purpose of contributing to the understanding of how these uses can affect the environmental behavior of indicators of the state of the water column, marine sediments and communities of marine species that inhabit the intertidal and subtidal of this body of water. An adequate description of the uses of the coastal zone of this gulf can allow linking the results of the physicochemical and local biodiversity surveys with the sources and pathways of potential pollution, facilitating the understanding of the effects of anthropogenic inputs on this system, as well as complementing the establishment of appropriate measures for the control of marine pollution and the protection of its biodiversity.

Keywords: coastal zone, diffuse sources, fixed sources, territorial uses.

INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras representan la transición entre el océano abierto y las cuencas terrestres, y en ellas se producen una variedad de procesos físicos y biogeoquímicos que ocurren en una amplia gama de escalas de variabilidad espacial y temporal (Werner & Blanton 2019). En estas zonas se producen una serie de servicios ecosistémicos, que incluyen el mantenimiento de sistemas básicos para el soporte de la vida a escala global, la provisión de alimentos, la protección natural contra tormentas e inundaciones, el mantenimiento de la calidad del agua, además de variados beneficios culturales y espirituales (UNEP 2006; Palumbi *et al.* 2009; Luisetti *et al.* 2014).

Una de las principales brechas en la evaluación de los servicios ecosistémicos en zonas costeras, radica en la escasa comprensión sobre cómo estos servicios son percibidos y utilizados por las comunidades costeras (Bennett *et al.* 2019), especialmente frente a escenarios de cambio climático, que incrementan la vulnerabilidad social y económica de estas comunidades (Adger *et al.* 2013). La ausencia de mecanismos efectivos que aseguren la participación local en la toma de decisiones, representa una brecha de conocimiento relevante (Ostrom 2012), toda vez que limita la capacidad de las poblaciones locales para influir en la gestión de estas zonas, evidenciando la necesidad de implementar modelos de gobernanza que integren conocimientos tradicionales y científicos de manera equilibrada (Carlsson & Berkes 2019). Adicionalmente, la ausencia de información sobre la dinámica socioeconómica de las zonas costeras, limita la comprensión sobre cómo los cambios ambientales, demográficos y de usos del territorio afectan la resiliencia de las comunidades costeras (Cinner *et al.* 2012), impidiendo la evaluación de la efectividad de las políticas implementadas.

Los ambientes costeros de la zona centro sur de Chile están fuertemente influenciados por el Sistema de Corriente de Humboldt (SCH), que se extiende desde aproximadamente los 45° S hasta el ecuador (Montecino & Lange 2009), generando uno de los ecosistemas de surgencia más productivos a nivel global (Bakun *et al.* 2015). Las condiciones oceanográficas en esta zona se caracterizan por un flujo predominante de aguas superficiales de origen subantártico hacia el norte (Strub *et al.* 1998), y por un flujo hacia el sur, con afloramiento costero de aguas subsuperficiales de origen ecuatorial (AESS), ricas en nutrientes y pobres en oxígeno (Thiel *et al.* 2007; Quiñones *et al.* 2010).

Dentro de esta zona, destaca el Golfo de Arauco (36°45' S; 37°10' S) como el mayor cuerpo de agua semi-cerrado de Chile central, con abertura hacia el ecuador y una superficie aproximada de 500 km² (Fig. 1). La batimetría

del Golfo es relativamente suave, con isobatas que siguen la línea costera en la sección sur, mientras que hacia el norte es modificada drásticamente por el Cañón del Bío-Bío (Djurfeldt 1989; Bernhardt *et al.* 2015). La dinámica de la hidrografía y circulación de este sistema presenta una alta variabilidad, dada la influencia de forzantes como las mareas, el viento, la surgencia costera, además de la descarga de agua dulce del río Biobío, todas las cuales interactúan entre sí en diferentes escalas espaciales y temporales (Parada *et al.* 2001; Sobarzo *et al.* 2001). La productividad de este sistema es variable, estando sujeta a los periodos de intensificación y relajación de la surgencia costera (Ahumada & Chuecas 1979; Sobarzo *et al.* 1993; Sobarzo 1994; Arcos *et al.* 1995). La formación de plumas de surgencia y transporte de masas de agua advectada por la surgencia costera son responsables de la alta productividad del Golfo, alcanzando una de las tasas de producción primaria más altas de las costas frente a Chile (Montero *et al.* 2007), con alta heterogeneidad en el patrón de distribución de la biomasa planctónica.

El Golfo de Arauco es además un importante centro de desove y retención de larvas de especies pelágicas comerciales y no comerciales (Thiel *et al.* 2007), incluyendo estados tempranos de recursos pelágicos, demersales y bentónicos (Palma 1994, Landaeta & Castro 2006, Yannicelli *et al.* 2006, Landaeta *et al.* 2006). Esta alta productividad sustenta importantes pesquerías locales de peces (Cubillos & Arcos 2002; Melo *et al.* 2005) y de recursos bentónicos (Hernández *et al.* 2011).

La intensa actividad extractiva de recursos pesqueros que se produce en el Golfo de Arauco, ocurre en conjunto con múltiples usos industriales, agrícolas, forestales y urbanos. Al ser un área de alta riqueza de recursos hidrobiológicos, se concentran importantes caletas pesqueras artesanales e infraestructura asociada a la pesca artesanal e industrial, convirtiéndose en un polo de actividad industrial. Debido a estas condiciones, este golfo recibe un flujo constante de residuos que provienen de diversos emisarios industriales y domésticos situados en la costa, que afectan las condiciones ambientales de la zona costera, particularmente en las áreas más industrializadas.

Considerando estos antecedentes, y reconociendo la relevancia de realizar una descripción adecuada de los usos territoriales costeros como un paso esencial para avanzar en el análisis de los efectos ambientales y ecológicos de la contaminación proveniente de fuentes fijas y difusas, en esta contribución se presenta una revisión actualizada de los usos territoriales de la zona costera del Golfo de Arauco, utilizando información proveniente de diversas fuentes oficiales cubriendo el periodo 2015-2024, como un insumo que puede proveer de información de contexto para los resultados de

estudios ambientales y ecológicos, así como para el diseño de medidas para el control de la contaminación y la generación de estrategias de protección de su biodiversidad.

METODOLOGÍA

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a la zona costera del Golfo de Arauco, considerando la zona costera entre la Península de Hualpén (36°47' S; 73°13' O) y Punta Lavapié (37°09' S; 73°35' O). La extensión territorial del área de interés abarca una superficie de 2.073 km², con un ancho (este-oeste) máximo de 39,5 km y una longitud (norte-sur) de 52,5 km (Fig. 1).

Esta zona incluye parcialmente a las comunas de Hualpén, San Pedro de La Paz, Coronel y Arauco, abarcando los principales centros poblados e industriales de la zona costera, los que totalizan 376.100 habitantes, que representan el 18,4 % de la población regional. La zona se caracteriza como un ecosistema costero relevante que alberga una alta biodiversidad, además de especies de interés comercial para la pesca y la acuicultura. Adicionalmente, la zona es caracterizada como una bahía multiusuario que concentra una importante actividad industrial, por lo cual enfrenta desafíos complejos en un territorio donde conviven diferentes tipos de actividades industriales, portuarias, turísticas, de prestación de servicios y comercio, cuyo desarrollo armónico requiere de una mirada integrada.

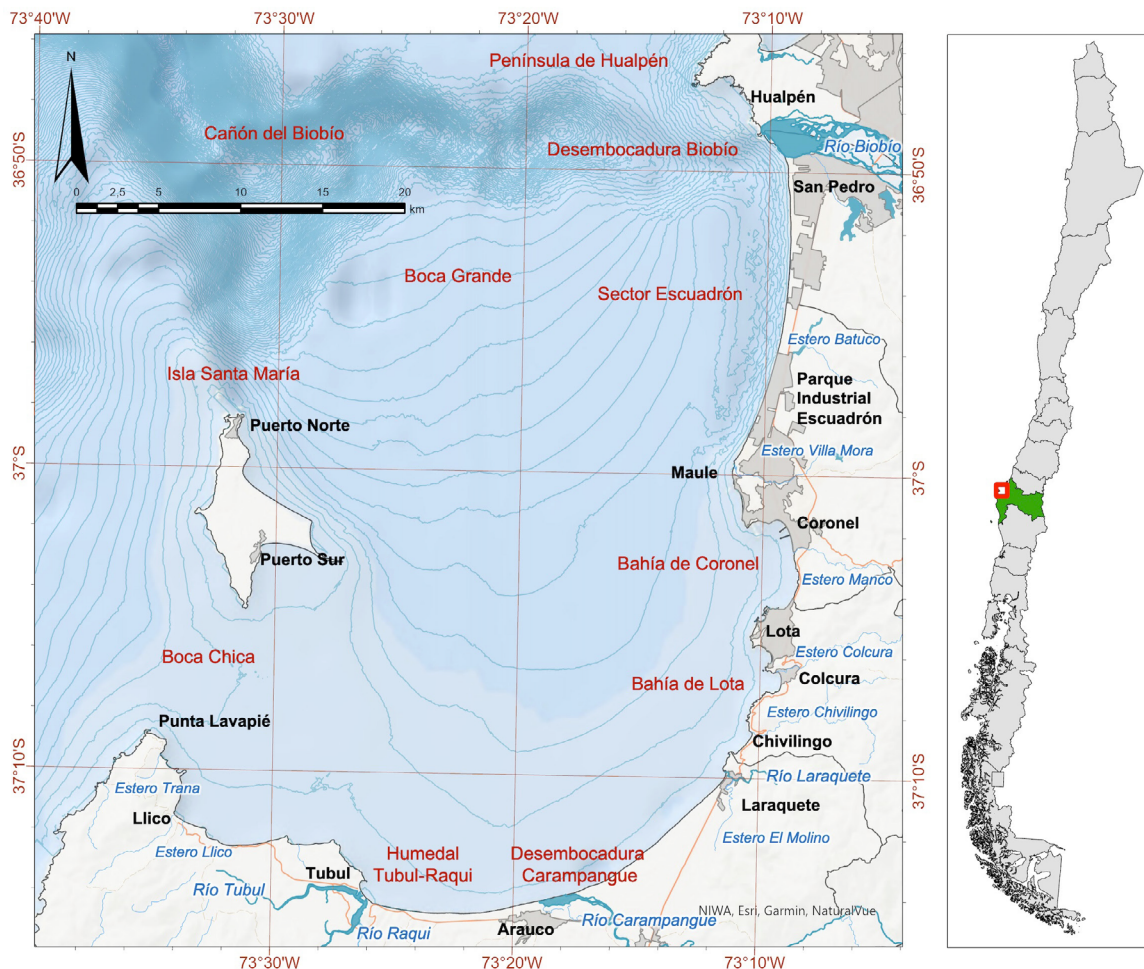


FIGURA 1. Ubicación del Golfo de Arauco, zonas (letras rojas), localidades (letras negras) y cuerpos de agua (letras azules) referidos en el presente análisis. Coordenadas en grados, Datum WGS-84. / Location of the Gulf of Arauco, zones (red letters), localities (black letters) and water bodies (blue letters) referred to in this analysis. Coordinates in degrees, Datum WGS-84.

Usos DE LA ZONA COSTERA

Para la caracterización de los usos territoriales de la zona de estudio, se siguieron las directrices e indicaciones presentadas en la “Guía para la descripción del uso del territorio en el SEIA” (SEA, 2013), la cual aporta bases para la caracterización de los componentes del uso del suelo existente y planificado.

La información relativa a los usos territoriales, se obtuvo de la revisión de plataformas de organismos del Estado que aportan información oficial del contexto territorial del área de estudio. En la Tabla 1 se presentan las fuentes de información consideradas, dentro de las cuales destacan la batimetría obtenida desde la carta SHOA 6120 (Golfo de Arauco), la línea de costa, límites urbanos e hidrografía, obtenidos desde los capas nacionales disponibles en la Biblioteca del Congreso Nacional, BCN (<https://www.bcn.cl/>). Para el caso de la identificación de las zonas de conservación, se recurrió a la plataforma Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad, SIMBIO (<https://simbio.mma.gob.cl/>), iniciativa del Ministerio del Medio Ambiente que tiene como propósito brindar acceso libre a información actualizada sobre la diversidad biológica e iniciativas de conservación a lo largo de territorio nacional.

Para el caso de la información sobre actividades económicas desarrolladas en el Golfo de Arauco, se obtuvo información desde la plataforma Infraestructura de Datos

Geoespaciales, IDE (<https://www.ide.cl>), sitio web que mantiene información actualizada sobre los principales usos del territorio nacional. Desde esta plataforma se puede obtener información actualizada sobre Áreas Apropriadas para el desarrollo de la Acuicultura (AAA), Concesiones de Acuicultura (CCAA) autorizadas y en trámite, caletas pesqueras, entre otros. Destaca también la solicitud de información efectuada en mayo 2023 a la Subsecretaría de Fuerzas Armadas (SSFA) sobre la totalidad de concesiones marítimas (CCMM) otorgadas y en trámite para la zona de estudio.

A partir de la integración de toda esta información, fue posible realizar una caracterización actualizada de los principales usos de la zona costera en el Golfo de Arauco.

FUENTES FIJAS

La identificación de la ubicación espacial de fuentes fijas fue efectuada a partir del análisis y sistematización de la ubicación geográfica de las descargas de residuos industriales líquidos (RILes) provista por la Subsecretaría del Medio Ambiente y obtenida desde Hernández *et al.* (2020), actualizada con base en una revisión de la información disponible en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Los puntos de descarga fueron posicionados sobre una cartografía del Golfo de Arauco, que incluye además la información asociada a

TABLA 1. Tipo y fuentes de información utilizadas en la caracterización de usos territoriales del Golfo de Arauco. / Type and sources of information used in the characterization of territorial uses of the Gulf of Arauco.

Categoría	Tipo de información	Fuente y año
Características físicas	Batimetría	SHOA 6210 - Golfo de Arauco (2004)
	Límites zona costera	Biblioteca Congreso Nacional (BCN 2021)
	Zonas urbanas	Biblioteca Congreso Nacional (BCN 2021)
	Hidrografía	Biblioteca Congreso Nacional (BCN 2021)
Áreas de conservación	Áreas protegidas	SIMBIO (2024)
	Otras medidas de conservación privadas	SIMBIO (2024)
	Concesiones Marítimas (CCMM)	SSFA (2023) datos solicitados por transparencia
	Áreas de Manejo (AMERB)	IDE - SSPA (2024)
Actividades económicas	Áreas Apropriadas para la Acuicultura (AAA)	IDE - SSPA (2024)
	Concesiones de acuicultura (CCAA)	IDE - SSPA (2024)
	Caletas pesqueras	IDE - SSPA (2024)
	Instalaciones e infraestructura costera	IDE - DOP (2024)
Fuentes fijas	Ubicación de descargas de emisarios submarinos	SSMA & Hernández <i>et al.</i> (2020)
Fuentes difusas	Catastro de uso de suelo y vegetación - Región del Biobío	IDE - CONAF (2015)
	DIA - EIA aprobados para la Región del Biobío	SEIA (2024)

Destinaciones y Concesiones Marítimas, que fue solicitada en mayo de 2023 a la Subsecretaría de Fuerzas Armadas vía transparencia. Con base en este análisis se identificó las siguientes categorías:

- Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)
- Fábricas de alimentos
- Procesadoras de recursos pesqueros
- Termoeléctricas
- Plantas de Celulosa

Esta clasificación permitió determinar cambios en los tipos de descarga de efluentes a lo largo del Golfo de Arauco y, sobre esta base, caracterizar la presencia de fuentes de contaminación fijas presentes en la zona de estudio.

FUENTES DIFUSAS

Para la identificación de fuentes difusas, se consideró como potenciales fuentes de contaminación aquellos usos del territorio que puedan albergar actividades que generen efectos sobre la zona costera debido a escurrimiento superficial o al transporte de partículas. Este tipo de contaminación sería generada por actividades que en su origen son de carácter puntual, pero dadas las particularidades del transporte de los contaminantes, se catalogan como una fuente difusa (Escobar 2002).

Para poder identificar y caracterizar las fuentes difusas que podrían alterar la calidad del agua en el golfo y zonas adyacentes, se analizó la información sobre usos del borde costero (industrias, asentamientos humanos, agricultura, silvicultura, entre otros), utilizando como base de información el Catastro de Uso de Suelo y Vegetación, elaborado por CONAF que contiene la actualización de los usos de suelo y tipos vegetacionales para todo el país. Específicamente para la Región del Biobío, la información disponible en el catastro corresponde al año 2015 y se presenta la caracterización en escala 1:50.000. El análisis fue complementado con una revisión de las imágenes satelitales disponibles para la zona de estudio (World Imagery ArcGis, actualizado a noviembre de 2023). Complementariamente, y como una forma de caracterizar el tipo de uso industrial presente a lo largo del borde costero, se revisó la ubicación espacial de los proyectos con Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Estudios de Impacto Ambiental (EIA) aprobados en el Golfo de Arauco, con énfasis en aquellos proyectos que puedan tener impacto en la zona costera. La información fue descargada en formato KMZ desde el buscador de proyectos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), dependiente del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) (<https://seia.sea.gob>.

[cl/busqueda/buscarProyecto.php](https://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php)).

La georreferenciación de los usos del territorio costero identificados como fuentes difusas permitió su posterior clasificación de acuerdo a las siguientes categorías:

- Depósito de cenizas
- Puerto de carga y descarga multipropósito
- Astilleros
- Embarcaderos y muelles
- Almacenamiento de sustancias peligrosas
- Industria química (resinas, fenoles, metanol)
- Aserraderos y plantas de astillado
- Extracción de áridos
- Abastecimiento de gas natural
- Elaboración de cemento
- Termoeléctricas

Toda la información generada a partir de la identificación de usos territoriales, fuentes fijas y fuentes difusas identificadas fue incorporada en cartografías para el Golfo de Arauco, utilizando las herramientas de geoproceto disponibles en el software ArcGIS Pro, versión 3.1.1.

RESULTADOS

USOS ZONA COSTERA

En la Fig. 2 se entrega el análisis de los principales usos marítimos del Golfo de Arauco. En el golfo existen al 2023, 135 concesiones marítimas (CCMM) otorgadas y 61 en trámite. Dentro de las concesiones otorgadas, destaca la presencia de 36 Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), con una superficie decretada total de 4.268 ha, además de concesiones de uso industrial, tales como emisarios submarinos y muelles, los cuales poseen una mayor presencia en la zona ubicada entre la desembocadura del Biobío y Coronel (comunas San Pedro y Coronel), con un total de 41 CCMM de uso industrial autorizadas. Dentro de las CCMM en trámite, es relevante la presencia de 32 solicitudes de concesiones de acuicultura (CCAA), de las cuales tres corresponden a solicitudes para el cultivo de algas (pelillo), todas ubicadas en la comuna de Lota, 11 solicitudes para el cultivo de moluscos, ubicadas en las comunas de Lota (una solicitud), Coronel (una solicitud) y Arauco (nueve solicitudes entre Tubul y Punta Lavapié), y 18 solicitudes para el cultivo de salmónidos, ubicadas en las comunas de Hualpén (una solicitud al norte de la desembocadura del río Biobío), San Pedro (cinco solicitudes en el sector Escuadrón), Coronel (cinco solicitudes rodeando Isla Santa María) y Arauco (siete solicitudes ubicadas entre Laraquete y Tubul).

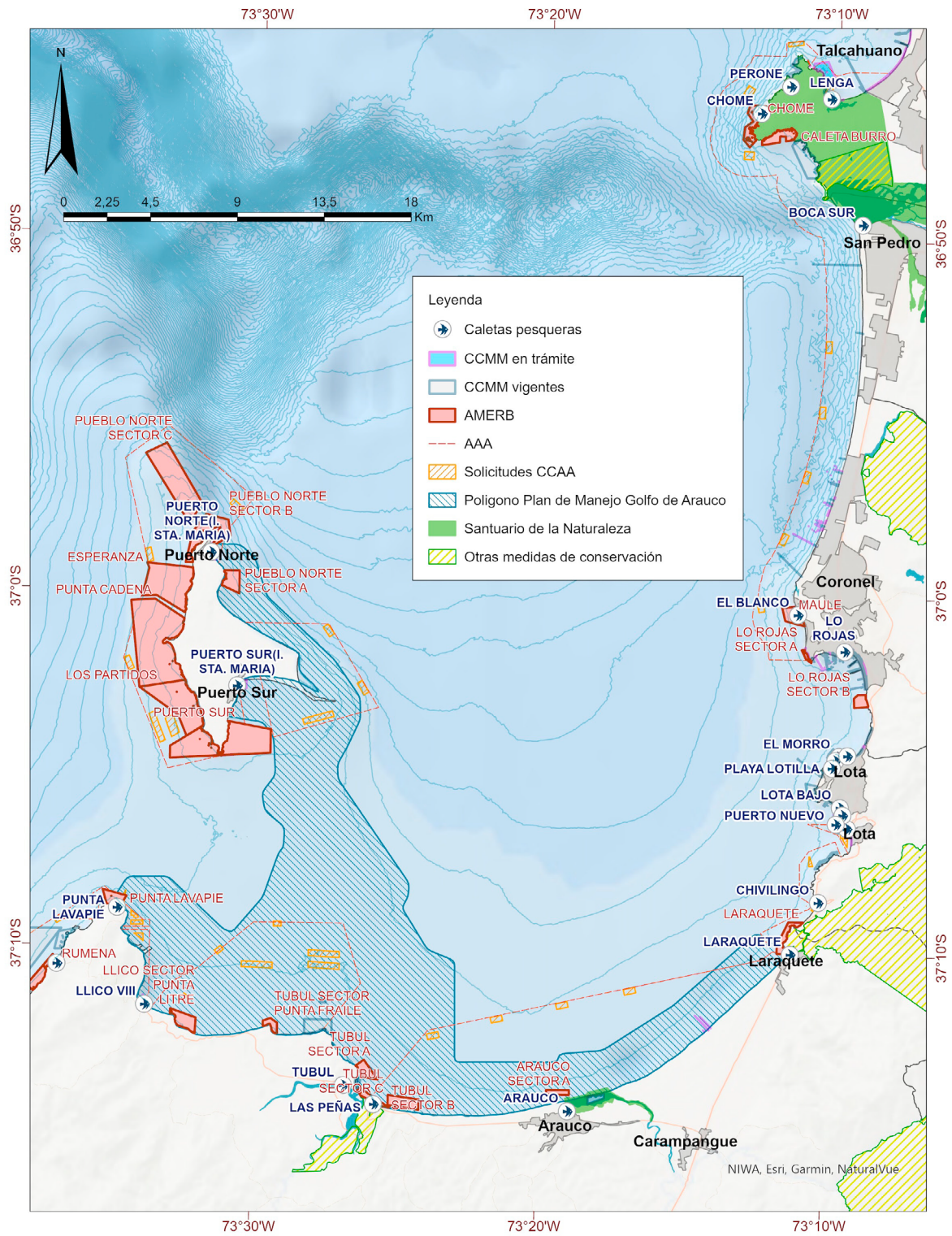


FIGURA 2. Principales usos territoriales de la zona costera del Golfo de Arauco. / Main territorial uses of the coastal zone of the Gulf of Arauco

En cuanto a figuras de conservación colindantes a la zona costera, en el Golfo de Arauco es relevante la presencia de los Santuarios de la Naturaleza Humedal de Hualpén (al norte de la desembocadura del Biobío), Desembocadura del Biobío (comuna de San Pedro de la Paz) y Desembocadura del Río Carampangue (comuna de Arauco). Adicionalmente, en el Golfo de Arauco existen iniciativas de conservación privadas, entre las que destacan los Parques Pedro del Río Zañartu (comuna de Hualpén) y parque Jorge Alessandri (comuna de Coronel), el Bien Nacional Protegido Humedales de Isla Raquí (al sur de Tubul), además de la presencia de zonas de protección asociadas con la figura Áreas de Alto Valor de Conservación (AAVC) para empresas forestales, entre las que figuran AAVC Pitao y Chaura de Laraquete de Chivilingo (al norte de Laraquete) y el AAVC Humedal Tubul-Raquí (al sur de Tubul), la cual colinda con Humedales de Isla Raquí.

Uno de los usos costeros más relevantes a lo largo del borde costero del golfo es la pesca artesanal, con un total de 20 caletas de pescadores artesanales oficialmente reconocidas, dedicadas a la extracción de diferentes especies de peces (sardina, anchoveta, mote, jurel, merluza, etc.), invertebrados (jibia, navajuela, huepo, taquilla, loco, lapas, etc.) y algas (cochayuyo, pelillo, luga, etc.). Destaca además como uno de los usos territoriales de mayor extensión, los límites del Plan de Manejo de recursos bentónicos huepo (*Ensis macha*), navajuela (*Tagelus dombeii*) y taquilla (*Mulinia edulis*) del Golfo de Arauco (PMGA), bajo el cual se realiza la administración de la pesquería de estas especies, la cual corresponde a la principal actividad extractiva de moluscos de la Región del Biobío. En efecto, la pesquería de huepo, navajuela y taquilla en el Golfo de Arauco representa el 75 % de los desembarques nacionales de ambas especies y más del 20 % del desembarque artesanal nacional de moluscos, convirtiéndola en una de las principales pesquerías bentónicas artesanales del territorio nacional (Hernández *et al.* 2011).

Adicionalmente, la presencia de obras asociadas con infraestructura portuaria a lo largo del Golfo de Arauco, particularmente en Maule, El Morro de Lota, Lota Bajo, Puerto Nuevo de Lota, Laraquete, Tubul, Llico y Punta Lavapié, releva la importancia de las caletas pesqueras a lo largo de golfo.

FUENTES FIJAS

En la Fig. 3 se entrega el posicionamiento espacial de las fuentes de emisión fijas (RILes) a la columna de agua del Golfo de Arauco, clasificadas según las categorías indicadas en la Tabla 2. A partir de este análisis fue posible identificar un total de 27 descargas directas al Golfo de Arauco. La mayor presencia de descargas directas ocurre entre la desembocadura del Biobío y Lota, destacando una alta presencia de descargas al norte de Coronel, en la zona de Escuadrón (cinco fábricas de alimentos, tres Plantas de

Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), dos procesadoras de recursos pesqueros y una papelera) y en Bahía de Coronel (seis procesadoras de recursos pesqueros, dos PTAS, dos termoeléctricas y una fábrica de alimentos). En Bahía de Lota, las descargas directas corresponden a dos plantas procesadoras de recursos pesqueros, mientras que entre Laraquete y Arauco, destaca la presencia de dos PTAS (Laraquete y Carampangue), además del emisario submarino de Celulosa Arauco. Posteriormente, entre Arauco y Punta Lavapié, no existe presencia de emisarios submarinos con descarga directa al Golfo de Arauco.

FUENTES DIFUSAS

En la Fig. 4 se entrega el análisis del posicionamiento espacial de las fuentes de contaminación difusas presentes a lo largo del borde costero del Golfo de Arauco, considerando como base las categorías definidas en el Catastro de Uso de Suelo y Vegetación de CONAF (2015), el análisis de fotografías satelitales actualizado (ArcGIS) y los proyectos con DIA e EIA aprobados en la zona costera golfo (SEIA). Para el análisis de los usos del Catastro de Uso de Suelo y Vegetación de CONAF, se identifican en esta figura las áreas urbanas e industriales (en gris), áreas de uso forestal (en tonalidades verdes) zonas agrícolas (en naranja) y zonas húmedas (en tonalidades celestes).

A partir de este análisis, es posible establecer que en la zona de la desembocadura del río Biobío destaca el uso urbano, con una importante actividad de extracción de áridos, producción de gas natural y presencia de residuos de celulosa o papel. Hacia el Sector Escuadrón las principales fuentes difusas se asocian con la extracción de áridos, industria química y almacenamiento de sustancias químicas, además de papeleras y aserraderos. En la Bahía de Coronel, destaca el uso urbano, la presencia de aserraderos, depósitos de cenizas, el embarcadero artesanal, el puerto multipropósito y emisiones aéreas asociadas a la presencia de plantas termoeléctricas. En la Bahía de Lota, las principales fuentes difusas se asocian con el uso urbano, la presencia de un astillero, el embarcadero artesanal, almacenamientos de sustancias químicas y extracción de gas natural. Al sur de esta bahía comienza a apreciarse de forma importante el uso silvícola de la zona costera, extendiéndose por las playas de Colcura y Chivilingo hasta llegar a Laraquete. Entre Laraquete y Arauco las principales fuentes difusas se asocian con extracción de áridos, aserraderos, producción de celulosa, uso silvícola e industria química, todos ubicados al interior del Complejo Forestal Horcones, de Celulosa Arauco y Constitución S.A. Entre Arauco y Punta Lavapié, destaca el uso urbano (ciudad de Arauco) y silvícola, además de la presencia de embarcaderos en Tubul y Llico. Además de un proyecto de extracción de gas natural en la localidad de Llico.

CURSOS DE AGUA

Los cursos de agua dulce constituyen la principal fuente de contaminación del océano (Ruivo 1971; Lerman 1981; Escobar 2002), reciben contaminantes desde fuentes fijas y difusas, por lo tanto, al desembocar en cuerpos de agua marinos, se comportan como una fuente difusa (Liu *et al.* 2021).

El río Biobío es el principal curso de agua dulce que desemboca en el Golfo de Arauco, y a lo largo de su cuenca recibe la descarga de efluentes industriales y domésticos, además de diversos contaminantes provenientes de fuentes difusas. El río Biobío cuenta con una Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) desde el 2015 (Decreto N°9/2015 MMA), en la cual se establece el monitoreo de 19 parámetros ambientales en 14 áreas de vigilancia distribuidas a lo largo de toda su cuenca, lo que implica que existe un control ambiental sobre la carga de los principales contaminantes en el río, que en años recientes ha generado un cambio positivo

en la calidad de sus aguas (Figuroa *et al.* 2020). No obstante, debido al alto caudal de la descarga del Biobío (960 m³/s como promedio anual en su desembocadura), sus efectos se extienden hasta la Bahía de Coronel, afectando tanto la estructura vertical de la columna de agua como los patrones de circulación costera (Vergara *et al.* 2023).

Más hacia el sur, en la comuna de Coronel, desembocan 3 cuerpos de agua (ver Fig. 1), el primero la desembocadura del estero Batuco al norte del Parque Industrial Escuadrón, el segundo estero Villa Mora que pasa por Coronel y desemboca en Caleta Maule. Un tercer estero, el estero Manco, ubicado entre Playa Negra y Playa Blanca, atraviesa plantaciones de monocultivo forestales. En el caso de Lota no existen cursos de agua dulce de importancia que desemboquen hacia el golfo. Posteriormente, al sur de Lota, el estero Colcura atraviesa monocultivos forestales, un parque industrial de madera y caseríos, mientras que el estero Chivilingo atraviesa plantaciones de monocultivos.

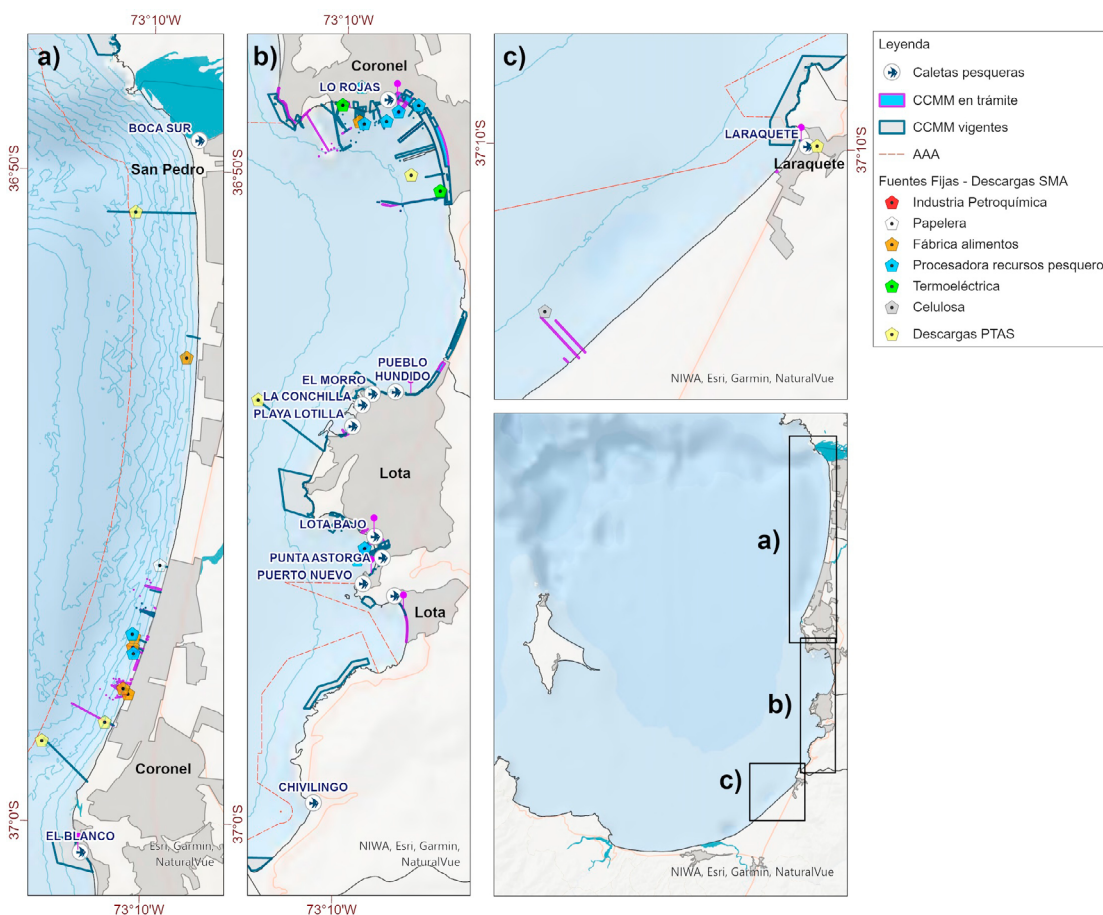


FIGURA 3. Cartografía en paneles para la ubicación de las fuentes de emisión fijas en el Golfo de Arauco. / Panel mapping for the location of stationary emission sources in the Gulf of Arauco

TABLA 2. Ubicación de descargas de RILes (fuentes fijas) identificadas en el Golfo de Arauco y clasificación por tipo de emisión. X e Y representan las coordenadas en UTM, para el Datum WGS-84 y Clase corresponde a la clasificación del tipo de descarga. / Location of identified LIW discharges (stationary sources) in the Gulf of Arauco and classification by type of emission. X and Y represent the UTM coordinates for WGS-84 Datum and Clase corresponds to the classification of the discharge.

Empresa	Y	X	Clase
ESSBIO S.A.	5.920.902	662.999	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)
AGROINDUSTRIAS LOMAS COLORADAS LTDA.	5.916.756	664.443	Fábrica alimentos
FOPACO S.A.	5.910.868	663.680	Papelera
PESQUERA TUBUL S.A.	5.908.917	662.899	Procesadora recursos pesqueros
FIORDO AUSTRAL S.A.	5.908.828	662.952	Fábrica alimentos
EWOS CHILE ALIMENTOS LIMITADA	5.908.545	662.917	Fábrica alimentos
PESQUERA GRIMAR S.A.	5.908.367	662.931	Procesadora recursos pesqueros
RICO FOODS S A	5.907.369	662.637	Fábrica alimentos
AGAR DEL PACIFICO S.A.	5.907.219	662.774	Fábrica alimentos
AGUAS SAN PEDRO S.A.	5.906.415	662.114	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)
ESSBIO S.A.	5.905.898	660.327	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)
ORIZON S.A.	5.901.055	663.356	Procesadora recursos pesqueros
FOODCORP CHILE S.A.	5.901.005	663.001	Procesadora recursos pesqueros
ENEL GENERACION CHILE S.A.	5.900.729	663.001	Termoeléctrica
BLUMAR S.A.	5.900.722	664.405	Procesadora recursos pesqueros
CAMANCHACA PESCA SUR S.A.	5.900.608	664.036	Procesadora recursos pesqueros
OPERACIONES COSTERAS S.A.	5.900.429	663.811	Procesadora recursos pesqueros
FOODCORP CHILE S.A.	5.900.420	663.314	Fábrica alimentos
ORIZON S.A.	5.900.382	663.399	Procesadora recursos pesqueros
ESSBIO S.A.	5.899.434	664.267	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)
COLBUN S.A.	5.899.140	664.805	Termoeléctrica
ESSBIO S.A.	5.895.283	661.438	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)
INDUSTRIAS ISLA QUIHUA S.A.	5.892.538	663.404	Procesadora recursos pesqueros
LOTA PROTEIN S.A.	5.892.323	663.266	Procesadora recursos pesqueros
MUNICIPALIDAD DE ARAUCO	5.885.166	661.193	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)
CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCION S.A.	5.882.105	656.153	Celulosa
ESSBIO S.A.	5.877.238	653.403	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)

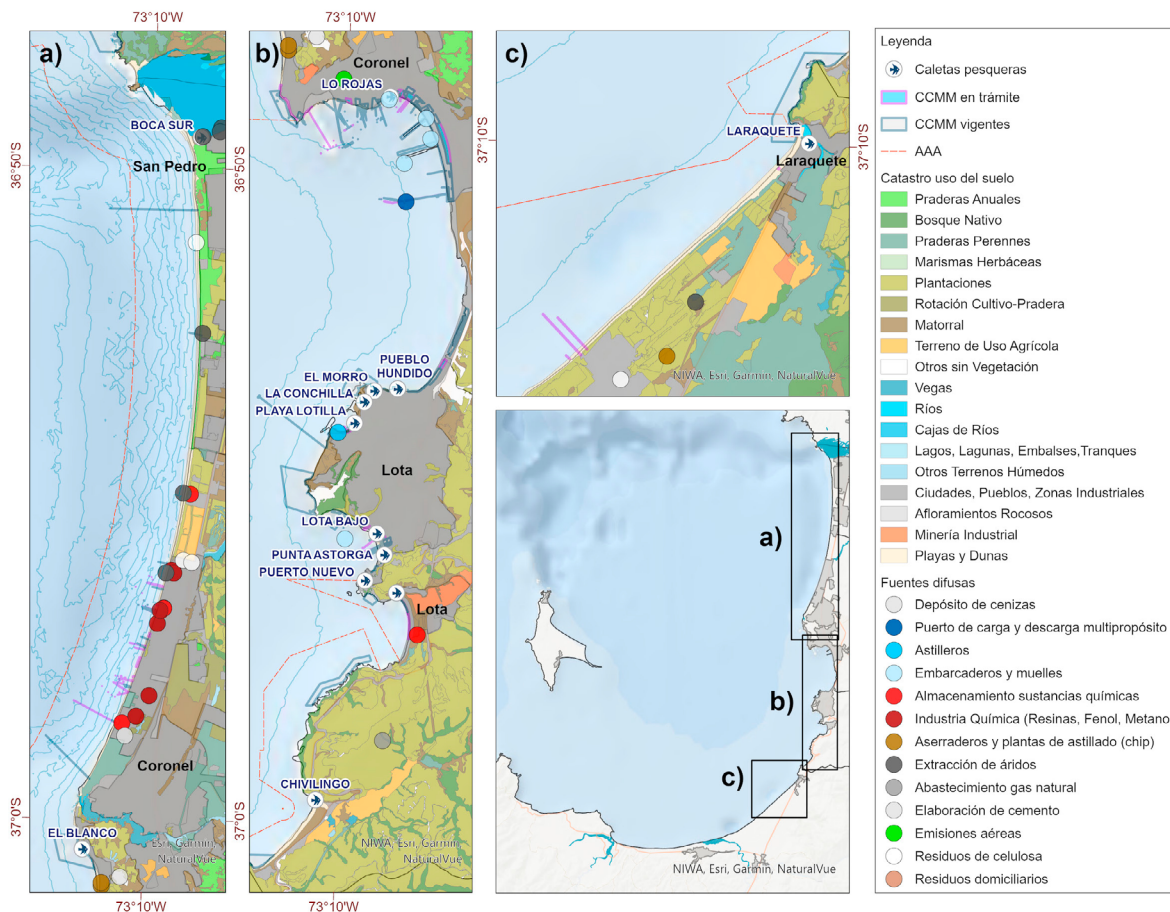


FIGURA 4. Cartografía en paneles para la ubicación de las fuentes de emisión difusas en el Golfo de Arauco. / Panel mapping for the location of diffuse emission sources in the Gulf of Arauco

En la comuna de Arauco, existen tres cuerpos de agua de importancia, el río Laraquete, el Carampangue y el Tubul-Raqui. Los tres cursos de agua dulce están asociados a caletas de pescadores artesanales, atraviesan por sectores de monocultivo forestal y presentan aportes de desechos domiciliarios. Finalmente, hacia el este del golfo, el estero Llico, atraviesa plantaciones forestales y la caleta pesquera del mismo nombre, mientras que el estero Trana desemboca al sur de Punta Lavapié, atraviesa fundamentalmente plantaciones forestales.

EMISIONES AÉREAS

Entre los principales asentamientos urbanos del golfo, destacan San Pedro de la Paz, Coronel, Lota y Arauco. En estas ciudades, durante el invierno, se generan emisiones aéreas de material particulado proveniente de la quema de madera, principal sistema de calefacción de estas localidades. Estas partículas pueden contener, debido a la mala calidad

de la combustión, elementos órgano halogenados tales como las dioxinas y furanos. Además, Coronel y Lota representan importantes centros de desembarque de recursos pesqueros artesanales, existiendo además puertos, muelles, varaderos y obras en el borde costero. Todo el movimiento de embarcaciones y servicios asociados genera aportes difusos, asociados con diversas formas de los hidrocarburos, grasas y aceites y materia orgánica.

Las zonas industriales identificadas en el Sector Escuadrón y en las Bahías de Coronel y Lota cuentan además con hornos y/o calderas que funcionan en base a distintos tipos de combustibles (carbón, petróleo, gas, biomasa, etc.), emitiendo contaminantes a la atmósfera, cuyas concentraciones pueden ser transportadas directamente al mar a través del aire o de escorrentía superficial.

AGUAS SUBTERRÁNEAS

Otra fuente potencial de aportes difusos son las aguas

subterráneas. La Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (Decreto Supremo N°46/2002), establece límites máximos permisibles para la descarga de RILes a aguas subterráneas, con fines de prevenir la contaminación de los acuíferos. Sin embargo, a la fecha no existe una red regular de medición de calidad de acuíferos a lo largo del país, y solo se puede recurrir a estudios de caracterización desarrollados para fines específicos, normalmente de carácter local. De acuerdo con el Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos de la DGA (2004), es posible calcular la vulnerabilidad de los acuíferos, asociando el nivel de penetración con que un contaminante alcanza una posición específica en estos sistemas. El riesgo de contaminación estaría principalmente determinado por las características del acuífero, las que son relativamente estáticas, y por la existencia de actividades potencialmente contaminantes, esencialmente dinámicas. En este sentido, dado que las aguas superficiales y subterráneas poseen un alto grado de interacción, los acuíferos pueden

poseer características similares a los de las aguas superficiales que los recargan.

Considerando la activa interacción entre aguas superficiales y subterráneas, incluyendo la posibilidad de traspasos de contaminantes desde aguas superficiales hacia los acuíferos, las estrategias de protección de acuíferos debieran orientarse hacia el control de las actividades que se desarrollan en superficie, caracterizadas aquí como fuentes fijas y difusas, particularmente en zonas de mayor vulnerabilidad de acuíferos.

Debido a la escasa información asociada a la caracterización aguas subterráneas, tanto en el Golfo de Arauco como en todo el territorio nacional, no está claro si éstas corresponden o no a una fuente potencial de alteración de las características de las matrices marinas del golfo. No obstante, es un aspecto que debiera ser estudiado en el caso del eventual establecimiento de regulaciones ambientales y protección de la biodiversidad marina.

TABLA 3. Cuantificación de descargas fijas y difusas por zona en el Golfo de Arauco. Para la ubicación de las zonas, ver Figura 1. / Fixed and diffuse discharge counts by zone in the Gulf of Arauco. For the location of the zones, see Figure 1.

Zona	Fuentes Fijas	Fuentes difusas	
Sector Escuadrón	Fábrica de alimentos (5)	Ríos (1)	Uso urbano (2)
	PTAS (4)	Esteros (3)	Aserradero (2)
	Procesadora de recursos pesqueros (2)	Industria química (6)	Aserraderos y plantas de astillado (2)
	Papelera (1)	Áridos (5)	Papelera (1)
		Alm. sustancias químicas (3)	Gas natural (1)
Bahía de Coronel	Procesadora de recursos pesqueros (5)	Esteros (1)	Puerto carga y descarga (1)
	PTAS (2)	Embarcaderos y muelles (4)	Astilleros (1)
	Termoeléctricas (2)	Emisiones aéreas (2)	
	Fábrica de alimentos (1)	Depósito de cenizas (2)	
Bahía de Lota	Procesadora de recursos pesqueros (2)	Esteros (1)	Alm. sustancias químicas (1)
		Astilleros (1)	Uso silvícola
		Abastecimiento gas natural (1)	
Laraquete a Arauco	Celulosa (1)	Ríos (2)	Industria química (resinas, fenol, metanol) (1)
	PTAS (2)	Esteros (1)	Extracción de áridos (1)
		Aserraderos y plantas de astillado (2)	Uso silvícola
		Residuos de celulosa (2)	
Arauco a Punta Lavapié		Ríos (2)	Abastecimiento gas natural (1)
		Esteros (2)	Uso silvícola
		Embarcaderos (2)	

DISCUSIÓN

Las zonas costeras de borde oriental constituyen sistemas altamente dinámicos donde ocurre una variedad de procesos físicos, ecológicos y biológicos que los hacen especialmente complejos y altamente productivos (Polis & Hurd 1996; Beck *et al.* 2001; Cury *et al.* 2004; Castelao & Barth 2005; Thiel *et al.* 2007; Seitz *et al.* 2014).

En la zona central de Chile y durante la época estival, las condiciones del océano costero reflejan la inyección de nutrientes en las aguas superficiales, a través de eventos de surgencia que generan altas tasas de producción primaria (Quiñones *et al.* 2010; Bakun *et al.* 2015), las que sustentan la biomasa de niveles tróficos superiores (Wieters *et al.* 2003; Iriarte & González 2004). Durante el invierno, la descarga de aguas continentales provocada por el incremento en las lluvias, aporta nutrientes, materia orgánica y sólidos en suspensión a la plataforma continental (Saldías *et al.* 2012; Saldías *et al.* 2016; Vargas *et al.* 2013). Ambos procesos, surgencia y descarga fluvial, constituyen factores ambientales relevantes en la generación de estratificación y variabilidad de la columna de agua (Sobarzo *et al.* 2007) e influyen sobre un amplio rango de procesos costeros, cuyas escalas temporales van desde horas a estaciones del año (Sobarzo 2021). A nivel de la línea de playa, la morfología de la costa puede modificarse drásticamente en respuesta a los procesos de acreción y erosión producidos por el efecto del viento, olaje, mareas, cambios en el nivel del mar y actividades humanas (Gao *et al.* 2023; Villagrán *et al.* 2023).

Además de toda esta variabilidad natural, los factores de estrés ambiental asociados con la contaminación marina actúan de forma concurrente y sinérgica, reduciendo la funcionalidad y capacidad de los hábitats costeros para proporcionar servicios ecosistémicos claves para el bienestar humano (Sandifer *et al.* 2014). La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR 1982) en su Artículo 1, define contaminación marina como *“la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía en el medio marino incluidos los estuarios, que produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, incluidas la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua del mar para su utilización y menoscabo de los lugares de esparcimiento”*. Esta definición considera como fuentes contaminantes a una variedad de aportes antrópicos capaces de generar alteraciones al medio marino, incluyendo emisarios submarinos, transporte de ríos, estuarios y canales, así como aportes provenientes de flujos superficiales y subterráneos (Escobar 2002), todas las cuales han sido analizadas para el caso del Golfo de Arauco.

Las diferentes actividades industriales han sido fuente

de conflicto con la sociedad civil en esta zona. Las empresas termoeléctricas que operaron y operan aún en Coronel, han sido una de las fuentes de los principales conflictos socioambientales del territorio, haciendo que Coronel fuera identificada como una “zona de sacrificio”, generando movimientos ambientalistas con repercusión nacional. Los conflictos socioambientales en esta zona provocaron un cambio en el tejido social y la dinámica en el territorio del golfo, habiendo aumentado significativamente la atención de la ciudadanía hacia temas de protección ambiental. Actualmente el Programa para la Recuperación Ambiental y Social (PRAS) de Coronel convoca a actores de la sociedad civil y empresas que integran el Consejo para la Recuperación Ambiental y Social (CRAS) de Coronel con el objetivo de recuperar ambientalmente el territorio de Coronel y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comuna.

La industrial forestal y de celulosa ha sido también objeto de tensión histórica entre la empresa y actores locales, incluidos pueblos originarios, pescadores y sociedad civil organizada. Un ejemplo es el proyecto MAPA (Modernización y Ampliación de la Planta Arauco), de Celulosa Arauco y Constitución S.A., que se encuentra constantemente monitoreado por el Estado y organizaciones no gubernamentales nacionales e internacionales. La empresa ha generado sistemas de acercamiento con organizaciones locales, incluyendo a actores de la pesca artesanal que representan parte de la actividad extractiva de pequeña escala que se desarrolla en el golfo, proceso que no ha estado exento de tensiones con otras organizaciones de la provincia de Arauco.

Estos son ejemplos que demuestran la complejidad del establecimiento de proyectos industriales en una zona costera como es el Golfo de Arauco y plantean la necesidad de integrar las dimensiones ecológicas y socioeconómicas en la gestión territorial, incluyendo el desarrollo de levantamientos que aborden el análisis crítico del uso de los espacios costeros, la evaluación de los servicios ecosistémicos locales, la vulnerabilidad de las comunidades costeras, procurando la generación de mecanismos de gobernanza inclusiva que consideren las dinámicas socioeconómicas locales en el largo plazo.

El análisis de las fuentes de contaminación del Golfo de Arauco aquí presentado consideró una revisión actualizada de los usos territoriales de la zona costera y de las principales fuentes de contaminación que tienen el potencial de afectar la condición química de las aguas del golfo y subsecuentemente su biodiversidad. Esta revisión, reconoce una subdivisión entre fuentes fijas (emisarios submarinos), fuentes difusas (áreas de depósitos industriales que pueden afectar por escorrentía al golfo), cursos de agua (ríos y esteros), fuentes de emisiones aéreas y aguas subterráneas.

A partir del análisis de esta recopilación, en la Tabla 3 se

sintetizaron las principales fuentes fijas y difusas presentes a lo largo del golfo, observándose que en el Sector Escuadrón (desembocadura del Biobío a Coronel) es donde produce la mayor diversidad de descargas fijas (N=11) y de fuentes de contaminación difusas (N=26), seguida de la Bahía de Coronel (11 descargas fijas y 11 fuentes difusas) y Bahía de Lota (2 descargas fijas y 5 fuentes difusas). En la zona comprendida entre Laraquete y Arauco, destaca la presencia de 2 PTAS (Laraquete y Carampangue), además del emisario submarino de la Planta de Celulosa Arauco, mientras que como fuentes difusas se identifican el estero Chivilingo, los Ríos Laraquete y Carampangue, además de aserraderos, residuos de celulosa, áridos e industria química, estos últimos ubicados dentro del complejo industrial Horcones de Arauco. En la zona comprendida entre Arauco y Punta Lavapié, no existen descargas directas, sino principalmente fuentes difusas asociadas a la presencia de los ríos Tubul y Raqui y los esteros Llico y Trana, además de embarcaderos artesanales y una planta de abastecimiento de gas natural en Llico. Destaca desde la Bahía de Lota hasta Punta Lavapié el uso intensivo silvícola del borde costero, que representa una fuente de aporte difuso de pesticidas y compuestos organoclorados utilizados en el control de malezas asociadas a la producción forestal.

El contraste de estas fuentes de emisión con los principales usos del territorio (ver Fig. 2), permite observar que las zonas desde donde se realiza la mayor proporción de la extracción de especies bentónicas para consumo humano directo (Polígono del Plan de Manejo del Golfo de Arauco y 14 AMERBs ubicadas entre Arauco y Punta Lavapié, además de Isla Santa María), corresponde a una zona libre de emisarios submarinos (descargas industriales o domiciliarias), siendo los ríos y esteros las principales fuentes de contaminantes, además del uso silvícola del borde costero y algunos embarcaderos artesanales. Por el contrario, en la zona ubicada entre la desembocadura del Biobío y Lota, se observa un uso industrial intensivo del borde costero, con más de 24 descargas de efluentes y un total de 42 fuentes difusas identificadas. Esta zona además es modulada por la presencia de la descarga del río Biobío, cuyos efectos durante la época invernal se extienden hasta el sur de Coronel (Vergara *et al.* 2023). La zona comprendida entre Laraquete y Arauco, correspondería a una zona de transición, donde los principales aportes de contaminantes estarían asociados con las descargas de los ríos Laraquete y Carampangue (ambos con presencia de PTAS), además de la presencia del Complejo Industrial MAPA, de Celulosa Arauco y Constitución S.A., el cual posee capacidad de producción total de 2.100.000 toneladas anuales de celulosa, lo que la convierte en la mayor planta productora de celulosa a nivel nacional.

Esta sinopsis, entrega un panorama general de los

principales usos de la zona costera del Golfo de Arauco, el que desde el punto de vista fisicoquímico, representa una base para facilitar el entendimiento de los patrones espaciales en las características de la columna de agua y sedimentos marinos, así como los cambios en la estructura y composición de la biodiversidad marina. Esta dimensión representa uno de los aspectos que deben ser considerados para una caracterización integral de la zona costera en un sistema tan complejo como el Golfo de Arauco. Aspectos demográficos, culturales y sociales, así como sistemas de gobernanza y de participación comunitaria, no han sido abordados en esta síntesis y representan un desafío para lograr una caracterización que capture la complejidad de las interacciones entre los sistemas naturales y sociales presentes en el Golfo de Arauco.

El levantamiento aquí presentado, resultará útil para el entendimiento de los factores que pueden explicar la variabilidad en parámetros y mediciones de carácter ambiental, que pueden sustentar el desarrollo futuro de estrategias de mitigación y de gestión de zonas sensibles, posibilitando además el establecimiento de niveles basales de indicadores ambientales que pueden ser monitoreados en el marco de Normas Secundarias de Calidad Ambiental. El análisis de los usos de la zona costera, puede también permitir la generación de estrategias de manejo adaptativas, guiando el desarrollo local hacia una dirección más segura y resiliente (Wu & Barrett 2022), o eventualmente apoyar el desarrollo de estrategias de conservación y manejo territorial participativas (COI-UNESCO 2009).

CONCLUSIONES

El Golfo de Arauco corresponde a un sistema costero complejo, donde confluyen diferentes usos del territorio, entre los cuales la actividad pesquera, las industrias asociadas a la pesca, las termoeléctricas, la industria forestal y de celulosa, resultan especialmente relevantes.

El análisis de los usos territoriales del golfo reveló un importante número de fuentes de contaminación en la zona costera, las que incluyen 25 emisarios submarinos, 47 sectores de contaminación difusa, además de 13 descargas de aguas continentales, entre las cuales, la del río Biobío constituye la de mayor importancia.

La zona ubicada entre la desembocadura del Biobío y Lota, se caracteriza por el uso industrial intensivo de la zona costera, con 22 emisarios submarinos y un total de 42 fuentes difusas identificadas. Esta zona además es modulada permanentemente por la presencia de la descarga del río Biobío, cuyos efectos durante la época invernal se extienden hasta el sur de Coronel.

La zona comprendida entre las localidades de Laraquete y Arauco, corresponde a una zona de transición, donde los principales aportes de contaminantes se asocian con la presencia de los ríos Laraquete y Carampangue, además de la descarga de efluentes de celulosa del Complejo Industrial Horcones, de Celulosa Arauco y Constitución S.A.

La zona ubicada entre Arauco y Punta Lavapié es donde se realiza la mayor proporción de la extracción de especies bentónicas (Polígono del Plan de Manejo del Golfo de Arauco y 14 AMERBs operativas). Esta zona está libre de emisarios submarinos, siendo las desembocaduras de ríos y esteros las principales fuentes de contaminación, además del uso silvícola del borde costero y algunos embarcaderos artesanales.

El levantamiento de usos de la zona costera aquí presentado, permite identificar las principales fuentes de perturbación ambiental presentes en el Golfo de Arauco, en una zonificación espacial que puede facilitar el entendimiento de la dinámica ambiental del golfo, para el establecimiento de indicadores bióticos y abióticos que puedan ser monitoreados en el contexto del establecimiento de Normas Secundarias de Calidad Ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al Proyecto Red de Monitoreo Ambiental de Ecosistemas Marinos del Golfo de Arauco, financiado por el Ministerio del Medio Ambiente. Además, a los profesionales científico-técnicos que participaron de las actividades de terreno y a la tripulación de la L/C Kay-Kay II, del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción. Agradecemos también la revisión anónima realizada a nuestro manuscrito, cuyos comentarios y sugerencias permitieron generar una versión mejorada del artículo. Eduardo Hernández-Miranda fue financiado parcialmente por INCAR-FONDAP-1522A0004-1523A0007.

REFERENCIAS

- Adger, W.N., Quinn, T., Lorenzoni, I., Murphy, C., Sweeney, J. 2013. Changing social contracts in climate adaptation. *Nature Climate Change* 3, 330-333. <https://doi.org/10.1038/nclimate1751>
- Ahumada, R., Chuecas, L. 1979. Algunas características hidrográficas de la Bahía de Concepción (36°40'S; 73°02'W) y áreas adyacentes, *Gayana Miscelánea*, 8: 1-56. <https://doi.org/10.29393/GM8-1ACRL20001>
- Arcos, D., Núñez, S., Urrutia, A., Chuecas, L. 1995. Shelf-embayment water exchange and residence times within Concepcion Bay, Chile. *Gayana Oceanología (Chile)* 3: 75-87.
- Bakun, A., Black, B.A., Bograd, S.J., García-Reyes, M., Miller, A.J., Rykaczewski, R.R., Sydeman, W.J. 2015. Anticipated effects of climate change on coastal upwelling ecosystems. *Current Climate Change Reports* 1: 85-93. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0008-4>
- Beck, M.W., Heck Jr., K.L., Able, K.W., Daniel, L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., Orth, R.J., Sheridan, P.F., Weinstein, M.P. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience* 51(8): 633-641. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0633:TICAMO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0633:TICAMO]2.0.CO;2)
- Bennett, N.J., Blythe, J., Cisneros-Montemayor, A.M., Singh, G.G., Sumaila, U.R. 2019. Just transformations to sustainability. *Sustainability* 11: 3881. <https://doi.org/10.3390/su11143881>
- Bernhardt, A., Melnick, D., Jara-Muñoz, J., Argandoña, B., González, J., Strecker, M.R. 2015. Controls on submarine canyon activity during sea-level highstands: The Biobio canyon system offshore Chile. *Geosphere* 11(4). <https://doi.org/10.1130/GES01063.1>
- Carlsson, L., Berkes, F. 2005. Co-management: Concepts and methodological implications. *Journal of Environmental Management* 75(1): 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.008>
- Castelao, R.M., Barth J.A. 2005. Coastal ocean response to summer upwelling favorable winds in a region of alongshore bottom topography variations off Oregon. *Journal of Geophysical Research* 110(C10). <https://doi.org/10.1029/2004jc002409>
- Cinner, J.E., Graham, N.A.J., Huchery, C., MacNeil, M.A. 2012. Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. *Global Environmental Change* 22(1): 12-30. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.09.018>
- COI-UNESCO. 2009. Marine Spatial Planning: A Step-by-Step Approach toward Ecosystem-Based Management. Paris, UNESCO. (IOC Manuals and Guides No. 53). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186559>
- CONVEMAR. 1982. Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. 230 pp.
- Cubillos, L.A., Arcos, D.F. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) in the 1990s, and impact of the 1997-98 El Niño. *Aquatic Living Resources* 15: 87-94. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(02\)01158-0](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(02)01158-0)
- Cury, P.M., Freón, P., Moloney, C.L., Shannon, L.J., Shin, Y. 2004. Processes and patterns of interactions in marine fish populations: An ecosystem perspective. Chapter 14. In: Robinson, A.R., McCarthy, J., Rothschild, B.J. (Eds.) *The Sea*. 475-553 pp. Harvard College.
- Djurfeldt, L. 1989. Circulation and mixing in a coastal upwelling embayment; Gulf of Arauco, Chile. *Continental Shelf Research* 9(11): 1003-1016. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(89\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0278-4343(89)90004-6)
- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL División de Recursos

- Naturales e Infraestructura. UNEP, Santiago, Chile. 68 pp.
- Figueroa, R., Parra, O., Díaz, M. 2020. La cuenca hidrográfica del río Biobío. In: EULA-Chile Centro de Ciencias Ambientales: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación. pp. 91-133. EULA, Chile.
- Gao, W., Du, J., Gao, S., Xu, Y., Li, B., Wei, X., Zhang, Z., Liu, J., Li, P. 2023. Shoreline change due to global climate change and human activity at the Shandong Peninsula from 2007 to 2020. *Frontiers in Marine Science* 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1123067>
- Hernández, A., Quiñones, R., Cubillos, L. 2011. Evaluación talla estructurada de los stocks de Ensis macha y *Tagelus dombeii* en el Golfo de Arauco, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 46(2): 157-176. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572011000200006>
- Hernández, A., Leal, C., Salamanca, M., Chandía, C., Hernández-Miranda, E., Castillo, M., Vargas, F. 2020. Actualización de la información disponible y propuesta de monitoreo para el diseño de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el Golfo de Arauco. Informe Final Corregido. Centro de Investigación en Recursos Naturales HOLON SpA. 193 pp + Anexos. <http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=5055a421-4314-41cd-b173-1f32237ceb7d&fname=Informe%20Final%20NSCA%20GA.pdf&access=public>
- Iriarte, J., González, H. 2004. Phytoplankton size structure during and after the 1997/98 El Niño in a coastal upwelling area of the northern Humboldt Current System. *Marine Ecology Progress Series* 269: 83-90. <https://doi.org/10.3354/meps269083>
- Landaeta, M.F., Castro, L.R. 2006. Spawning and larval survival of the Chilean hake *Merluccius gayi* under later summer conditions in the Gulf of Arauco, central Chile. *Fisheries Research* 77(1): 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2005.08.006>
- Landaeta, M.F., Herrera, G.A., Pedraza, M., Bustos, C.A., Castro, L.R. 2006. Reproductive tactics and larval development of bigeye flounder, *Hippoglossina macrops* off central Chile. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*. <https://doi.org/10.1017/S0025315406014263>
- Lerman, A. 1981. Controls on River Water Composition and the Mass Balance of River Systems. In: Martin, J.M., Burton, J.D., Eisma, J.D. (Eds.) *River Inputs to Ocean Systems: Proceedings of a review workshop*. pp. 1-4. FAO, Rome.
- Liu, M., Zhang, Q., Maavara, T., Shaoda, L., Xuejun, W., Raymond, P. 2021. Rivers as the largest source of mercury to coastal oceans worldwide. *Nature Geoscience* 14: 672-677. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00793-2>
- Luisetti, T., Turner, R.K., Jickells, T., Andrews, J., Elliott, M., Schaafsma, M., Beaumont, N., Malcolm, S., Burdon, D., Adams, C., Watts, W. 2014. Coastal Zone Ecosystem Services: From science to values and decision making; a case study. *Science of The Total Environment* 493: 682-693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.099>
- Melo T., Hurtado, C., Queirolo, D., Lamilla, J., Bernal, C., Aranis, A. 2005. Diagnóstico de la operación de las pesquerías artesanales de peces en las áreas costeras, bahías y aguas interiores de la VIII Región. Informe Final Proyecto FIP: 2004-19. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ciencias del Mar. Valparaíso, Chile. 250 pp + anexos.
- Montecino, V., Lange, C.B. 2009. The Humboldt Current System: Ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies. *Progress in Oceanography* 83(1-4): 65-79. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.041>
- Montero, P., Daneri, D., Cuevas, L.A., González, H., Jacob, B., Lizárraga, L., Menschel, E. 2007. Productivity cycles in the coastal upwelling area off Concepción: The importance of diatoms and bacterioplankton in the organic carbon flux. *Progress in Oceanography* 75: 518-530. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.08.013>
- Ostrom, E. 2012. *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763>
- Palma, S. 1994. Distribución y abundancia de larvas de langostino colorado *Pleuroncodes monodon* frente a la costa de Concepción, Chile. *Investigaciones Marinas* 22: 13-29. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71781994002200002>
- Palumbi, S.R., Sandifer, P.A., Allan, J.D., Beck, M.W., Fautin, D.G., Fogarty, M.J., Halpern, B.S., Incze, L.S., Leong, J.A., Norse, E., Stachowicz, J.J., Wall, D.H. 2009. Managing for ocean biodiversity to sustain marine ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 204-211. <https://doi.org/10.1890/070135>
- Parada, C., Sobarzo, M., Figueroa, D., Castro, L. 2001. Circulación del Golfo de Arauco en un período de transición estacional: un nuevo enfoque. *Investigaciones Marinas* 29: 11-23. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782001000100002>
- Polis, G.A., Hurd, S.D. 1996. Linking marine and terrestrial food webs: allochthonous input from the ocean supports high secondary productivity on small islands and coastal land communities. *The American Naturalist* 147(3): 396-423. <https://www.jstor.org/stable/2463215>
- Quiñones, R.A., Gutiérrez, M.H., Daneri, G., Gutiérrez, D.A., González, H.E., Chávez, F. 2010. Pelagic carbon fluxes in the Humboldt Current System. In: Liu, K.K., Atkinson, L., Quiñones, R.A., Talaue-McManus, L. (Eds.) *Carbon and nutrient fluxes in global continental margins: A global synthesis*. pp. 44-64. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, IGBP Series Book.
- Ruivo, M. 1971. *La Contaminación del Mar y los Recursos Vivos. Conferencia sobre Contaminación Marina y sus Efectos en los Recursos Marinos Vivos*. FAO, Roma 9-18 de Diciembre de 1970, Fishing News (Books) Ltd. Surry and London, England.
- Saldías, G.S., Sobarzo, M.A., Largier, J.L., Moffat, C., Letelier, R.M. 2012. Seasonal variability of turbid river plumes off central Chile based on high-resolution MODIS imagery. *Remote Sensing of Environment* 123: 220-233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.03.010>
- Saldías, G.S., Largier, J.L., Mendes, R., Pérez-Santos, I., Vargas, C.A., Sobarzo, M.A. 2016. Satellite-measured interannual

- variability of turbid river plumes off central-southern Chile: Spatial patterns and the influence of climate variability. *Progress in Oceanography* 146: 212-222. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.07.007>
- Sandifer, P.A., Sutton-Grier, A.E. 2014. Connecting stressors, ocean ecosystem services, and human health. *Natural Resources Forum* 38(3): 157-167. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12047>
- Seitz, R.D., Wennhage, H., Bergström, U., Lipcius, R.N., Ysebaert, T. 2014. Ecological value of coastal habitats for commercially and ecologically important species. *ICES Journal of Marine Science* 71 (3): 648-665. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst152>
- Seitz, R.D., Knick, K.E., Davenport, T.M., Saluta, G.G. 2018. Human Influence at the Coast: Upland and Shoreline Stressors Affect Coastal Macrofauna and Are Mediated by Salinity. *Estuaries and Coasts* 41 (Suppl 1): 114-130. <https://doi.org/10.1007/s12237-017-0347-6>
- Sobarzo, M. 1994. Oceanografía física entre Punta Nugurne (35°57' S- 72°47' W) y Punta Manuel (38°30' S-73° 31' W), Chile: una revisión histórica (1936-1990). *Gayana Oceanología (Chile)* 2: 5-17.
- Sobarzo, M.A. 2021. Observaciones físicas y monitoreos en el ambiente marino costero. En: Castilla, J.C., Fariña, J.M., Camaño, A. (Eds.) *Programas de monitoreo del medio marino costero: Diseños experimentales, muestreos, métodos de análisis y estadística asociada*. Ediciones Universidad Católica, Santiago. 320 pp.
- Sobarzo, M., Sansone, E., Demaio, A., Arcos, D., Salamanca, M., Henriquez, J. 1993. *Oceanografía física del Golfo de Arauco. Primera parte: Variabilidad espaciotemporal de la estructura hidrográfica de las aguas del Golfo de Arauco*. Faranda y Parra editores. Centro EULA, Chile. 60 pp. ISBN: 9562270793
- Sobarzo, M., Figueroa, M., Djurfeldt, L. 2001. Upwelling of subsurface water into the rim of the Biobío submarine canyon as a response to surface winds. *Continental Shelf Research* 21(3): 279-299. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00082-0](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00082-0)
- Sobarzo, M.A., Bravo, L., Donoso, D., Garcés-Vargas, J., Schneider, W. 2007. Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over the continental shelf off central Chile. *Progress in Oceanography*. 75, 363-382. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.08.022>
- Strub, P.T., Mesias, J., Montecino, V., Rutllant, J., Salinas, S. 1998. Coastal ocean circulation off western South America, Coastal Segment (6,E). In: Robinson, A.R., Brink, K.H. (Eds.) *The Sea*, vol. 11. pp. 273-313. Wiley, Hoboken, NJ.
- Thiel, M., Macaya, E.C., Acuña, E., Arntz, W.E., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P.A., Castilla, J.C., Castro, L.R., Cortes, M., Dumont, C.P., Escribano, R., Fernandez, M., Gajardo, J.A., Gaymer, C.F., Gomez, I., Gonzalez, A.E., Gonzalez, H.E., Haye, P.A., Illanes, J.E., Iriarte, J.L., Lancellotti, D.A., Luna-Jorquera, G., Luxoro, C., Manríquez, P.H., Marin, V., Muñoz, P., Navarrete, S.A., Perez, E., Poulin, E., Sellanes, J., Sepulveda, H.H., Stotz, W., Tala, F., Thomas, A., Vargas, C.A., Vasquez, J.A., Vega, J.M.A. 2007. The Humboldt current system of northern and central Chile. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review* 45: 195-344. <https://doi.org/10.1201/9781420050943.ch6>
- UNEP. 2006. *Marine and coastal ecosystems and human well-being: A synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment*. United Nations Environment Programme. 76 pp.
- Vargas, C.A., Arriagada, L. Sobarzo, M., Contreras, P.Y., Saldías, G. 2013. Bacterial production along a river-to-ocean continuum in Central Chile: Implications for organic matter cycling. *Aquatic Microbial Ecology* 68(3): 195-213. <https://doi.org/10.3354/ame01608>
- Vergara, O., Echevin, V., Sobarzo, M., Sepúlveda, H., Castro, L., Soto, S. 2023. Impacts of the freshwater discharge on hydrodynamical patterns in the Gulf of Arauco (central-southern Chile) using a high-resolution circulation model. *Journal of Marine Systems* 240: 103862. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2023.103862>
- Villagrán, M., Gómez, M., Martínez, C. 2023. Coastal Erosion and a Characterization of the Morphological Dynamics of Arauco Gulf Beaches under Dominant Wave Conditions. *Water* 15: 23. <https://doi.org/10.3390/w15010023>
- Werner, F., Blanton, J.O. 2019. Coastal Circulation Models. In: Cochran, J.K., Bokuniewicz, H.J., Yager, P.L. (Eds.) *Encyclopedia of Ocean Sciences (Third Edition)*. pp. 467-474. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11412-5>
- Wieters, E.A., Kaplan, D., Navarrete, S., Sotomayor, A., Largier, J., Nielsen, K. Véliz, F. 2003. Spatial and temporal variability in chlorophyll a concentration in Chilean nearshore waters. *Marine Ecology Progress Series* 249: 93-105. <https://doi.org/10.3354/meps249093>
- Wong, Z., Saldías, G.S., Largier, J.L., Strub, P.T., Sobarzo, M. 2021. Surface thermal structure and variability of upwelling shadows in the Gulf of Arauco, Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 126: e2020JC016194. <https://doi.org/10.1029/2020JC016194>
- Wu, T., Barrett, J. 2022. Coastal Land Use Management Methodologies under Pressure from Climate Change and Population Growth. *Environmental Management* 70: 827-839. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01705-9>
- Yannicelli, B., Castro, L.R., Schneider, W., Sobarzo, M. 2006. Crustacean larvae distribution in the coastal upwelling zone off central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 319: 175-189. <https://doi.org/10.3354/meps319175>

Received: 10.05.2024

Accepted: 15.11.2024

Editor: Alfredo Saldaña