UNIVERSIDAD ACADEMIA DE HUMANISMO CRISTIANO

CARRERA DE GEOGRAFÍA

“Distribución oceánica de metales pesados asociados a la actividad del complejo industrial Ventanas en la bahía de Quintero, V región”

Alumno: Valdés Quilodrán, Rodrigo

Profesor Guía: Dr. Alvar Pastor

Dr. Antonio Rivera Hutinel

Tesis para optar al grado de Licenciado en Geografía

Santiago, 2014

AGRADECIMIENTO

Para esta investigación se hizo clave la participación de personas que es necesario agradecer en el desarrollo de esta tesis. De esta manera se agradece a los pescadores de Ventanas, en especial a un amigo Ventanino, Don Carlos Enrique Vegas Bernal y familia. Además la disponibilidad y ayuda en el laboratorio del Dr. Juan Manuel Manríquez Mujica de la PUC.

Y por supuesto, a los Profesores de la Universidad Academia de Humanismo Cristiano, en especial al Dr. Antonio Rivera Hutinel por el apoyo durante mi periodo Universitario y aun más en esta tesis de pre grado.

DEDICATORIA

Gracias a mi familia, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Gracias a Daniela, mi pareja, que preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Y a Santiago, mi hijo, que es la motivación para todos los desafíos de mi vida.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTO **2**

DEDICATORIA **3**

1. INTRODUCCIÓN **6**

1.1 RELEVANCIA DE LA CONTAMINACIÓN OCEÁNICA Y CONTEXTO GENERAL 7

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **11**

3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA **13**

3.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS 13

3.1.1 Corrientes marinas asociados al territorio marítimo Chileno *13*

3.1.2 Corriente de Bahía *15*

3.1.3 Estructura Columna de Agua *16*

3.1.4 Ecosistema de Bahía *21*

3.1.5 Cadena trófica marina *22*

3.1.6 Bioacumulación *22*

3.1.7 Conductividad eléctrica *23*

3.1.8 Contaminantes *24*

3.2 ANTECEDENTES DE ÁREA DE ESTUDIO 26

3.2.1 Concentraciones de contaminantes entre la Bahía de Quintero y playa el Tebo. *26*

4. PREGUNTAS Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN **33**

4.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 33

4.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 33

5. METODOLOGÍA **34**

6. RESULTADOS **37**

6.1 CORRIENTES MARINAS ESPERADAS PARA LA BAHÍA DE QUINTEROS A TRAVÉS DE ANÁLISIS SIG. 37

6.2 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (ARSÉNICO Y COBRE) EN EL OCÉANO. 44

6.2.1 concentraciones y distribución del Arsénico a 3 metros de profundidad. *45*

6.2.1 concentración y distribución del cobre a 3 metros de profundidad. *48*

6.2.2 concentración de metales pesados a 8 metros de profundidad. *51*

6.3 DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS (COBRE Y ARSÉNICO) EN EL OCÉANO 52

6.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE MAR DE LA BAHÍA DE QUINTERO. 54

6.5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE MAR DE LA BAHÍA DE EL QUISCO. 59

7. DISCUSIÓN **63**

8. CONCLUSIÓN **65**

9. BIBLIOGRAFÍA **67**

Índice de cartografías, gráficos, ilustraciones y tablas

Cartografía 1: Grilla de muestreo. 18 puntos a 3 metros de profundidad y 2 puntos a 8 metros de profundidad próximos al ducto del complejo industrial Ventanas (fuente: elaboración propia).....36
Cartografía 2: corriente de Bahía de Quintero. Bakovic & Balic. 1994 (fuente: elaboración propia).....39
Cartografía 3: Modelo corriente oceánica. Ocean Green Consultora. 2007 (fuente: elaboración propia) ...42
Cartografía 4: Modelo de Corriente Oceánica. Escobar. 1991(fuente: elaboración propia) 43
Cartografía 5: distribución de Arsénico a 3 metros de profundidad (fuente: elaboración propia) 47
Cartografía 6: distribución de cobre a 3 metros de profundidad (fuente: elaboración propia) 50
Cartografía 7: distribución de metales pesados (cobre y arsénico) en el oceano (fuente: elaboración propia)53
Cartografía 8: Distribución de sal en el océano (fuente: elaboración propia) 55

Gráfico 1: Concentraciones de Arsénico (fuente: elaboración propia).....45
Gráfico 2: Concentración de Cobre (fuente: elaboración propia) 48

Figura 1: Mapa de las corrientes oceánicas asociadas al territorio marítimo Chileno. Fuente: Castilla, 1993 13
Figura 2:: Perfil de Temperatura de verano(a) e invierno (b) obtenidas en el área circundante de los puntos de descarga de contaminantes de la refinería Ventanas. 17
Figura 3: Perfil de Salinidad de verano (a) e invierno (b) obtenidos en el área circundante al punto de descarga de contaminantes de la refinería Ventanas. 18
Figura 4: Lugar de muestreo realizado por Oceana (2012). 30

Tabla 1: Efectos de la contaminación Oceánica 11
Tabla 2: promedios obtenidos de perfiles de salinidad y temperatura para verano e invierno. .....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 3 Resultados por especies Muestreadas.....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 4: Normas de concentración de contaminantes en alimentos.....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5: distancias y concentración de los contaminantes. .....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 6: Tabla de Concentraciones de Arsénico y Cobre (fuente: elaboración propia).....44
Tabla 7: concentraciones de metales pesados en el fondo oceánico 51
Tabla 8: valores de conductividad y salinidad por muestras obtenidas (fuente: elaboración propia) 57
Tabla 9: Conductividad y salinidad para la Bahía de El Quisco (3 metros de profundidad) (fuente: elaboración propia) 59

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se pretende abarcar la temática de contaminación oceánica, en particular aquella generada por faenas industriales, las que liberan desechos de alta toxicidad al medio ambiente, los cuales van a parar, de forma directa o indirecta a los océanos, afectando la economía local, asociada a la extracción de recursos marinos y el turismo, junto con el estado de salud de las personas y el desarrollo local de la población.

Para abordar esta problemática, la cual tiene varias perspectivas, se eligió como caso de estudio la localidad de Ventanas, ubicada en la comuna de Puchuncaví, V Región de Valparaíso, Chile. En este lugar se instaló, hace más de 50 años, un parque o complejo industrial, que según estudios realizados por distintas ONG, como Ocean Green (2004) y Oceana (2012), estarían liberando sustancias toxicas al océano, frente a la costa de Ventanas. También así lo indica un informe de la comisión de recursos naturales, bienes nacionales y medio ambiente (2007).

Tanto dentro de la bahía de Quintero, como hacia el norte de esta misma, se realizó un muestreo de calidad química del agua de mar para evaluar la presencia y distribución de metales pesados como Arsénico y Cobre. Además, se realizaron mediciones correspondientes a la conductividad eléctrica, la cual se podría relacionar a la presencia de metales pesados disueltos en el océano.

La contaminación por sustancias toxicas se produce por su liberación accidental o intencionada en el ambiente, provocando efectos adversos sobre el hombre o sobre el medio, directa o indirectamente.

Los efectos de la contaminación de los océanos es una disminución de la calidad ambiental de la zona, lo que parte por el impacto negativo sobre el desarrollo, la reproducción y la fisiología de las especies marinas (Ahumada.

1985) y acumulación de los contaminantes en sus tejidos (conocido como bioacumulación, Marimundi 2005). Esto incide en una disminución de la calidad y cantidad del recurso marino extraído por los pescadores.

1.1 Relevancia de la contaminación oceánica y contexto general

El océano pacifico es el mayor océano de la tierra, el cual se extiende aproximadamente en 165.700.000 km ², desde el mar de Bering por el norte, hasta los márgenes congelados del mar de Ross en la Antártida por el sur, según la Organización Hidrográfica Internacional (1998), máxima autoridad internacional en materia de delimitación de mares. Chile es uno de los países que tiene una de las mayores áreas económicas exclusivas en este océano (3.681.989²), de manera que se ubica en el 5º lugar bajo países como Estados Unidos, Francia, Nueva Zelanda y Australia (Sea Around us Proyect, 2012). Por lo tanto tiene una interacción constante con el océano pacifico en términos de la extracción de recursos marinos, además de la influencia que ejerce en el clima continental y las posibles catástrofes naturales ligadas a la gran exposición marítima, como los maremotos y tsunamis.

Los océanos, debido a su gran extensión, son completamente vulnerables a la extensa contaminación que es el legado de la macro industria y del comercio marítimo, los cuales ayudan en la concentración de metales pesados en los océanos. Si no se toman medidas para remediarlo, como por ejemplo con el control de los desagües industriales al mar o el establecimiento de áreas industriales alejadas del borde marítimo, la contaminación oceánica puede hacerse irreversible (Richardson 1981).

La convención sobre el Derecho del Mar a nivel mundial, en su art. 1.1.4; definen como contaminación oceánica a *la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias en el medio marino incluido los estuarios, que*

produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daño para la salud humana, obstaculización de la actividad marina, incluidos 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.

En el último tiempo, se ha podido evidenciar episodios referentes a contaminación oceánica en las costas chilenas. En el 2005 una poza de hidrocarburos proveniente de los estanques que administra una planta de la empresa Shell llegó hasta la playa Las Petroleras, en Antofagasta, II región de Chile (Oceana, 2012). A fines de Octubre, un nuevo accidente, referido a derrame al océano, ocurrió en la planta Comap, la cual administra los estanques de la empresa Shell y Copec. Además, el 1 de noviembre del mismo año, la embarcación "Eider" de Hong Kong encalló frente a la playa Las Petroleras, rompiendo uno de sus estanques de combustible. Alrededor de tres kilómetros de mar y algunas playas de Antofagasta fueron afectadas directamente por la mancha negra que cubrió la costa, ocasionando la muerte de aves, tortugas y peces. (Oceana, 2012)

Por otro lado, en el 2011 y 2012, la búsqueda de la construcción en la región de Atacama del proyecto Termoeléctrico llamado Castilla, desato una preocupación tanto de ambientalistas como de los pescadores artesanales de Puerto Caldera y de la ciudadanía en general. Según la consultora Ocean Green (2012), el proyecto Castilla generaría entre otros un aumento entre 7º u 8 °C en la temperatura normal del agua del océano en los alrededores de Puerto Caldera", lo que generará "daños" al ecosistema marino. Esto debido a que la central Castilla succionaría 276.474.667 litros por hora de agua de mar para sus usos como refrigerante, generador de electricidad (a través del vapor) y desalinizado, lo que causaría la muerte de plancton, larvas y una serie de organismos marinos fundamentales para el funcionamiento del ecosistema, conllevando una pérdida económica de productos marinos, la disminución en la abundancia del recurso y perjuicios a la actividad turística en la zona.

De esta manera, las instalaciones industriales que se localizan en el litoral, puedan generar efectos como un impacto estético negativo, perjudicando a balnearios o zonas turísticas, debido al peligro generado por el vertido de residuos diversos, los cuales pueden ir asociados a puertos, pantanales y sistemas diversos de carga y descarga. Además conllevan pérdidas económicas asociadas a la extracción de productos marinos, efectos perjudiciales en la salud de los bañistas que accidentalmente tragan agua contaminada o por contacto de contaminantes disueltos en el agua de mar con la piel (Dermatitis) y por último, efectos ecológicos negativos en la biota marina, que pueden ser directos (i.e. extinción local de especies por intoxicación) o indirectos (i.e. perdida de especies claves que regulan la trama trófica) con una consecuente disminución de la biodiversidad marina (Oceana, 2012).

Por lo tanto obtenemos que los diversos contaminantes derivados de las instalaciones industriales, al encontrarse en los océanos, se acumulan en el agua, en los sedimentos del fondo o en el cuerpo de organismos, ocasionando diferentes efectos sobre los seres acuáticos y la pesca. Los contaminantes pueden estimular el crecimiento de los vegetales, lo que puede ser benéfico si se regula adecuadamente; otros son tóxicos y llevan a la muerte de los organismos o los hacen inadecuados para el consumo humano y, por último, existen los que son inocuos y tienen escaso o ningún efecto en el ecosistema acuático (Cifuentes, 1991).

Entre los principales contaminantes que se encuentran en el océano, están aquellos que provienen de actividades que se llevan a cabo en tierra firme y que son arrojados a la atmosfera o a aguas continentales y luego se depositan en el mar y aquellos que provienen de actividades realizadas dentro de los océanos. Los primeros son la fuente de contaminación oceánica más común, dado que son principalmente el resultado de actividades antrópicas. Entre ellos se encuentran los contaminantes arrojados a las aguas residuales domésticas (e.g. detergentes y desechos sólidos), los desechos agrícolas (e.g. los plaguicidas y fertilizantes), los desechos de faenas industriales (sustancias

químicas, trazas de metal y materiales radiactivos) y sustancias gaseosas liberadas a la atmosfera producto de la combustión en procesos industriales y domésticos, como el SO2 (precursor de lluvia acida) y los materiales particulados. Entre los segundos se encuentran aquellos vertidos desde barcos, como el petróleo y sus derivados y los desechos sólidos

En función del tipo de efectos que producen (nocivos o benéficos), los efectos de la contaminación se pueden agrupar en dos bloques (Tabla Nº1):

Efectos nocivos	Efectos biológicos	Cambios en las migraciones. Peces anádromos: salmón, y peces catádromos: anguila
		Cambios en el comportamiento de la biota asociado a la alimentación y la reproducción.
		Incidencia de enfermedades. Aumento de virus, bacterias, protozoos y otros parásitos. , por depresión del sistema inmunológico en los hospederos.
		Cambios en el ciclo vital. Larvas/adultos.
		Alteraciones en los procesos fisiológicos. Fotosíntesis en algas, respiración en animales acuáticos, reproducción, etcétera.
		Efectos genéticos. Mutaciones: mutagénesis, carcinogénesis.
		Cambios en la morfología o coloración de la biota marina por concentración de sustancias tóxicas
	Efectos ecológicos	Efecto sobre el tamaño poblacional de diferentes especies, producto de una reducción en las tasas de fertilidad y/o sobrevida,o por extinción de especies claves
		Disminución de la diversidad marina producto de las alteraciones en las cadenas tróficas

Posibles efectos benéficos	*Pisciculturа.* Aprovechamiento de desechos orgánicos para la alimentación de peces
	Aprovechamiento de efluentes termales.

Tabla 1: Efectos de la contaminación Oceánica (Fuente: Unesco, 2010)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Evidenciando los efectos nocivos de la industrialización en las zonas costeras en desmedro de la calidad ambiental de los océanos, es de interés conocer qué factores afectan la distribución espacial de los contaminantes en los océanos y cuáles son las distancias a las que los contaminantes pueden ser desplazados desde una fuente emisora. En este estudio se plantea tomar como caso de estudio la contaminación oceánica asociada al Complejo Industrial Ventanas (en adelante CIV) ubicado en la costa de la comuna de Puchuncaví, frente a la Bahía de Quintero, V Región, Chile. Aquí se ubica uno de los principales parques industriales y de gran relevancia económica para el país. Dentro de este parque se pueden identificar industrias como: Planta de Lubricantes Copec, GNL Terminal Enap Quintero, Cementos el Melón, Terminal Quintero de Gasman, Oxiquim, Macovensa, Proyecto central termoeléctrica Nueva Ventana, AES Gener, y Puerto Ventanas. La contaminación en la Bahía comenzó hace más de 40 años con la instalación de la refinería Enami, actual Codelco, más la entonces termoeléctrica de Chilectra, hoy AES Gener, empresa trasnacional estadounidense. Desde entonces se han instalado muchas industrias que liberan residuos potencialmente tóxicos y peligrosos, asociados a los procesos de fabricación, purificación y producción de productos y servicios, a tal nivel que en 1992 la comuna de Puchuncaví fue declarada Zona Saturada de MP10 y SO2 (MINSAL 1992)

. Además es necesario aclarar que las zonas productivas de los océanos, en términos de biomasa utilizable para el hombre, se restringe a menos de un 10% de su superficie, limitada ésta en su mayoría a la meseta continental, es

decir una zona de baja profundidad situada en los bordes de los continentes y en la desembocadura de los grandes ríos (UNESCO, 1992). Esta zona es precisamente el sector de evacuación de los ductos de este parque industrial, como ocurre en la mayoría de los casos asociados a empresas ubicadas en el borde costero.

En el sector de la Bahía de Quinteros se han realizados estudios asociados a la contaminación oceánica por la acción de las faenas asociadas al Complejo Industrial Ventanas (en adelante CIV) en la misma zona. La consultora Oceana ha podido evidenciar la presencia de metales pesados en el borde costero que comprende desde la bahía de Quintero y Playa el Tebo (ver Antecedentes y Oceana 2012). No obstante todavía queda por explicar cuál es la distribución de estos contaminantes en el océano y que factores inciden en su distribución espacial, lo que constituye una primera aproximación para entender el impacto de la actividad del CIV sobre los recursos marinos y la calidad ambiental de la bahía de Quinteros.

3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

3.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

3.1.1 CORRIENTES MARINAS ASOCIADOS AL TERRITORIO MARÍTIMO CHILENO

De manera general en el territorio marítimo chileno, se pueden identificar 8 corrientes que ocurren a lo largo de nuestro país. En la Figura 1 se entrega una síntesis de dichas corrientes.

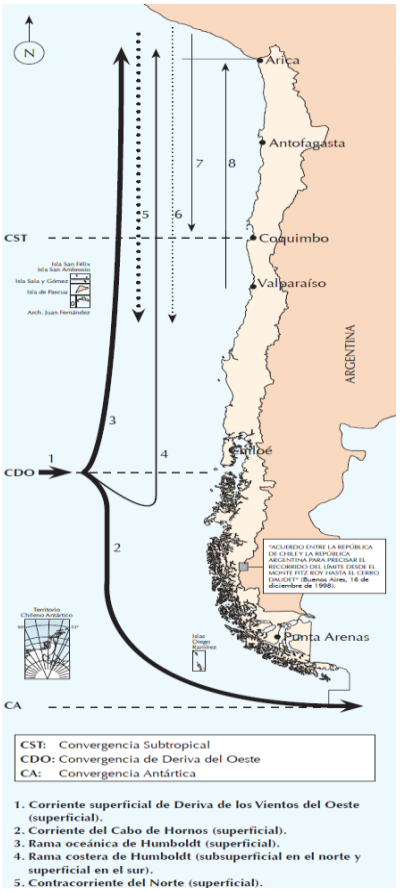


Figura 1: Mapa de las corrientes oceánicas asociadas al territorio marítimo Chileno. Fuente: Castilla, 1993

La corriente superficial de Deriva de los Vientos del Oeste (1) alcanza la costa de Sudamérica cerca de los 41ºS dividiéndose en dos direcciones a una longitud entre 80-90ºO en dos ramas que fluyen en direcciones opuestas (Castilla, 1993) La rama que se desvía hacia el sur se denomina corriente del cabo de Hornos (2) y sigue el contorno más austral de Chile proyectándose a través del Paso de Drake. La rama que se proyecta hacia el norte, es la rama oceánica de Humboldt (3), que fluye a 300 o 400 kilómetros mar adentro, a lo largo de la costa oeste de Sudamérica hasta los 4º27'S en el extremo norte de Perú y luego se desvía hacia el noroeste a través del Océano Pacífico (Ahumada, 2000).

A la altura de los 40 a 48º de latitud Sur, la corriente del cabo de Hornos genera una rama que fluye hacia el norte que es mantenida por los vientos

desde el sur y se denomina rama costera de Humboldt (4). Cerca de los 10 a 20º de latitud Sur, dependiendo de la estación, la rama costera de Humboldt cambia de dirección y eventualmente se une a la contracorriente del Norte (5) (Castilla,1993). La contracorriente del Norte fluye hacia el sur entre la rama oceánica de Humboldt y la rama costera de Humboldt como una corriente subsuperficial (a una profundidad de 200 a 400 metros).

Más cerca de la costa, sobre la plataforma, y en los primeros tramos de la pendiente continental corre otra corriente de aguas subsuperficiales, la corriente de Gunther (6), la cual tiene su origen en aguas ecuatoriales y fluye hacia el sur sobre la llamada Masa de Agua Intermedia. En la zona norte, más hacia la costa, se encuentra la contracorriente Costera Chilena (7), de forma superficial.

Desde los 28ºS y a la misma altura de la contracorriente Costera Chilena, aparece la corriente Costera Chilena (8) que fluye superficialmente hacia el norte y alcanza hasta los 23ºS (Montecino, 2005). En la contracorriente Chilena, gracias al efecto de los vientos del sur y suroeste se producen surgencias. Las surgencias son más fuertes desde finales del invierno a inicios del verano y más débiles durante las estaciones cálidas. Las surgencias incluso ocurren al sur de la contracorriente Chilena hasta los 40 a 41ºS cuando la capa superior de la corriente de Gunther alcanza la superficie a la altura dentro de la rama costera de Humboldt.

De esta forma las corrientes (que fluyen de sur a norte) y contracorrientes (que fluyen de norte a sur) presentes en la zona centro-norte de Chile desde el oeste hacia el este son: 1) la rama oceánica de Humboldt (superficial), 2) la contracorriente del Norte (parcialmente subsuperficial), 3) la rama costera de Humboldt (subsuperficial en su porción norte), 4) la corriente de Gunther (subsuperficial), 5) la contracorriente Chilena (superficial), 6) sólo durante algunos períodos la corriente de El Niño (superficial), 7) la corriente Costera Chilena (exclusiva de la zona norte y superficial), 8) la surgencia costera

(presente a lo largo de toda la costa pero más acentuada en algunos “centros de surgencia”).

3.1.2 Corriente de Bahía

Sin embargo de manera más local, se puede identificar corrientes marinas que abarcan exclusivamente a la bahía de Quintero.

Un estudio de Escobar et al. (1971), indica que según la dirección de las corrientes superficiales en la bahía de Quintero, las aguas entrarían por el sector norte de la boca y saldrían por el sur de ella. Según Bakovic y Balic (1984), la circulación y velocidad de las aguas en la bahía están influenciadas por las corrientes de marea, observando 2 situaciones: 1) una marea de llenante (corrientes dirigidas hacia el interior de la bahía) y 2) una marea vaciante (en la cual las corrientes tienden a orientarse fuera de la bahía).

Además, observaciones efectuadas por la ONG *Ocean Green* (2007) mediante el uso de elementos lagrangeanos y correntometría euleriana, mostraron que la dinámica de las aguas de bahía Quintero presenta un sistema de doble celda permanente, con giro en sentido ciclónico, con un flujo de entrada por el norte de la bahía y un fuerte flujo de salida por el sur, similar a lo descrito por Bakovic & Balic (1984). Las velocidades máximas medidas fueron del orden de 40 cm/s en superficie y de 20 cm/s en el fondo. Al interior de la bahía y en aguas someras próximas a la orilla, la velocidad disminuyó observándose desplazamientos de tipo estacional de las celdas.

En términos generales los resultados de las mediciones efectuados en la bahía de Quinteros confirma la influencia de la marea como agente forzante de la dinámica del sector, al presentarse corrientes en todas las direcciones aunque predominan las orientadas a SW-NW-W, tanto en superficie como en fondo.

Las corrientes marinas identificadas en el área de estudio, sin duda inciden considerablemente en los niveles tanto de salinidad y temperatura, eso debido a los procesos de surgencias que se manifiestan en la zona. Es por este motivo que se presenta una descripción de la columna de agua dentro de la Bahía de Quintero.

3.1.3 Estructura Columna de Agua

Estudios realizados por Ocean Green para conocer la estructura térmica y salina de la columna de agua del sector, tanto para una condición estival como invernal, permitieron identificar perfiles de temperatura y salinidad obtenidos en el sector circundante al punto de descarga por parte de Codelco en el año 1996 y dentro del período 2001 - 2004 (ver Figura 2 y 3), estableciéndose para invierno y verano una condición promedio (ver Tabla 2).

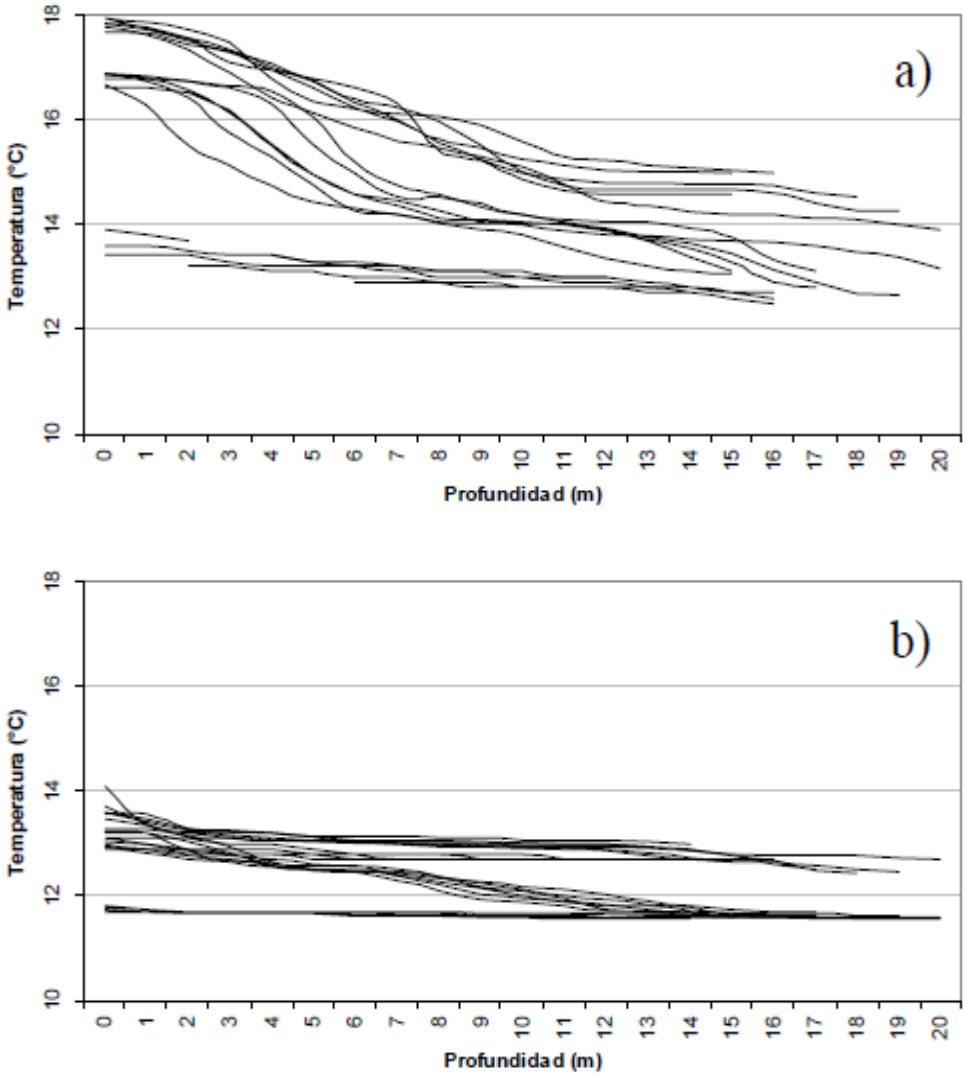


Figura 2:: Perfil de Temperatura de verano(a) e invierno (b) obtenidas en el área circundante de los puntos de descarga de contaminantes de la refinería Ventanas.

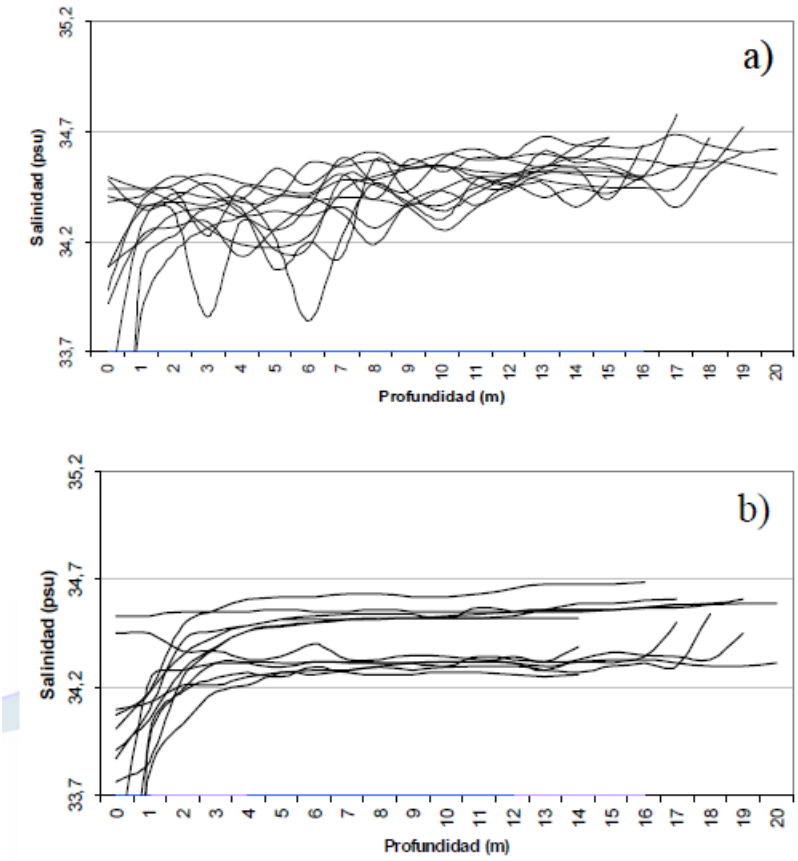


Figura 3: Perfil de Salinidad de verano (a) e invierno (b) obtenidos en el área circundante al punto de descarga de contaminantes de la refinería Ventanas.

.

Tabla 2 conducta de salinidad y temperatura para la bahía de Quinteros.

PERFILES PROMEDIOS DE TEMPERATURA Y SALINIDAD

Profundidad (m)	VERANO		INVIERNO	
	Salinidad	Temperatura	Salinidad	Temperatura
0	34	16.8	33.7	13
2	34.1	15.9	34.1	12.7
4	34.1	15.4	34.2	12.6
6	34.1	14.8	34.2	12.5
8	34.2	14.4	34.2	12.4
10	34.2	14.1	34.2	12.3
12	34.3	13.9	34.2	12.3

La importancia de la salinidad del agua de mar recae en que influye en la distribución de los organismos, habiendo organismos homeostásicos y poiquilostáticos (en donde los primeros regulan el contenido de sal en los tejidos y los segundos presentan niveles de sal en los tejidos en relación a la salinidad del medio). La salinidad es la cantidad de residuo sólido de Cloruro de Sodio (NaCl) por unidad de masa de agua (Seaónez , 2000).

. En el agua de mar la composición y concentración suele ser bastante constante, pero en la superficie y sobre todo en las zonas de los polos (polo sur fundamentalmente), puede variar debido a una mayor evaporación que modifica la concentración de sales aunque en una pequeña cantidad. Las aguas mar adentro son mucho más constantes en la cantidad de sales y en su proporción. La concentración de cloruro de sodio es del 20 a 0,1 g/litro.

En términos de la temperatura para la columna de agua, es importante destacar que ha medida que aumenta la profundidad penetra menos radiación solar, por lo que la temperatura disminuye. Por lo tanto, en la superficie del mar existe una capa de agua relativamente caliente, con una temperatura uniforme; esa capa puede extenderse de los 20 a los 200 metros de profundidad, dependiendo de las condiciones locales. Abajo de ella existe una zona limítrofe en donde se presenta un rápido descenso de la temperatura, llamada *termoclina,* que divide a estas aguas superficiales, menos densas y menos salinas, de las aguas de las profundidades, más frías, densas y salinas (Seaónez 2000).

Las termoclinas no son bruscas ni están tan bien diferenciadas como ocurre en el agua dulce. En las aguas tropicales, la termoclina puede ocupar una profundidad entre 100 y 200 metros y ser relativamente estable durante el año. En las aguas templadas de las latitudes medias se localizan a una mayor profundidad, siendo un fenómeno estacional que ocurre solamente durante primavera y verano y tiende a desaparecer en los mares polares en los que la temperatura de toda la columna de agua es baja.

El incremento de la temperatura aumenta el metabolismo e intensifica la respiración en los organismos poiquilotermos como los peces e invertebrados marinos. En algunos seres vivos del zooplancton, se duplica la actividad respiratoria al pasar de 10º a 20°C de temperatura en el agua (Seaónez, 2000).

Una elevación de la temperatura del agua implica un aumento del metabolismo y una mayor permeabilidad de las branquias (Seaónez, 2000).

Los peces son poiquiolotermos y no pueden regular su temperatura corporal, existiendo una relación directa entre la temperatura del agua y su tasa metabólica. Presentan un rango de temperatura óptima que varía dependiendo de la etapa de desarrollo y de su edad y tamaño. Por encima o por debajo de este óptimo, la tasa metabólica varia (Seaónez 2000).

Analizando los datos de la tabla 2 se encuentra que las condiciones promedio a distintas profundidades para el período estival, la columna de agua se caracteriza por presentar un aumento gradual de salinidad en profundidad a diferencia de lo observado en invierno, en el cual la homogeneidad de la columna se mantiene desde los primeros metros de profundidad. Para el caso de la temperatura, la columna muestra una estratificación en verano, con la presencia de una termoclina establecida cerca de los 5 m de profundidad, característica que no se presenta durante el periodo invernal

Por lo tanto, las zonas de bahías pueden contener diversas características que son provocadas por las corrientes marítimas y de las propiedades fisicoquimicas de la columna de agua. Con esto se logra un ambiente adecuado para determinadas especies, las cuales habitan en los mismos lugares en donde los ductos del parque industrial eliminan sus desechos tóxicos.

3.1.4 ECOSISTEMA DE BAHÍA

Desde la latitud 18ºS hasta 41ºS, hay varias bahías de origen tectónico, muchas de ellas abiertas hacia el norte (Castilla & Largier 2002). Este tipo de sistema costero puede ser definido como tal debido a que presenta límites claros y características particulares. Durante la temporada de surgencias la masa de agua ecuatorial subsuperficial (pobre en oxígeno) ingresa a dichas bahías provocando un aumento en los nutrientes, mezcla de las aguas superficiales, altas productividades primarias y altas tasas de sedimentación (en la cual cerca del 50 por ciento del carbón orgánico particulado cae hacia los sedimentos, donde sufre re-mineralización). En todas estas bahías los sedimentos son anóxicos ricos en materia orgánica con ocurrencia de reducción activa de sulfatos. Asimismo, durante el invierno la masa de agua dominante es la subantártica, saturada en oxígeno, con bajas concentraciones de nutrientes y salinidad (Ahumada, 1985). Las praderas de algas pardas son el sostén de diversas comunidades de consumidores pelágicos y bentónicos que habitan en dichos ecosistemas, especialmente en los arrecifes rocosos de la zona central. Como excepción a las regla, en nuestra costa existen pocas bahías abiertas hacia el sur, las cuales presentan particularidades desde el punto de vista oceanográfico, pero más importante desde el punto de vista biótico (Castilla & Largier, 2002). Por ejemplo, la bahía de Antofagasta es el único hábitat en Sudamérica donde se encuentra el tunicado *Piura stolonifera*, mientras que Bahía Aldea en las cercanías de Tongoy es el único lugar en el cual es posible encontrar a la especie de alga *Zostera marina* (pasto marino).

3.1.5 CADENA TRÓFICA MARINA

En la cadena trófica marina u oceánica existen distintos organismos, posibles de ser clasificados según el lugar que ocupan en la cadena trófica en: 1) productores (fitoplancton y las algas microscópicas), 2) consumidores primarios (zooplancton o plancton animal), 3) consumidores secundarios (peces de pequeño tamaño, crustáceos, moluscos), 4) consumidores terciarios (peces de mayor tamaño) y 5) descomponedores (bacterias que descomponen la materia orgánica) (Seoánez, 2000).

Aunque todos los organismos de la cadena trófica están expuestos a los efectos de los contaminantes disueltos en el agua al tragar o al respirar por las branqueas, las especies que se encuentran en las posiciones superiores de la cadena trófica son las que más riesgo presentan, debido a que además concentran estos compuestos en sus tejidos por ingerir presas que ya contienen metales pesados. Esto genera un efecto de bioacumulación, que se explica a continuación.

3.1.6 BIOACUMULACIÓN

Existen sustancias contaminantes que se incorporan a un organismo y no pueden ser excretados. Permanecen en el cuerpo en un estado invariable y se añaden durante toda la vida del organismo. Esto se conoce como bioacumulación (Marimundi 2005).

Los organismos que consumen a especies bioacumuladoras de niveles tróficos inferiores, presentan una dieta rica en sustancias contaminadas y por lo tanto acumulan una mayor cantidad de contaminantes en sus tejidos. Eventualmente, si estos organismos son capaces de excretar las sustancias contaminantes, lo hacen a una tasa menor que la que ingieren por el alimento.

Se denomina biomagnificación cuando existe en los tejidos de un organismo una elevada carga corporal de contaminantes. Esto supone a su vez un riesgo para organismos de niveles tróficos superiores (Marimundi 2005)

Los elementos metálicos son naturales del entorno y están ampliamente distribuidos por la naturaleza. Pero la actividad industrial ha aumentado los niveles de estos elementos en el medio. Por consiguiente los seres vivos se ven expuestos a dichos compuestos a unos niveles muy superiores. A pesar de que muchos de estos elementos son esenciales, los efectos negativos se hacen evidentes cuando superan una determinada concentración umbral.

Para conocer si determinados metales son contaminantes se debe conocer antes las concentraciones con que se encuentran normalmente en el ambiente abiótico (sin intervención humana) y en los tejidos de los seres vivos bajo condiciones naturales (Marimundi, 2005)

Según estudios realizados por Oceana (2012) en la bahía de Quinteros, se aprecian concentraciones de metales pesados tanto en algunas especies de mariscos como en crustáceos. De esta forma, cuando son extraídas por los pescadores artesanales para su comercialización, son ingeridas por las personas causando problemas en la salud de la población.

3.1.7 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica hace referencia a la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. Esta depende de la concentración total de componentes ionizados en las distintas soluciones (Pastor, 2013). La conductividad eléctrica es proporcional al contenido de sales disueltas y por tanto, está directamente relacionada con la suma de cationes o aniones que se encuentren disponibles y en general, presenta una estrecha correlación con los sólidos totales disueltos. Las medidas varían dependiendo de la temperatura, por lo que se estandariza a 25ºC.

El agua de mar conduce la electricidad excepcionalmente bien. Por lo demás, cuando el agua presenta trazas de metales pesados por metales pesados provenientes de la minería industrial y considerando que los metales son buenos conductores de electricidad, estos potenciarían la capacidad conductora que tiene el agua para conducir la electricidad. (Knauth, 2004)

3.1.8 CONTAMINANTES

El problema de la contaminación oceánica por metales pesados desde un punto de vista económico, es el rechazo de los productos por parte de los compradores y la disminución en cantidad, calidad y diversidad de los recursos marinos posibles de ser comercializados, lo que genera graves perjuicios a la rentabilidad de la actividad pesquera (Castro 1982). Esto se produce tanto por el impacto negativo que provoca la presencia de metales pesados en los alimentos para la salud de la población, como por sus efectos negativos a nivel fisiológico (lo que afecta a la forma, tamaño y color del producto), reproductivo (disminuyendo su abundancia en el océano) y comunitario en la biota marina (reduce el número de especies marinas comercializables).

Los principales metales pesados considerados como contaminantes liberados por la actividad industrial son: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Niquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). Para esta tesis se abarcara el Arsénico y Cobre, los cuales se desarrollan a continuación.

3.1.8.1 Arsénico

La mayor fuente de arsénico presente en el medio ambiente proviene de la actividad humana, por lo tanto no es de extrañar que se produzcan descargas intensas de arsénicos al medio ambiente a partir de los gases de chimeneas y líquidos de descarga industrial proveniente de fundiciones de minerales (Castro 1982).

Dada las variadas fuentes de arsénico, tanto naturales como antropogénicas, no resulta extraño que los vegetales y animales lo capten y que llegue al hombre a través de los alimentos (Castro 1982).

Los efectos tóxicos agudos se deben principalmente a la ingestión ya sea accidental o voluntaria y podrían ser: daño gastrointestinal, depresión y, potencialmente, parálisis de la respiración que frecuentemente causan la muerte, hipotermia, contracciones musculares y anormalidad cardiaca (Castro 1982).

Los efectos crónicos, se deben a la exposición ocupacional o ambiental, en donde se distinguen cuatro tipos: 1) general (inflamación de ojos, pérdida de apetito, alteración sensorial, dermatosis, enfermedades vasculares), 2) carcinogénesis, 3) mutagénesis (envejecimiento prematuro de tejidos) y 4) teratogénesis (Castro 1982).

La contaminación del arsénico, trae como consecuencia económica el rechazo de los productos por parte de los compradores, dado sus efectos adversos sobre la salud humana y la biota.

3.1.8.2 Cobre

Si bien el cobre es un micro nutriente esencial para la vida de cualquier organismo, su presencia en concentraciones elevadas afecta el correcto funcionamiento de la maquinaria celular. Este efecto es diferencial, dependiendo del tipo de organismo que se ve afectado. En el norte de Chile, la explotación minera ha generado una gran liberación de cobre en las zonas intermareales costeras. En las costas de Chañaral (II región, Chile) este efecto es altísimo demostrándose que altos niveles de cobre en el agua de mar han causado una drástica disminución en la riqueza y diversidad de macroorganismos (Fariña 1998). Sin embargo, estudios mas recientes demuestran que el cobre en el agua de mar provoca una reducción de la

fertilidad de los organismos acuáticos, provocando problemas en la respiración, ya que produce oxidación del tejido de las branquias. Todo esto provoca una disminución en la adecuación biológica del organismos, lo que conllevaría a una extinción local de las especies (Acosta & Lodeiros 2004).

Exposiciones a trazas de cobre por largos periodos pueden irritar la nariz, la boca y los ojos , causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Un consumo excesivo de cobre disuelto en agua puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte (Scelzo, 1997).

Las especies marítimas en esta área de estudio y en especial a las que corresponde a un ecosistema de costa rocosa, se pueden localizar en áreas de roquerío o acantilados. Por otra parte sectores en donde predominan sistemas de depositación de sedimentos (como los estranes arenosos) serian favorable para la depositación de los contaminantes a través de las corrientes oceánicas. Es por esto, que es necesario entender la geomorfología de costa del sector a estudiar.

3.2 Antecedentes de área de estudio

3.2.1 *Concentraciones de contaminantes entre la Bahía de Quintero y playa el Tebo.*

Oceana, una ONG dedicada a promover la protección de los océanos del mundo, a través de publicaciones como “Zona de Sacrificio, Ventanas” (Oceana 2012)” y de publicaciones desde su página web, realizaron un muestreo sistemático de mariscos y crustáceos (almejas, lapas, locos y jaibas) en 4 puntos equidistantes desde la caleta Ventana, con el objetivo de buscar posibles concentraciones de metales.

Este muestreo fue realizado con la ayuda de los pescadores artesanales de la caleta Ventanas, además de la supervisión de técnicos de laboratorio GCL- de la Fundación Chile- y sus principales resultados en términos generales fueron:

- Se logró la identificación de contaminantes en un 100% de las especies muestreadas (lapas, almejas, locos y jaibas)
- Los niveles más altos de contaminantes como cobre, arsénico y cadmio se detectaron en los locos del área de manejo de la playa el Tebo, ubicada a más de 3 kilómetros al norte de Caleta Ventana. Estos contienen 5 veces más cobre y 4 veces más arsénico que lo que permite la normativa chilena.
- Las jaibas muestreadas presentaron valores de cobre y de arsénico 4 veces por sobre la normativa chilena.

En la tabla 3, se puede apreciar las concentraciones encontradas en los tejidos de las distintas especies analizadas por Oceana (2012) y se aprecia una importante diferencia entre las especies, en la concentración de metales pesados, asociados al lugar que ocupan en la cadena trófica.

Tabla 3: Concentraciones encontradas en los tejidos de 5 especies de invertebrados marinos analizados por Oceana (2012) en la bahía de Quinteros. Se detalla la categoría trófica que ocupa cada especie.

Especie	Categoría Trófica	Cobre (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/ kg)
Locos	Depredador	52,9	7,35	8,15
Jaiba Roja Jaiba morada	Depredador	45,60	7,73	2,37
Almejas	Filtrador	10,1	2,1	0,27
Lapas	herbívoro	23,45	0,915	2,35
Erizo Negro	herbívoro	9.6	0.7	0.25

De la Tabla 3 se puede observar que las especies correspondientes a depredadores y por lo tanto que están en los niveles superiores de la cadena trófica, como el loco y las jaibas, son las que tuvieron las mayores concentraciones de los tres contaminantes en sus tejidos. Por el contrario, las tres especies de consumidores primarios de la Tabla 1 obtuvieron los menores valores de concentración de contaminantes. De aquí se puede inferir que la concentración de los contaminantes aumenta desde especies de niveles tróficos inferiores a superiores, siguiendo un patrón de bioacumulación dentro de la cadena. De esta manera, las especies que están dentro de la categoría trófica de consumidor primario, contienen los índices más bajos de contaminantes, mientras que los depredadores considerados en este estudio, demostrarían altos niveles de contaminantes.

La contaminación oceánica no es un tema aislado como se presento en las primeras páginas de este informe, ya que se evidencian distintos episodios de contaminación oceánica. En la tabla 4 se presentan las normativa de niveles de concentración de metales en alimentos aceptados en Chile y en comparación con los estándares observados a nivel internacional. Además, se presentan los valores máximos para la emisión de arsénico y cobre a aguas marinas según el D.S. N^{o} 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Tabla 4: valores máximos permisibles de metales pesados para alimentos y agua de mar.

	Cobre (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/ kg)
Valores max. Permisibles en Chile	10	2	No hay Norma
Valores Max. Permisible en Europa	No hay Norma	2,6	1,5
Valores max. Permisible por la FAO	No hay Norma	0,1	2
Valores máximos permisible en el agua de mar	1 (mg/L)	0,2 (mg/L)	▪

De la tabla 4 al analizar los valores máximos permisibles tanto en Chile como por la FAO y la Unión Europa, se observa que a nivel nacional se permite una concentración máxima de 10 mg de cobre por kg de tejido en los alimentos, cifra que en 5 de las 6 especies muestreadas, sobrepasan este valor notoriamente, incluso para los locos quintuplica este valor.

En cambio la norma chilena para el arsénico está por debajo del valor máximo permisible en Europa. No obstante los depredadores muestreados concentran valores cercanos a los 7 mg/kg de arsénico, cifra que supera tanto los valores permisibles en Chile como en Europa.

Además se comprende que para el Cadmio no existe alguna normativa que pueda regular la presencia de este contaminante para los alimentos. No obstante existen normas tanto para Europa (1,5 mg/kg) y para la FAO (2 mg/kg), valores que son sobrepasados en las jaibas, locos y lapas muestreadas por Oceana (2012).

Además de lo ya mencionado, llama la atención de los resultados del estudio de Oceana (2012) la variación espacial que existe de los contaminantes a medida que se alejan del punto de emanación de estos metales, específicamente desde el complejo industrial de Ventanas.

Para entender esto se explicará el muestreo realizado por Oceana (2012). En el estudio se utilizo 4 localidades costeras de muestreo, las cuales se encontraban a distintas distancias de complejo industrial Ventanas. Las localidades fueron sector bajo la boca, La virgen, La Churra, y Playa el Tebo. Todos sectores con gran importancia para los pescadores artesanales de la zona. En estos sectores se tomaron las muestras de distintos invertebrados marinos señalados en la tabla 5.

De esta manera, se analizó la concentración que alcanzaban los tres contaminantes en los tejidos de animales a medidas que estos se ubicaron mas lejos de la zona de emisión de contaminantes del complejo industrial Ventanas. Los resultados se presentan en la tabla 5.

Tabla 5: distancias y concentración de los contaminantes (oceana, 2012).

Lugar de muestreo	Distancia desde Ventanas (kilómetros)	Concentración de cobre (mg/kg)	Concentración de arsénico (mg/kg)	Concentración de Cadmio (mg/kg)
Bajo la boca	0	45,6	7,73	2,37
La Virgen	0,7	9,90	1,54	0,27
La Churra	2,2	23,45	0,92	2,35
El Tebo	3	52,9	7,35	8,15

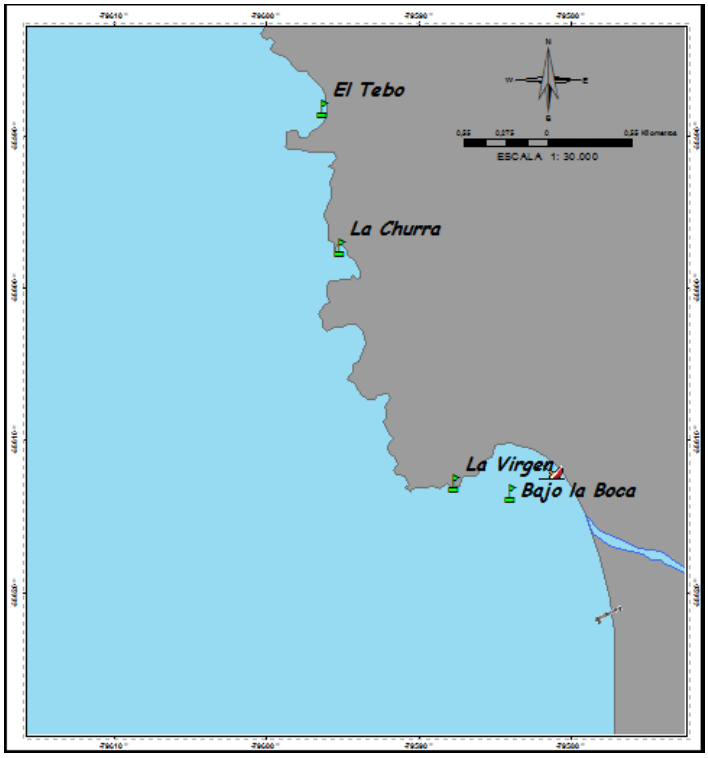


Figura 4: Lugar de muestreo realizado por Oceana (2012).

Del análisis de la tabla 5 se observa que las concentraciones de los metales estudiados a través del muestreo realizado por Oceana, indican altas concentraciones de cobre en todos los puntos de muestreo, además de elevados índices de Cadmio y Arsénico en algunas de las localidades (ver Tabla 4 para referencias de concentraciones normales o aceptadas y tabla 5 para la concentración de contaminantes en cada localidad estudiada). En un contexto geográfico, se identifica una alta concentración tanto en el sector de emisión de contaminantes (localidad Bajo La Boca) como en el sector de la playa El Tebo (a mas de 3 kilómetros del lugar de posible emisión de los contaminantes), en contraposición de lo que se obtuvo en los sectores a distancias intermedias como La Churra, ubicado a 2,2 kilómetros de caleta Ventanas; o del sector de la virgen, localizada a 0,7 kilómetros de los ductos de emisión de contaminantes. Es decir, en los sectores ubicados a una posición intermedia entre la fuente de emisión de contaminantes (Bajo La

Boca) y la localidad más lejana (Playa El Tebo) se observó una disminución en la concentración para los mismos metales estudiados.

Sin embargo, de acuerdo a las corrientes dominantes del área de estudio, que van en dirección de sur a norte, se esperaría una distribución de los contaminantes concentrada cerca de la fuente de emisión (Complejo industrial Ventana), y más diluida a medida que se aleja de la bahía de Quintero. Al contrario de lo esperado en función de la dirección de las corrientes oceánicas el sector más lejano a puerto Ventana (playa el Tebo) contuvo los valores de contaminantes más altos en desmedro de los sectores más cercanos de los lugares de emisión de contaminantes.

Dadas las discrepancias entre la distribución de contaminantes esperada y la observada en el área de estudio, surge la siguiente pregunta ¿Cuáles son las causas de la presencia de al menos dos polos disyuntos de alta concentración de contaminantes observadas en el litoral de la bahía de Quinteros y la zonas más al norte?

Desde una perspectiva oceanográfica se pueden considerar factores como las corrientes marinas, en los cuales el sistema de flujo y reflujo generaría una distribución heterogenia en los sectores cercanos a la bahía de Quintero. También es necesario tener en consideración los factores físico químicos, como la salinidad, el pH y/o la temperatura, los cuales influyen en las concentraciones y depositación de partículas a distintas profundidades del océano e influyen en los fenómenos de surgencias costeras en las costas de Chile y Perú producto de la corriente de Humboldt.

Por otro lado, se puede tomar en consideración el diseño de muestreo realizado por el estudio de la ONG Oceana. El muestreo de contaminantes en distintas especies del intermareal influiría en el patrón de distribución de contaminantes observado, ya que como se indico en la discusión de la tabla 1, la posición trófica que ocupen las especies influye en la concentración de

contaminantes que contengan en sus tejidos. Las especies que ocupan posiciones tróficas mas altas (e.j. depredadores) presentan mayores concentraciones de contaminantes que especies de niveles tróficos inferiores (e.j. productores primarios, filtradores, herbívoros). A este fenómeno se le conoce como bioacumulación. En el contexto del estudio de Oceana, ya que las Jaibas y los locos actúan como depredadores del intermareal de lapas, choritos, almejas, etc. tendrían una mayor concentración de contaminantes debido a que acumulan los contaminantes de las especies que están más abajo en la cadena trófica y que también serian afectados por las sustancias estudiadas. De esta manera, si en algunas localidades se midió la concentración de contaminantes en animales depredadores y en otras zonas se evaluó en animales herbívoros o filtradores, la distribución heterogénea de contaminantes observada en las localidades estudiadas podrían ser un artefacto de muestreo. Al revisar los antecedentes del estudio Oceana (2012), se observo que en el sector de El Tebo (lugar más alejado de la fuente de contaminación) fue evaluado solo con animales depredadores, lo que podría explicar la alta concentración de contaminantes observada en este sector.

En resumen, con los antecedentes presentados queda la incertidumbre de si el patrón de distribución de los contaminantes del estudio de Oceana (2012), se deben a un artefacto de muestreo, producto de bioacumulación diferenciada entre especies marinas de diferentes niveles tróficos (artefacto de muestreo), o si se explica por la fisicoquímica del agua y/o a la conducta de las corrientes marinas en el sector de la bahía Quintero (factores oceanográficos).

4. Preguntas y objetivos de la investigación

4.1 Pregunta de investigación

¿Cómo es la distribución de contaminantes (metales pesados) en el océano en los alrededores de la Bahía de Quintero provocado de la actividad productiva del complejo industrial Ventanas? Además, el patrón de distribución de los contaminantes del estudio de Oceana (2012), ¿se deben a un artefacto de muestreo, producto de bioacumulación diferenciada entre especies marinas de diferentes niveles tróficos, o se explica por la fisicoquímica del agua y/o a la conducta de las corrientes marinas en el sector de la bahía Quintero (factores oceanográficos)?

4.2 Objetivos de la investigación

Objetivo general: Determinar cómo se distribuye la contaminación de los metales pesados en el océano y cuáles son sus principales condicionantes.

Objetivos específicos

1. Evaluar cuales son las corrientes marinas esperadas para la bahía de Quinteros a través de análisis SIG.
2. Determinar cómo se distribuye la concentración de los metales pesados en el agua de mar a una misma profundidad, abarcando distintas distancias a la costa y a la bahía de Quinteros
3. Analizar la relación entre conductividad eléctrica y concentración de metales.

5. METODOLOGÍA

En gran parte del trabajo se hizo necesaria la implementación cartográfica del área de estudio. De esta manera, se utilizó Sistemas de información Geográfica (SIG), específicamente el ArcGis 10,1. A través de este software se pudo trabajar en la ortofotomosaico de la V región de Valparaíso (SECTRA.2012), en donde se georeferenciaron los distintos puntos de interés para este estudio (caleta de pescadores, complejo industrial Ventanas, área de manejo y explotación de recursos Bentónicos (AMERB).

Para evaluar la concentración de Cobre y Arsénico en el agua de mar, se utilizo ArcGis 10.1 para planificar los puntos de muestreo (cartografía 1), de manera que se confeccionó una grilla de 18 estaciones utilizando un esquema de muestreo de tipo Sistemático. Los puntos centrales de las grilla tienen una equidistancia de 1000 metros y tomadas a 3 metros de profundidad. Por otra parte, se planteó dos puntos de muestreo intencional en el fondo marítimo, específicamente a 8 metros de profundidad a 200 metros del ducto de desagüe del parque industrial.

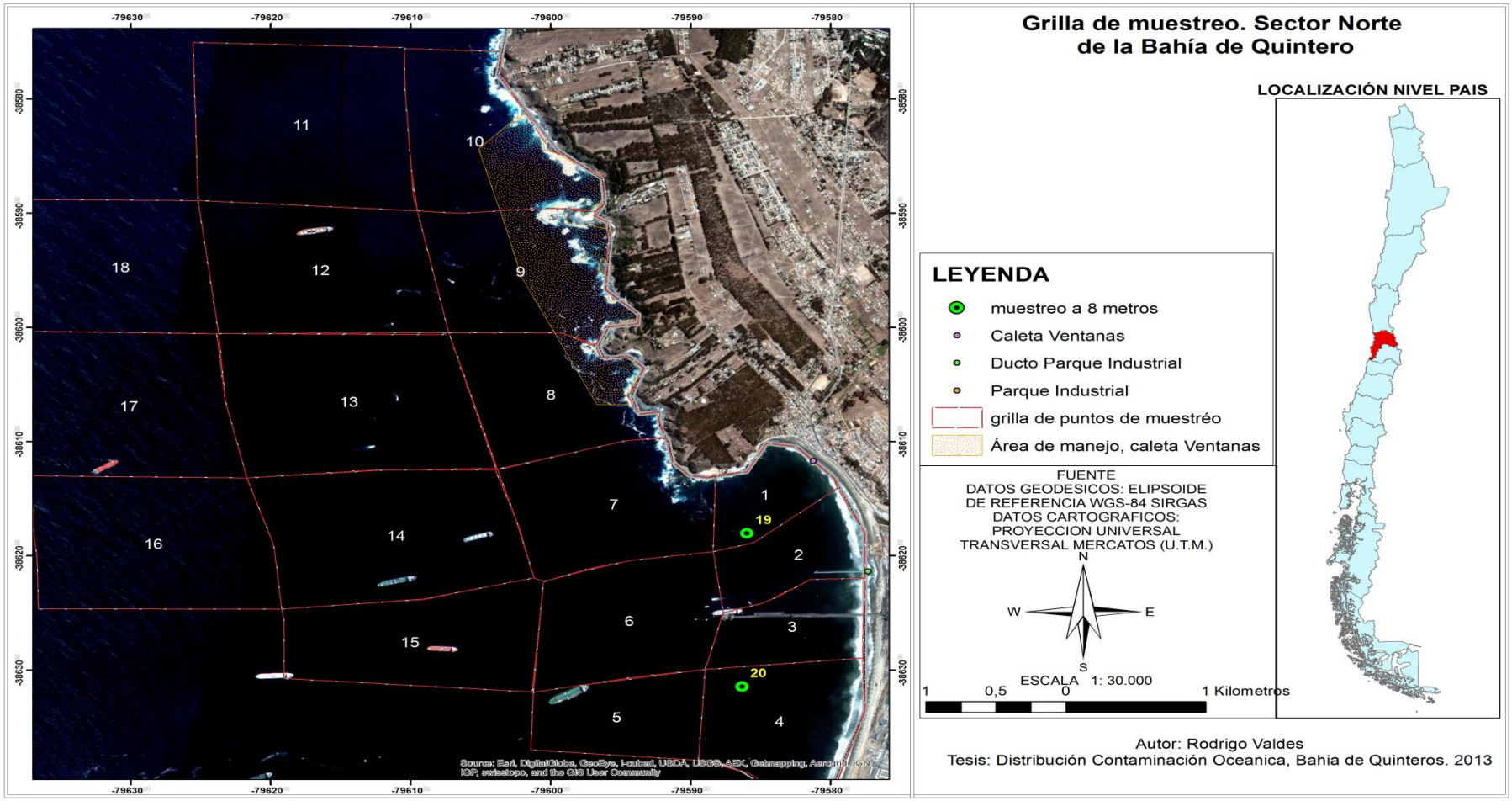
Los puntos de muestreo abarcan el sector Norte de la bahía de Quinteros, incluyendo el área de manejo de los pescadores artesanales de Ventanas, la caleta de pescadores y el ducto de desagüe del parque Industrial Ventanas. De esta manera estos puntos nos demostrarán como se distribuye los contaminantes en la zona. A través de arcgis se empleo la técnica de análisis espacial Kriging, un método de interpolación utilizado en el contexto de esta tesis para proyectar en el espacio marino la distribución de los contaminantes

De este resultado, se podrá analizar las posibles concordancias o divergencias que pueden existir respecto a los modelos de corrientes oceánicas expuestos en los antecedentes teóricos y a la medición de la conductividad eléctrica.

Paralelamente a este muestreo en la bahía de Quintero, se generó una medición de la conductividad eléctrica a través de un muestreo aleatorio en la Bahía de El Quisco. Fueron 3 las estaciones para esta Bahía, las cuales se midieron a 3 metros de profundidad.

Cabe mencionar que para los dos casos, se complementó la medición de la conductividad eléctrica con el sondeo de salinidad para las mismas muestras, debido a la correlación que existe entre estos factores oceanográficos. Además las muestras se estandarizaron a 25ºc para evitar problemas de medición.

Por otra parte, los recipientes de las muestras, tanto para la Bahía de Quinteros como para El Quisco, fueron lavados con agua destilada, limpiando cualquier elemento que pudiera perjudicar la identificación de los metales pesados. Las 20 muestras fueron rotuladas y llevadas al laboratorio de Análisis de Química Inorgánica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, donde un Espectro Fotómetro de Fluorescencia Atómica permitió registrar trazas de metales pesados como cobre y arsénico, en concentración de partes por billón.



Cartografía 1: Grilla de muestreo. 18 puntos a 3 metros de profundidad y 2 puntos a 8 metros de profundidad próximos al ducto del complejo industrial Ventanas (fuente: elaboración propia)

6. RESULTADOS

6.1 CORRIENTES MARINAS ESPERADAS PARA LA BAHÍA DE QUINTEROS A TRAVÉS DE ANÁLISIS SIG.

Bakovic y Balic (1984), señalan que la circulación y velocidad de las aguas en la bahía de Quintero están influenciadas por las corrientes de marea, observando en una condición de llenante corrientes dirigidas hacia el interior de la bahía, situación opuesta a la observada en marea vaciante, en la cual las corrientes tienden a orientarse fuera de la bahía.

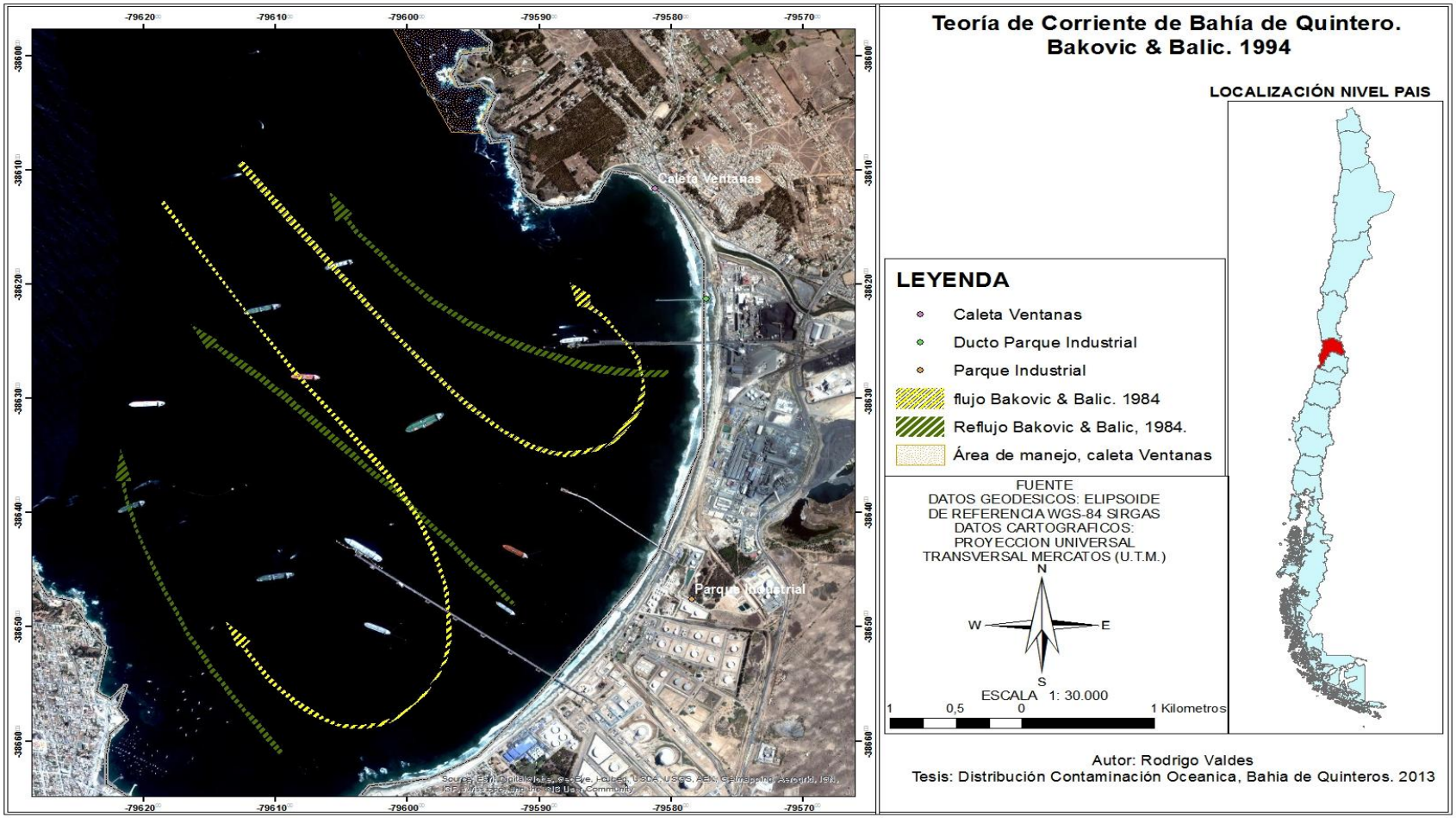
Según este modelamiento de corrientes oceánicas, se identifican tres zonas de reflujo y dos zonas de flujo. Entre las primeras se encuentran en dirección hacia el sur de la bahía de Quintero, centro y Norte de esta misma, en las cuales podemos entender las direcciones de salida de los contaminantes. Para las corrientes de flujo, las dos se localizan en la zona central de la bahía, en donde se dividen en dos direcciones al acercarse a menores profundidades.

De la cartografía generada (ver cartografía Nº2), podemos obtener que una de las corrientes de flujo expuesta por Bakovic & Balic (1984), se localiza al sur del ducto del parque industrial Ventanas, generando que en la Bahía de Quintero llegue agua “no contaminada por metales pesados”. Por otra parte, en la zona de descarga de las aguas industriales, es donde se origina una de las corrientes de reflujos de la bahía, de manera que el agua que en algún momento llego sin contaminante, se retire con una carga de metales pesados hacia las afuera de la Bahía.

La Consultora Ocean Green (2007), también planteo su modelamiento oceánico (ver cartografia Nº3) en donde se pueden identificar corrientes que provienen de la zona norte de la Bahía de Quintero, funcionando como llenante de la bahía. Esta corriente tiene una dirección constante hacia el Sur y su desplazamiento es en aguas no tan profundas (hasta 20 metros), por lo que se puede evidenciar que se desplaza muy cerca del borde costero.

El giro con sentido ciclónico que la consultora describe, se localiza en el área de descarga del parque Industrial. De esta manera, esta corriente recoge agua contaminada y la desplaza hacia el sur de la Bahía.

Las corrientes de reflujo para este modelamiento, se ubican tanto en el centro como para el sur de la Bahía. Esta ultima toma mayor importancia ya que proviene del borde costero donde las corrientes de llenante que pasan por el ducto industrial llegarían hasta ese mismo punto.



Cartografía 2: corriente de Bahía de Quintero. Bakovic & Balic. 1994 (fuente: elaboración propia)

Sin embargo, en el mismo sector donde se ubica la corriente de reflujo en la zona central de la Bahía, se puede identificar una corriente de flujo, la cual se une a la corriente de reflujo que proviene del borde costero, lo que conllevaría a que tomara más fuerza y sería la corriente de reflujo predominante de la bahía.

Por otra parte, para Escobar (1971) las corrientes predominantes para la Bahía de Quintero se caracterizan por ser de dos tipos (ver cartografía Nº4): La primera sería de corrientes en profundidad, en donde para la parte Norte, centro y Sur de la bahía, se encontrarían corrientes de flujo. Mientras que para las corrientes de reflujo en profundidad, estarían ubicadas en el extremo Sur de la Bahía.

Según el modelo de Escobar (1971) para las corrientes superficiales se identifican características coincidentes con las corrientes de profundidad. Ya que en la zona norte, en la misma área de las corrientes de flujo en profundidad, se localiza una fuerte corriente de flujo superficial, la cual llega hasta el borde costero (a 5 metros de profundidad).

Las corrientes superficiales tienen una predominancia sur en su dirección. Hasta el punto que las corrientes de reflujo se localizan en el extremo sur de la Bahía, al igual que para las corrientes en profundidad.

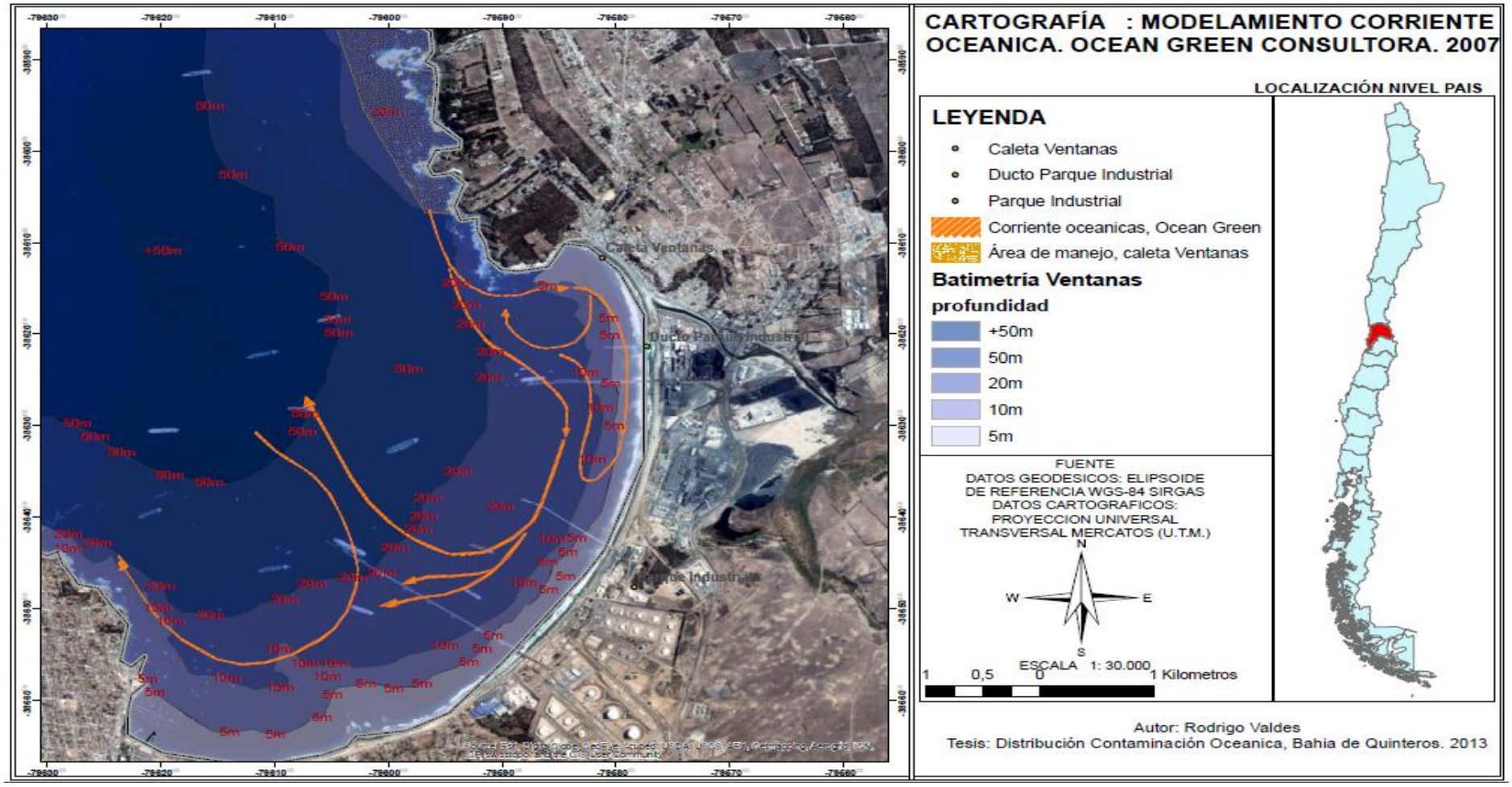
Para los tres modelos de corriente expuestos se pueden identificar características comunes. Hay una dirección predominante hacia el sur de la Bahía, en donde parten de la zona de descarga de las aguas industriales y se desplazan por el borde costero hasta llegar al extremo sur de la bahía.

Esta corriente que se desplaza hacia el sur, se localiza a lo largo del borde costero, demostrando que existe una interacción constante con el ducto industrial ubicado en una zona de 5 metros de profundidad.

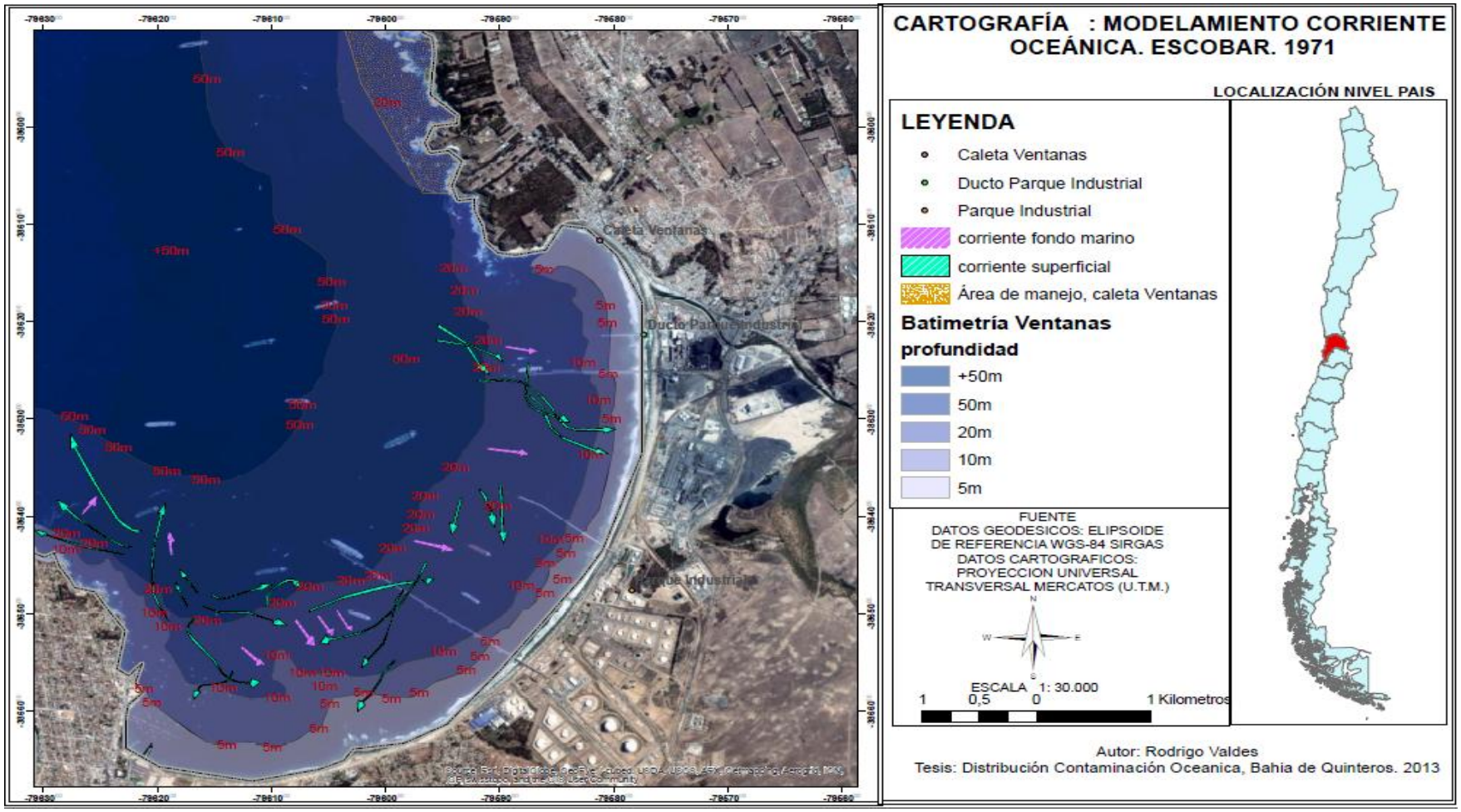
Sin embargo es necesario destacar las corrientes que salen por la zona centro de la bahía (reflujo), ya que hay una coincidencia entre el modelo de corrientes marinas planteado por Ocean Green (2007) con el modelo de

Bakovic & Balic (1984). Estas también pueden explicar cómo llegan los contaminantes al área de manejo de recursos Bentónicos de la caleta de Ventanas, ubicada al Norte de la Bahía de Quintero.

Lo explicado por Ocean Green, respecto al giro en sentido ciclónico que se localiza en el área de desagüe industrial, es de gran importancia ya que desde este punto se originan corrientes que se movilizan por todo el borde costero hasta llegar al extremo sur de Quinteros. De esta manera, entendemos que los contaminantes pueden dirigirse en dos direcciones. Tanto hacia el sur, siguiendo el borde costero, como hacia la zona central de la bahía.



Cartografía 3: Modelo corriente oceánica. Ocean Green Consultora. 2007 (fuente: elaboración propia)



Cartografía 4: Modelo de Corriente Oceánica. Escobar. 1991(fuente: elaboración propia)

6.2 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (ARSÉNICO Y COBRE) EN EL OCÉANO.

Tanto en las muestras obtenidas a 3 metros como en las de 8 metros de profundidad, se encontraron presencia tanto de Arsénico como de cobre. Según el D.S. Nº 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, para el caso del Arsénico el 40% de las muestras exceden la normativa de emisión de este contaminante a aguas marinas (0,2 mg/L), mientras que para el cobre, a pesar de encontrar trazas de metales en todas las muestras, en ninguna excede la normativa de 1 mg/L.

Numero de muestra	**Arsénico** 1 mg/L	**Cobre** 1 mg/L
1	0,02	0,01
2	0,05	0,04
3	0,02	0,01
4	0,02	0,01
5	0,02	0,01
6	0,06	0,02
7	0,03	0,01
8	0,04	0,01
9	0,02	0,01
10	0,02	0,01
11	0,02	0,01
12	0,02	0,01
13	0,05	0,01
14	0,06	0,01
15	0,05	0,02
16	0,02	0,01
17	0,02	0,01
18	0,02	0,01
19	0,02	0,01
20	0,04	0,01
	Exceden Normativa	

Tabla 6: Tabla de Concentraciones de Arsénico y Cobre (fuente: elaboración propia)

6.2.1 CONCENTRACIONES Y DISTRIBUCIÓN DEL ARSÉNICO A 3 METROS DE PROFUNDIDAD.

El arsénico es el contaminante con los más altos niveles que se pudieron encontrar en este estudio. Valores que excedieron la normativa como otros que están al borde del incumplimiento.

Para el muestreo realizado a 3 metros de profundidad se obtuvieron que para las muestras 6 y 14 alcanzaran los 0,06 mg, los cuales serian los más altos para este contaminante.

Sin embargo, existen concentraciones de 0,05 mg/L, para la muestra 13, 14 y 2. Esta ultima de gran importancia ya que sería en la zona de desagüe del parque industrial.

Otro de los puntos a destacar para el caso del arsénico, es que en las muestras 7 y 8 se encontraron 0,03 y 0,04 mg/L respectivamente.

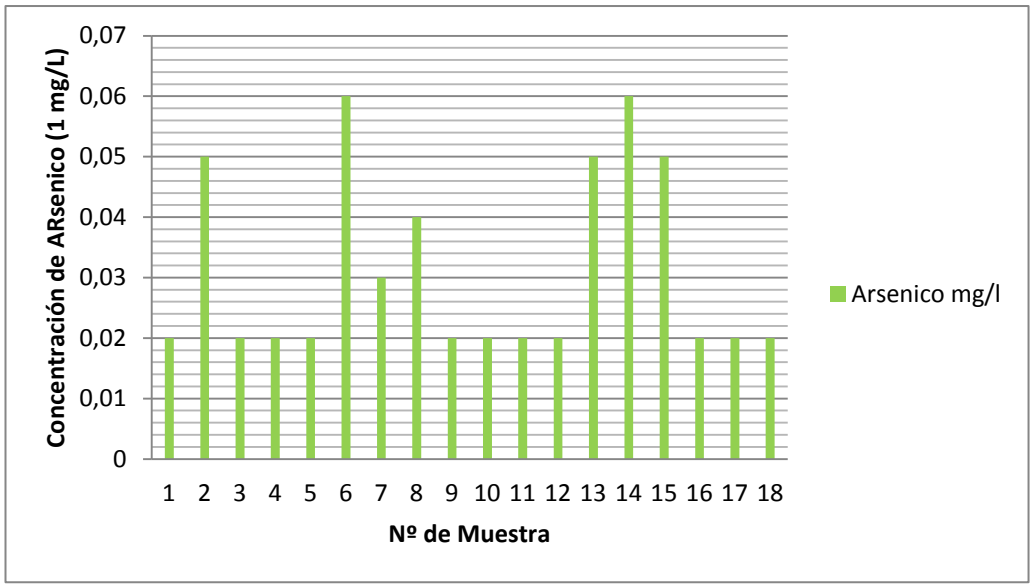
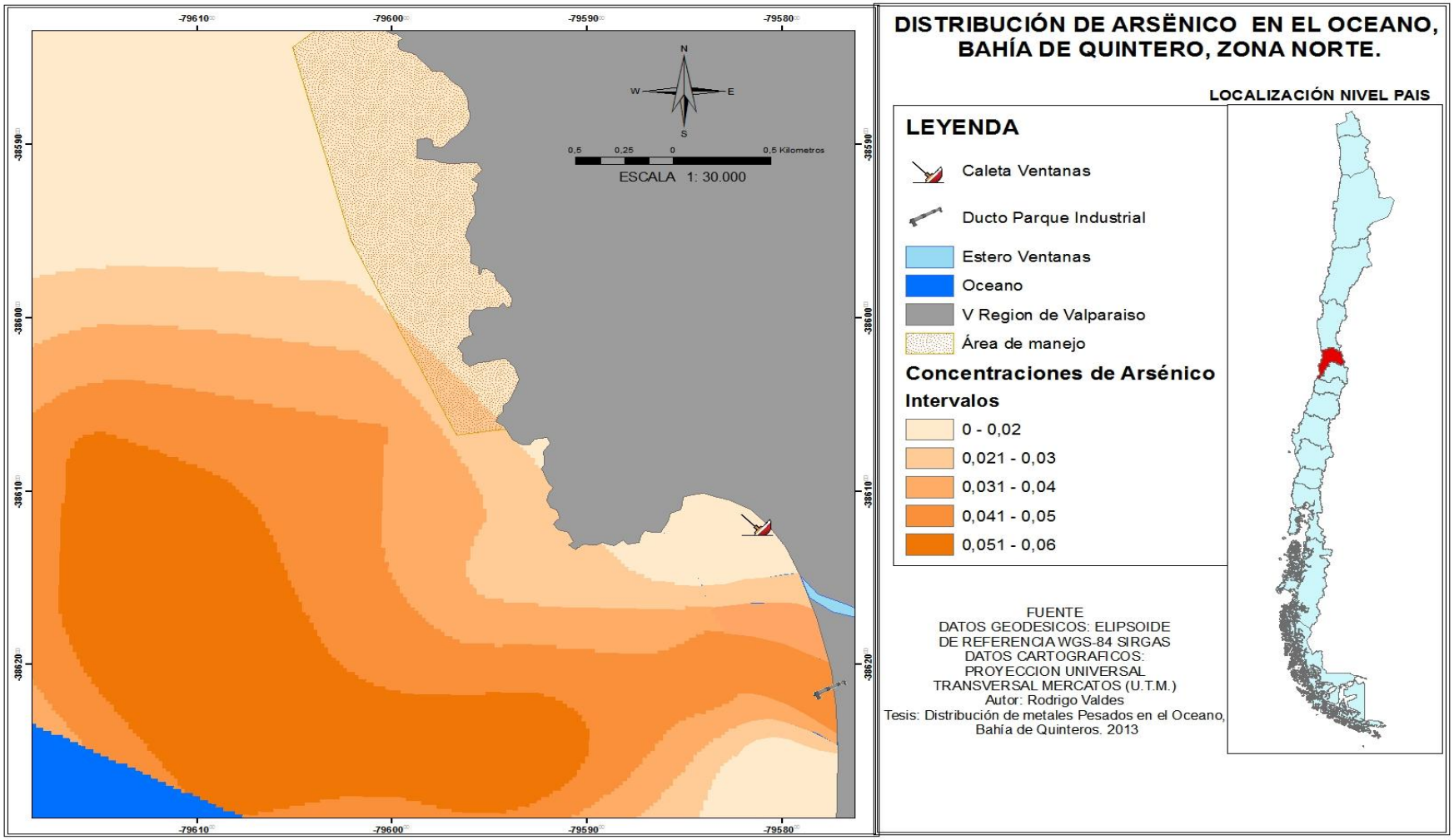


Gráfico 1: Concentraciones de Arsénico (fuente: elaboración propia)

Dentro de la distribución de este metal pesado (ver cartografía Nº5) para el área muestreada, se puede identificar grandes concentraciones en las cercanías del ducto del parque industrial (muestreo Nº2). Sin embargo los valores más alto están al oeste del desagüe (muestreo Nº 6 y 14) y alejados a mas de 1000m de la fuente emisora.

Las concentraciones de este metal, se disgregan en los puntos aledaños a los anteriormente mencionados, llegando de esta manera a través de los puntos 7 y 8 al área de manejo recursos bentónicos de la caleta de pescadores.

Por lo tanto, el arsénico tendría una distribución atípica a los 3 metros de profundidad, entendiendo las diferencias de concentración existente entre el área de fuente emisora y de los puntos muestreados a mas de 1000 m al oeste, Sin embargo el arsénico sigue un patrón de distribución de salida por el centro de la bahía., lo que a su vez es desplazado hacia el norte con dirección y depositación en el mismo lugar del área de manejo de los pescadores de Caleta Ventanas.



Cartografía 5: distribución de Arsénico a 3 metros de profundidad (fuente: elaboración propia)

6.2.1 CONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL COBRE A 3 METROS DE PROFUNDIDAD.

El cobre, al igual que el arsénico está presente en todas las muestras. A pesar que ninguna de las muestras excede la normativa de emisión de metales pesados al océano, las altas concentraciones están limitadas a tres áreas de muestreo.

Para el muestreo Nº2 es donde se evidencia la mayor concentración para el total de las muestras, 0,04 mg/l. por otra parte para el muestreo Nº 6 y 15 tienen una presencia de 0,02 mg/L. Para el resto de las muestras, se pudieron obtener resultados inferiores a 0,01 mg/L.

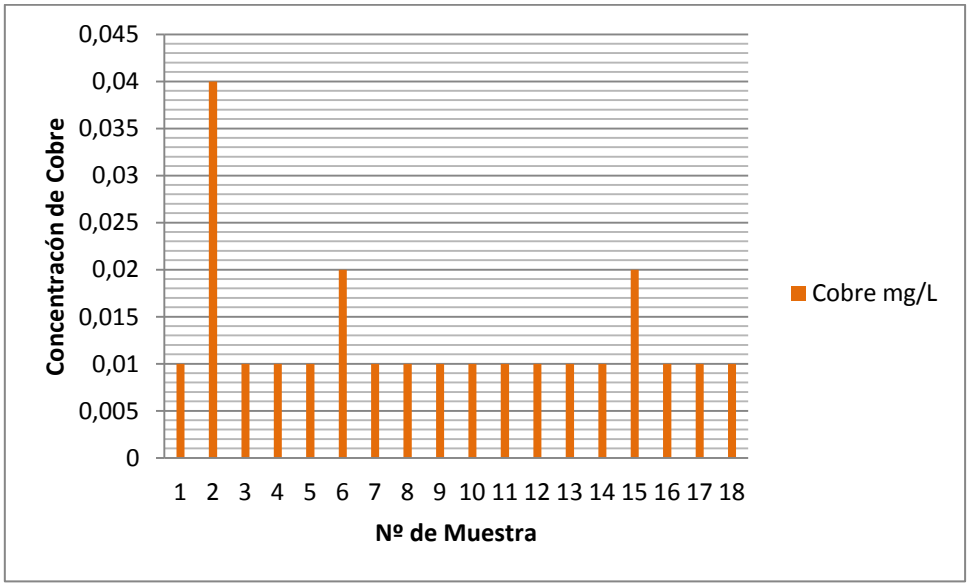
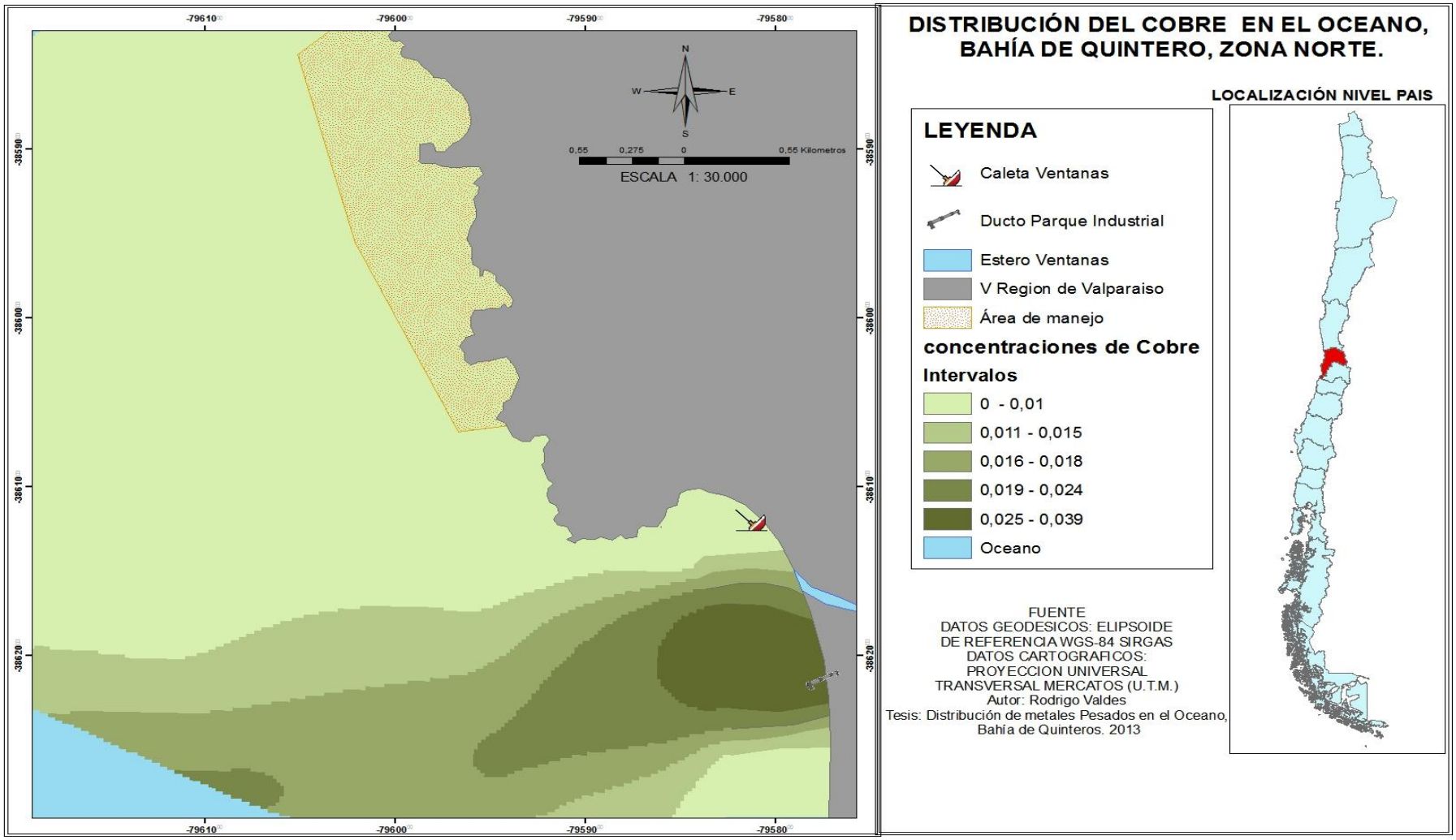


Gráfico 2: Concentración de Cobre (fuente: elaboración propia)

La distribución que tiene el cobre en el área muestreada (ver cartografía Nº6), es de una alta concentración en la zona de emisión del contaminante, la que luego se va dispersando a medida que se alejan de la zona de emisión.

El cobre tiene una dirección hacia el oeste, en donde va disminuyendo a medida que se aleja de la zona emisora. De esta manera luego de tener altas concentraciones en el punto Nº 2, se evidencia cobre en los puntos aledaños,

como son el muestreo Nº 6 y 15. Sin embargo, para este metal pesado, en comparación a lo que sucede con el arsénico, no se logra evidenciar su desplazamiento de forma concreta hacia el área de manejo de los pescadores, ya que en esa zona solo se identificaron valores por debajo de los 0,01 mg/L.



Cartografía 6: distribución de cobre a 3 metros de profundidad (fuente: elaboración propia)

6.2.2 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS A 8 METROS DE PROFUNDIDAD.

Para las concentraciones obtenidas de las muestras realizadas a 8 metros de profundidad, las cuales se localizaron próximas al ducto del CIV (ver cartografía 1), específicamente a 200 metros hacia el norte y sur del ducto del CIV. Para este muestreo se obtuvieron los siguientes resultados:

Numero de muestra	Arsénico mg/L	Cobre mg/L
19	0,02	0,01
20	0,04	0,01

Exceden Normativa

Tabla 7: concentraciones de metales pesados en el fondo oceánico

Para el cobre se identificaron concentraciones de un 0,01 mg/L, la cual correspondería a los valores mínimos percibidos en este estudio para este contaminante. Estos valores difieren de los obtenidos a 3 metros de profundad, en donde se obtuvieron los índices más alto de cobre (0,04 mg/L.).

De esta manera obtendríamos diferencias considerables tanto para los valores obtenidos a 3 metros de profundidad como para los recolectados en el fondo oceánico.

Sin duda para el arsénico ocurre un fenómeno distinto para el metal anteriormente mencionado. Sus concentraciones son bastante elevadas en el fondo oceánico, alcanzando los 0,04 mg/L. valores mucho más alto que los obtenidos a 3 metros de profundidad (0,02 mg/L).

Además el arsénico en el fondo oceánico estaría sobrepasando la normativa de emisión de este contaminante a aguas marinas según el D.S. Nº 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

6.3 DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS (COBRE Y ARSÉNICO) EN EL OCÉANO

Agrupando las concentraciones y distribución tanto para el arsénico como el cobre, se pude obtener como se manifiestan los metales pesados en el área de estudio.

Los altos índices de metales pesados, se localizan en el ducto del CIV, los cuales se dirigen hacia el oeste a más de 1000 metros en donde toma dirección norte, para luego disgregarse tanto para el norte como para el sur (Ver cartografía 7).

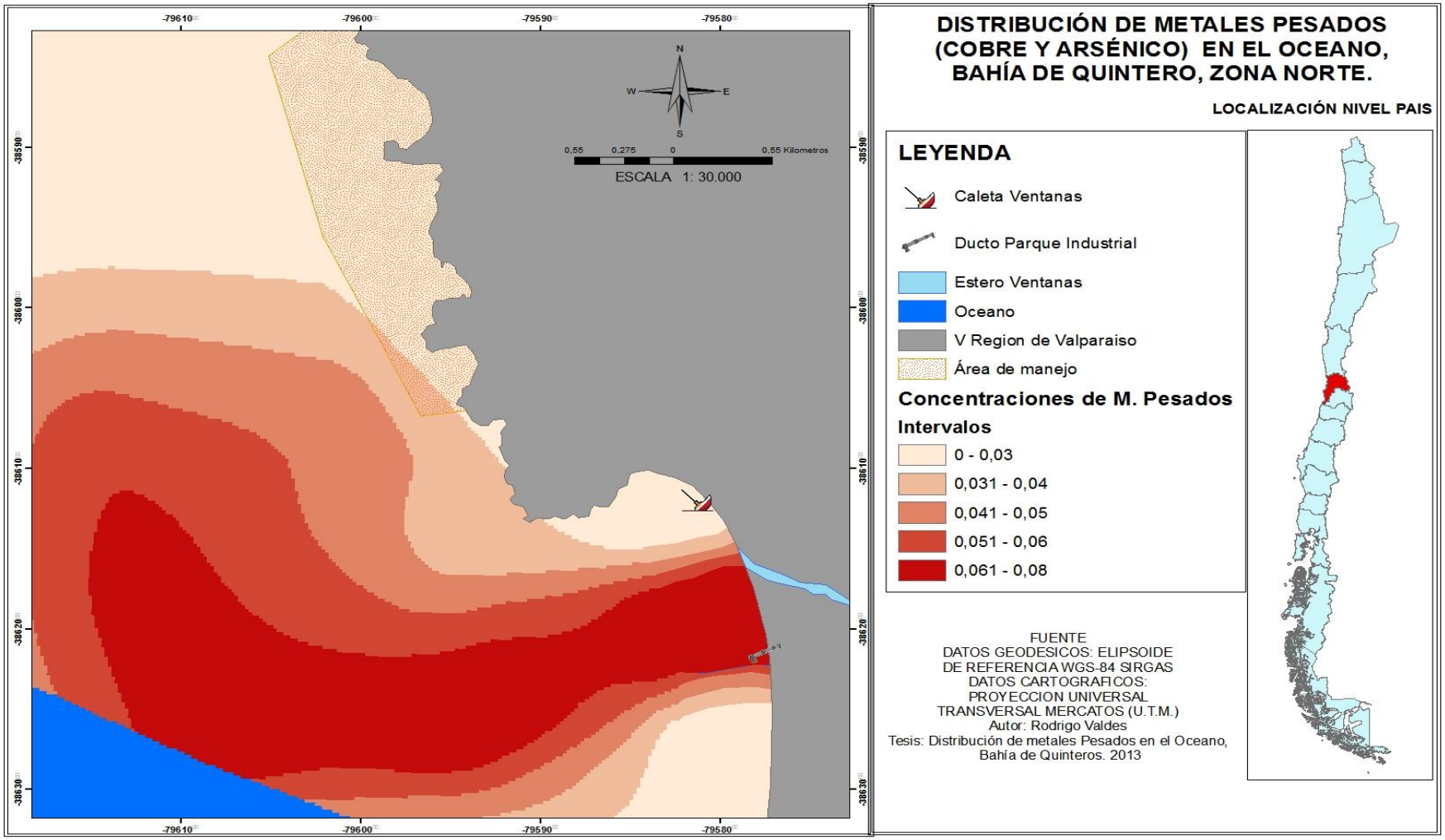
Estos metales pesados llegan hasta el área de manejo de recursos bentónicos de la caleta de Ventanas justamente en el sector de la Churra, en donde se identifican valores hasta 0,04 mg/L.

Por otra parte también se disgrega hacia el sur de la bahía, pero con una menor intensidad hacia el norte.

Por lo tanto obtenemos que los metales pesados, una vez que son liberados por el ducto del CIV, se dirigen hacia el norte de la bahía, afectando posiblemente al área de manejo de los pescadores de Ventanas.

Otros de los puntos relevantes a mencionar es que para el lugar de la Virgen, no se encuentran valores altos de contaminante a pesar de estar próximo al ducto del CIV. Sin duda este fenómeno se debe a las corrientes oceánicas que son forzantes de esta distribución de metales pesados en este sector.

Por otra parte el Tebo (sector donde termina el área de manejo de los pescadores y muestreada por Oceana) no se encontraron valor muy elevados de metales pesados, por el contrario es el sector donde menos arsénico y cobre se localizo en el muestreo.



Cartografía 7: distribución de metales pesados (cobre y arsénico) en el oceano (fuente: elaboración propia)

6.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE MAR DE LA BAHÍA DE QUINTERO.

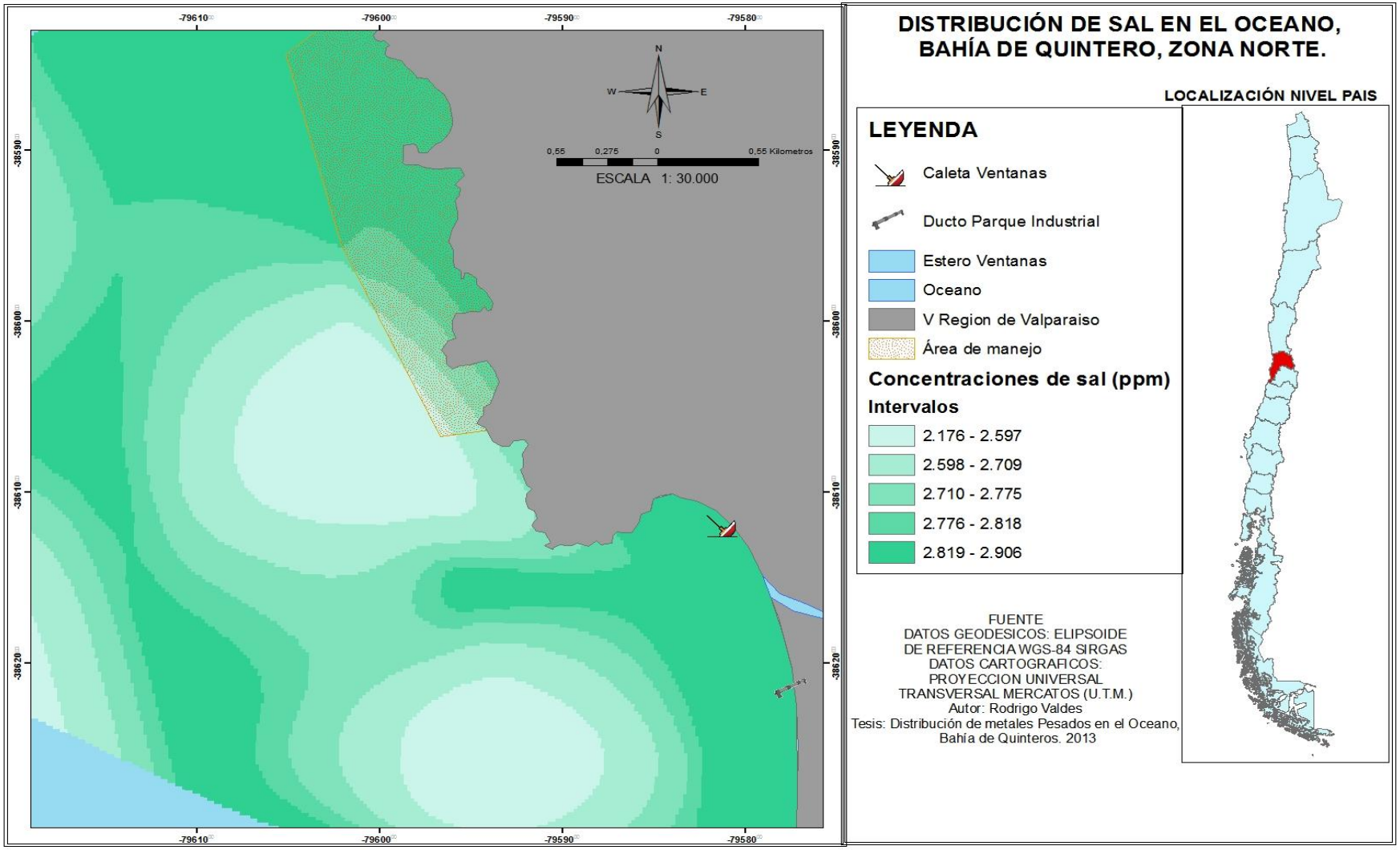
Cuanto más concentrada de sal esté el agua marina, será mejor conductora (Cifuente, 1997), por lo tanto, a la hora de investigar la conductividad eléctrica en la bahía, es necesario considerar la distribución de la salinidad en el área de estudio.

La salinidad para el área de estudio, se manifiesta con mayores índices (mg/L) en el borde costero, precisamente en el área del ducto del CIV, y la caleta de pescadores de Ventanas (ver cartografía 8). Estas altas concentraciones que alcanzan los 2906 mg/L abarcan los sectores ya mencionados y el sector de la Virgen.

Además se puede observar un alto índice a más de 1000 metros de la costa hacia el oeste, la cual se proyecta hacia el norte hasta llegar al sector del Tebo.

En cambio, existen áreas de un bajo nivel de salinidad. Precisamente es el área central del muestreo, la cual corresponde al sector de la Churra, se pueden identificar una salinidad de 2,176 mg/L.

Por tanto obtenemos que para el área de manejo de los recursos bentónicos, se pueden identificar que la zona norte de esta, contiene altos índices de salinidad



Cartografía 8: Distribución de sal en el océano (fuente: elaboración propia)

Teniendo conocimiento de la salinidad en el área muestreada, se puede ver la correlación que existe con la conductividad eléctrica.

Al igual que la salinidad. Los altos índices se evidencian tanto en el borde costero como a más de 1000 metros al oeste de la costa.

Sectores como el ducto del CIV, la caleta de pescadores y el sector de la virgen, pueden presentar 5792 umS/cm. Valores que también se pueden encontrar en la zona norte del área de manejo de los pescadores, específicamente en el sector del Tebo.

Por otra parte, los valores más bajo de conductividad eléctrica, se localizan en el sur del área de manejo de los pescadores y se extiende hacia el sur, alcanzando una distancia de 500 metros al borde costero de la bahía de Quintero.

De esta manera podemos relacionar los distintos índices de salinidad con los obtenidos respecto a la conductividad eléctrica (ver tabla 8).

La conductividad eléctrica, está condicionada a los distintos valores de salinidad que se obtuvieron en las muestras, de manera que los sectores en donde se evidenciaron altos niveles de salinidad también se obtienen altos índices de conductividad.

Por ejemplo altos valores de salinidad en el borde costero como 2843 ppm, se relaciona directamente con los 5703 umS/cm de conductividad. En cambio los 2168 ppm de salinidad en la zona sur del área de manejo, condiciona los 4336 umS/cm de conductividad.

Esta relación directa existente entre estos dos factores, puede explicar la distribución de la conductividad eléctrica, pero no necesariamente va a explicar los altos índices de conductividad.

Muestra	Conductividad umS/cm	Salinidad (mg/L)
1	5703	2843
2	5787	2893
3	5614	2807
4	5766	2841
5	5731	2908
6	5794	2274
7	4549	2897
8	4457	2231
9	5642	2824
10	5710	2823
11	5780	2890
12	5621	2810
13	5745	2872
14	5689	2858
15	5794	2900
16	4336	2168
17	4668	2833
18	4615	2308

Tabla 8: valores de conductividad y salinidad por muestras obtenidas (fuente: elaboración propia)

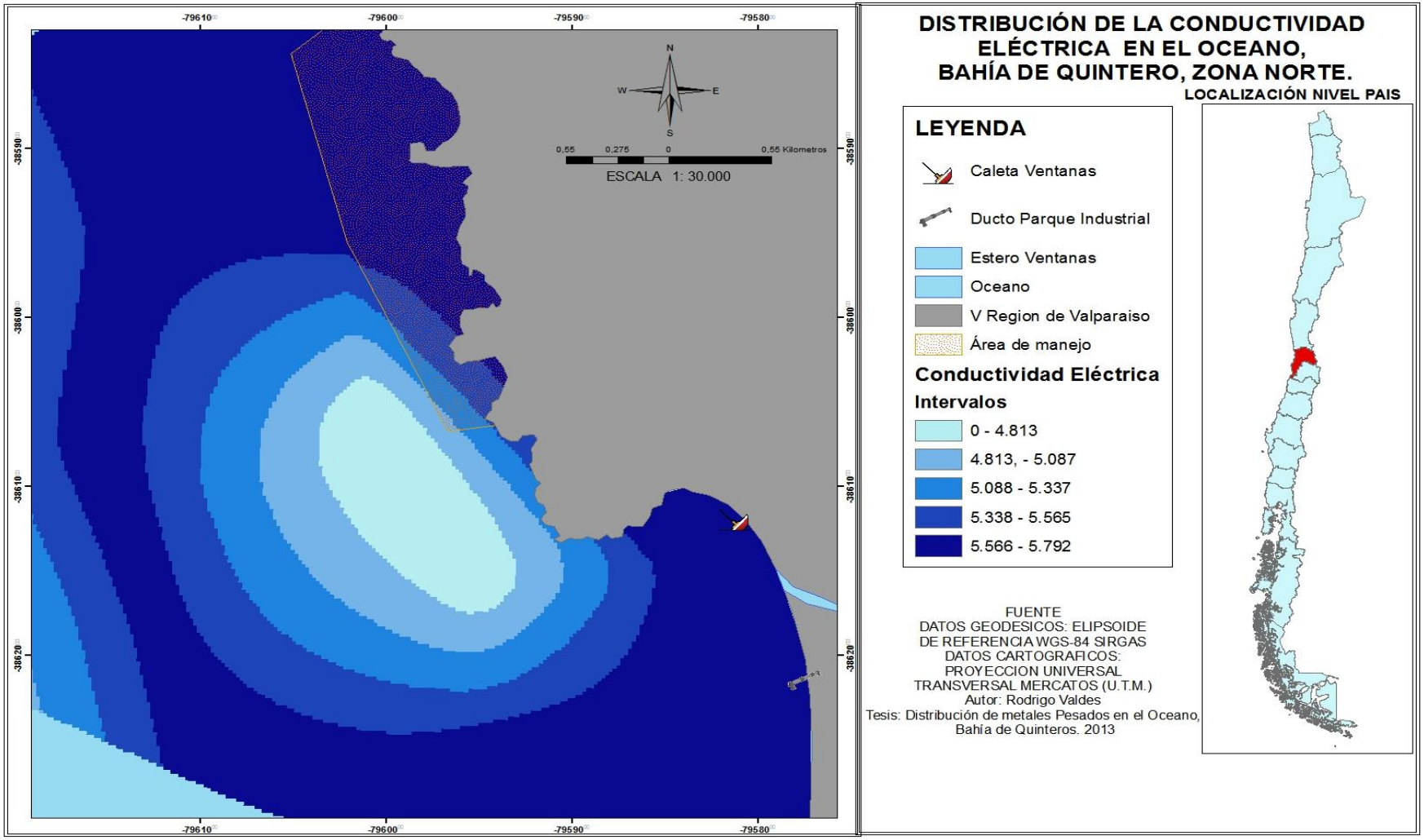


Figura 5: Distribución de la conductividad eléctrica en el océano de la Bahía de Quintero.

6.5 Conductividad eléctrica del agua de mar de la Bahía de el Quisco.

Al igual que para la bahía de Quintero, se realizaron análisis de salinidad para entender de mejor manera la conductividad eléctrica de esta Bahía.

Muestra	Conductividad umS/cm	Salinidad (mg/L)
1	4201	2160
2	4330	2363
3	4610	2496

Tabla 9: Conductividad y salinidad para la Bahía de El Quisco (3 metros de profundidad) (fuente: elaboración propia)

Las tres muestras de salinidad fueron obtenidas del borde costero, las cuales están por sobre los 2000 mg/L, e inferiores a 2500 mg/L.

Para la conductividad, se encontraron valores que están por sobre los 4200 umS/cm e inferiores a 4700 umS/cm. Estos distintos valores de conductividad, están directamente relacionados con las concentraciones de salinidad de las mismas muestras. De manera que en la muestra en donde se obtenía la menor cantidad de salinidad, se obtuvo la conductividad más baja del muestreo realizado. En cambio para la muestra Nº3, la cual corresponde a los valores de salinidad más alto, se observo un índice de conductividad más alto que los otros puntos de muestreo.

De esta manera, al igual que en la Bahía de Quintero, a medida que la salinidad aumente, la conductividad también aumentaría al verse condicionada por los bajos o altos niveles de salinidad.

Sin embargo, los valores de salinidad en algunos casos son similares a los obtenidos en la Bahía de Quintero. Pero la conductividad eléctrica para el Quisco es menor que la encontrada en la Bahía de Quintero.

Por tanto las diferencias de salinidad en el océano, explican de alguna manera las diferencias de conductividad eléctrica. No obstante, no se explica los altos índices de conductividad en Quintero a través de solo este variable. De esta manera se puede inferir que la conductividad eléctrica puede estar condicionada por la presencia de metales pesados en la bahía de Quintero, de manera que la conductividad alcance las cifras de 5700 umS/cm (ver tabla 8).

6.6 Relación entre conductividad eléctrica y presencia de metales pesados

Tanto para la Bahía de Quinteros como para la Bahía de El Quisco, existió una relación directa entre la conductividad eléctrica y la salinidad del agua. Sin embargo, el interés de esta tesis, es ver la relación que puede existir entre la conductividad eléctrica y las distintas concentraciones de metales pesados disueltos en el mar.

Observando la tabla Nº 10 se puede observar que los altos índices de conductividad están en las muestras Nº 2 y 15, las cuales corresponden al ducto de desagüe del CIV y a mas de 1000 metros de la fuente emisora respectivamente. Además, en estas mismas muestras, se encontraron altas concentraciones de Arsénico, 0,05 mg/L para ambas muestras.

Para el cobre sucede, ya que se encontraron concentraciones de 0,04 mg/L y 0,02 mg/L para la muestra 2 y 15 respectivamente. Correspondientes a los valores más altos de cobre arrojados en el muestreo.

Por otra parte, las muestras con menos conductividad eléctrica son las 16, 17 y 18. Las cuales corresponden a la zona más alejada del ducto de desagüe del CIV, valores entre los 4300 y 4600 umS/cm.

Estos puntos, también corresponden a la zona en donde menos arsénico y cobre se pudo encontrar, 0,02 mg/L y 0,01 mg/L respectivamente.

De esta manera, podemos entender que al igual que en la bahía de El Quisco, la presencia de sal es preponderante a la hora de evaluar la conductividad eléctrica. Sin embargo al contar con una bahía en donde se evidencia la liberación al mar de metales pesados en grandes cantidades, esta conductividad eléctrica puede ser alterada a ver disuelto metales como el arsénico y el cobre.

Las grandes concentraciones tanto de arsénico como de cobre se vieron reflejadas con los elevados índices de conductividad en la bahía. Por el contrario en las áreas donde había una baja presencia de estos metales, se encontró una baja conductividad eléctrica.

Tabla 10: relación entre conductividad y metales pesados

Muestra	Conductividad umS/cm	Salinidad mg/L	Arsénico mg/L	Cobre Mg/L
1	5703	2843	0,02	0,01
2	5787	2893	0,05	0,04
3	5614	2807	0,02	0,01
4	5766	2841	0,02	0,01
5	5731	2908	0,02	0,01
6	5794	2274	0,06	0,02
7	4549	2897	0,03	0,01
8	4457	2231	0,04	0,01
9	5642	2824	0,02	0,01
10	5710	2823	0,02	0,01
11	5780	2890	0,02	0,01
12	5621	2810	0,02	0,01
13	5745	2872	0,05	0,01
14	5689	2858	0,06	0,01
15	5794	2900	0,05	0,02
16	4336	2168	0,02	0,01
17	4668	2833	0,02	0,01
18	4615	2308	0,02	0,01

7. Discusión

De acuerdo a las teorías que se lograron espacializar respecto a las corrientes oceánicas del lugar, se pudo obtener que la teoría de Bakovic y Balic (1984), sea la que representa de mejor manera lo que sucede con los contaminantes: Una salida por el centro de la bahía a través de las corrientes de reflujo y posteriormente las corrientes fuera de la bahía, logran que los metales pesados se desplacen hacia el norte, llegando a abarcar zonas como el sector sur del área de manejo de los pescadores. Demostrando que las corrientes expuestas por Bakovic y Balic (1984), coinciden con la distribución de los metales pesados tanto dentro como fuera de la Bahía de Quintero.

El arsénico en la bahía de Quinteros, al ser liberado por el ducto del PIV, se deposita en el fondo oceánico en la misma zona de desagüe. En donde posteriormente es desplazado con dirección noroeste, demostrando una distribución gradual que va disminuyendo a medida que se aleja del sector de la fuente emisora.

Para el cobre, se puede observar que su distribución se caracteriza por una forma gradual desde el punto de emisión. No se evidencia una depositación en el fondo oceánico, de manera que se desplaza inmediatamente con dirección oeste, disminuyendo sus concentraciones a medida que se aleja del ducto del CIV.

Considerando estos dos metales pesados, se obtuvo que su distribución tiene una salida por el centro de la bahía, posteriormente se dirige hacia el norte alcanzando el área de manejo de la caleta de Ventanas.

Ahora bien, respecto a la conductividad eléctrica tanto para la bahía de Quintero como para El Quisco, se obtuvo que la salinidad tenga una relación directamente proporcional con la conductividad del agua de mar, entendiendo que en las áreas de mayor salinidad se encontraron valores más alto de conductividad.

No obstante los valores de conductividad eléctrica para la bahía de Quintero son notoriamente más altos que los obtenidos para el Quisco. Eso puede ser explicado a que gran parte de donde se observo metales pesados (tanto arsénico como cobre) hay una alta conductividad eléctrica, de esta manera se pueden encontrar valores como 5700 ums/cm.

Por tanto obtenemos que la distribución de los metales pesados ya mencionados, tengan como condicionante principal las corrientes de bahía expuestas por Bakovic y Balic (1984). Además al ser una zona contaminada por desechos industriales, su conductividad eléctrica se ve aumentada debido a la presencia de metales pesados, ya sea como el Arsénico o como el cobre.

Por otra parte, el muestreo realizado por Oceana (2012), en donde demostraba una distribución anómala respecto a las concentraciones de metales pesados tanto fuera como dentro del área de manejo de recursos bentónicos de la caleta de pescadores de Ventanas, muestra ser el resultado de un efecto de muestreo al no considerar el efecto de la bioacumulación en las especies utilizadas para evaluar la distribución de metales pesados.

Por otro lado, las concentraciones de metales pesados encontradas en el fondo marino, pueden afectar a especies como los erizos de mar, los cuales a través del muestreo realizado por Oceana (2012), se pudo evidenciar la presencia de metales pesados en sus tejidos.

En conclusión, la presencia y distribución de los metales pesados tratados en esta investigación, logran afectar al área de manejo de los pescadores, manifestando una distribución paulatina a medida que se aleja del ducto del CIV.

8. CONCLUSIÓN

No cabe duda que el parque industrial Ventanas a través de su ducto de desagüe hacia el mar, ha generado una constante contaminación oceánica, la cual ha perjudicado enormemente a los pescadores y a la población en general, afectando sus medios de producción local, el estado de salud del ambiente, el turismo de recreación y la salud de la población (consejo Ecológico de Puchuncaví, 2006).

En esta investigación se ha podido constatar que el agua de mar tanto dentro como hacia el norte de la bahía de Quintero, posee metales pesados los cuales logran llegar hasta el área de manejo de los pescadores de Ventanas.

Esta distribución paulatina que va disminuyendo sus concentraciones a medida que se va alejando del punto de emisión, se contradice con el estudio realizado por Oceana (2012) en donde se encontró una distribución anómala de estos contaminantes, ya que aquel muestreo está influenciado por factores como la bioacumulación manifestado por utilizar en el análisis especies de distinto nivel de cadena trófica.

Una adecuada planificación territorial, en donde la industrialización del borde costero no sea prioridad o que estas actividades fueran reguladas a través del uso de tecnología que disminuya sus efectos en el ambiente (e.g. filtros, fiscalización de las cadenas de producción, uso de energía "limpia", etc) y que las actividades como las de los pescadores sean más preponderantes en estas zonas, podría prevenir desde el primer momento la constante contaminación oceánica (tratada en esta tesis) en la que se ve afectada la bahía de Quinteros.

Por otra parte, la normativa ambiental respecto a la liberación de metales pesados en el océano, debiera tener una mayor fiscalización en estas zonas, ya sea por el ministerio de medio ambiente o el ministerio de salud. Ya que en esta investigación más del 40% de las muestras sobrepasaban los niveles permisibles para el arsénico.

Por último, esta investigación da el paso para que la relación entre metales pesados y conductividad eléctrica puedan tener una relación más directa a la hora de ver la presencia de estos metales. Ya que estos podrían explicar los altos índices de conductividad presentes en la bahía de Quintero, y dado que la medición de conductividad eléctrica es más fácil y económica de tomar que la concentración de metales pesados. En futuros estudios podría utilizarse como medida indirecta de la contaminación oceánica.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta V & Lodeiros C. 2004. Efectos del cobre en juveniles de bivalvos (*tivela mactroides)* provenientes de ambientes con diferentes niveles de contaminación. Vol 38.Centro de investigación Biológica Universidad de Oriente. Cumana Venezuela. 49 p.

- Ahumada, R.B., L.A. Pinto & P.A. Camus. 2000. “The Chilean Coast”, pp. 699-717. In: Seas at the millennium: an environmental evaluation. Vol. I Regional Chapters: Europe, The America and West Africa (ed: C.R.C. Pergamon, Amsterdam, Netherlands. pp 220- 315

- Badillo G. 2002. Curso Básico de Toxicología Ambiental: Cadmio cap 9: 145- 170. Buenos Aires, Argentina. 250p.

- Bakovic y Balic. 1984. Estudio de factibilidad técnica y económica de alternativas de solución al problema de evacuación de aguas servidas en el Gran Valparaíso. Informe Final.

- Bernal, P. y R.B. Ahumada. 1985. “Ambiente Oceánico”. En F. Soler (ed.). Medio Ambiente en Chile. Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA). Ediciones Universidad Católica, Santiago, Chile. 55-106 p.

- Castilla, J.C., S.A. Navarrete & J. Lubchenco. 1993. “Southeastern Pacific coastal environments: main features, large-scale perturbations, and global climate change”. In Earth System Responses to Global Change: contrasts between north and South America.

- Castilla, J.C. & J.L. Largier. 2002. The oceanography and ecology of the nearshore and bays in Chile. Ediciones Universidad Católica, Santiago, Chile, 243 pp.

· Castro A. 1982. Analisis de cobre en el agua: Acta bioquímica Clinica Latinoamericana, 16 (1): 3-17.

· Cifuentes Juan Luis.1991. Cap. IX El mal uso del océano. La contaminación en el mar. Fondo de Cultura economica, S. A. DE C. V. México D.F. pp.220- 310

· Escobar, Jairo (1971). Corrientes dentro de la bahía de Quintero, Santiago Chile. ed: CEPAL. Santiago Chile. 25-38.p40.

· Montecino, V., P.T. Strub, F. Chávez, A.C. Thomas, J. Tarazona, & T.R. Baumgartner. 2005. “Bio-physical interactions off western South America”. In: The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses. The Sea, vol. 14. Robinson, A. R., & K. H. Brink (eds.). Harvard University Press., Chapter 10.

· Ocean Green. ©. 2007, Modelacion de pluma de dispersión de la descarga de agua fría. Vol 2: 3-19.. Anexo 1 y 2.

· Richardson, Jonson. 1981. Navegación y Contaminación Oceánica. Revista Creces, Santiago Chile. 1(6) 15-75.

· Scelzo, Marcelo A. 1997. Toxicidad del cobre en larvas nauplii del camarón comercial Artemesia longinaris Bate (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Investig. mar.* , vol.25, pp. 177-185.

· Seaónez Calvo M, 2000.Manual de contaminación marina y restauración del mar. Ediciones mundi-prensa. Barcelona España. Pp 129- 171.

· SEREMI de Salud Valparaiso.2011. Informe de análisis de polvo y suelo en Puchuncaví. ORD: N° 1448

Consultados en Web

- *Consejo ecológico Programa para el medio ambiente del servicio de salud de Viña del Mar (1999) Catastro De Actividades Primarias en Puchuncaví.*

Recuperado el 3 de abril 2012. Desde.

http://www.slideshare.net/ramirezrueda1/contaminacion-bahia-quintero-puchuncavi

- *Ministerio Del Desarrollo Social (2009). Encuesta Casen Valparaiso.*

Recuperado el 2 de abril d e2012, de

http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen2009/

- ONg. Oceana.2012. *Zona de Sacrificio: Ventanas.*

Recuperado el 3 de abril de 2012. Desde: http://oceana.org/es/sa/portada41

- Organización de las naciones unidas para la educación, la ciencia y la cultura.1992.Modulo de educación ambiental y desarrollo sostenible.

Recuperado el 23 de Julio 2012. Desde:

http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/

- Portal del Mar, Marimundi, 2005."Contaminación", cap XI Bioacumulación.

Recuperado el 15 de agosto desde:

http://www.maremundi.com/contaminacion.asp?id=1