



Instituto de
Investigación
Pesquera

INFORME FINAL

PROYECTO FIP N° 2000-29

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZONAS ESTUARINAS DE LOS RÍOS VALDIVIA Y BUENO, X REGIÓN. (METODOLOGIA)

Av. Cristobal Colón 2780
Talcahuano - CHILE
Tel.: 56 (41) 584820
Fax: 56 (41) 583939

18 de Abril de 2002

INFORME FINAL

PROYECTO FIP N° 2000-29

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZONAS ESTUARINAS DE LOS RÍOS VALDIVIA Y BUENO, X REGIÓN. (METODOLOGIA)

AUTORES

Dagoberto Arcos R.

Jefe de Proyecto

Aerofotogrametría:

Héctor Peña A.

Hidrografía y Correntometría:

Sergio Núñez E.

José Ortiz R.

Variables químicas en columna de agua:

Luis Furet C.

Sergio Figueroa

Variables bio-ecológicas:

Aquiles Sepúlveda O. (Ictiofauna)

Hernán Rebolledo (Ictiofauna)

Jorge Castillo A. (Bentos)

Alice Turner (Bentos)

Humberto González (Fitoplancton)

Guillermo Valenzuela (Zooplancton)

Tasas de Sedimentación:

Humberto González

Eduardo Menschel

Aportes Alóctonos:

Aquiles Sepúlveda

Balance, capacidad de carga y eutroficación:

Aquiles Sepúlveda



Instituto de
Investigación
Pesquera

)v.

Cristobal Colón 2780
Talcahuano - CHILE
Tel.: 56 (41) 584820
Fax: 56 (41) 583939

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE CONTENIDOS	I
INDICE DE TABLAS	ii
INDICE DE FIGURAS	iii
1. INTRODUCCION	
1.1. Definición estuario.....	2
1.2. Clasificación estuarios.....	2
1.3. Antecedentes específicos.....	2
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	
2.1 Objetivo general del proyecto.....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. ANÁLISIS AEROFOTOGRAMETRICO	
3.1. Introducción.....	6
3.2. Metodología.....	6
3.2.1. Estudio aerofotogramétrico.....	7
3.2.2. El uso actual del suelo.....	8
3.2.3. Topografía e hidrografía.....	11
3.2.4. Batimetría.....	11
4. HIDROGRAFÍA	
4.1. Metodología.....	13
5. DINÁMICA	
5.1. Materiales y Métodos.....	18
5.1.1. Correntometría euleriana.....	18
5.1.2. Correntometría lagrangiana.....	18
6. COLUMNA DE AGUA	
6.1. Introducción.....	22
6.2. Metodología.....	24
6.2.1. Variables físicas.....	28
6.2.2. Variables químicas.....	28
7. FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON Y CLOROFILA -A	
7.1. Introducción.....	30
7.2. Metodología.....	30
8. BENTOS SUBLITORAL	
8.1. Introducción.....	36
8.2. Metodología.....	36
9. ICTIOFAUNA	

9.1. Metodología.....	41
10. APORTE DE SUSTANCIAS ALOCTONAS: QUIMIOTERAPEUTICOS, PESTICIDAS, FERTILIZANTES Y APORTE DE ALIMENTOS EN CENTROS DE CULTIVO	
10.1 Metodología de evaluación de aportes alóctonos de las diferentes actividades que se desarrollan en las cuencas	46
10.2 Evaluación de Quimioterapéuticos y muestreo en terreno	47
10.3 Caracterización del alimento de los peces en centros de cultivo.....	49
10.4 Determinación del aporte de nutrientes provenientes de alimentos no consumidos y fecas.....	50
10.5 Estimación de tasas de sedimentación de seston, materia orgánica, materia orgánica litogénica y carbono	50
10.6 Análisis de sedimentos asociados a los centros de cultivo	54
10.7 Información relativa a los centros de cultivo.....	54
11. BALANCE, CAPACIDAD DE CARGA Y ESUTROFICACION DE LAS ZONAS ESTUARINAS	
11.1 Caracterización de los sistemas en estudio.....	55
11.2 Metodología.....	57
11.3 Balance de masa.....	57
11.4 Desglosamiento de caudales y concentraciones individuales.....	61
11.5 Cálculo de tiempo de residencia.....	62
11.6 Nivel de trofia de los sistemas estuariales.....	62
12. APLICACIÓN DE UN METODO MULTICRITERIO PARA LA SELECCION DE SITIOS APTOS PARA LA ACUICULTURA	
12.1. Metodología.....	66
	72
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS CITADAS	

INDICE DE TABLAS

Capítulo 4: Hidrografía

Tabla 1.4.1. Período de muestreo y número de estaciones hidrográficas evaluadas en el estuario del río Valdivia-Tornagaleones y del río Bueno.....	13
Tabla 1.4.2. Posición geográficas de las estaciones de muestreo para hidrografía realizadas en el estuario de los ríos Valdivia-Tornagaleones y Bueno.....	17

Capítulo 5: Dinámica

Tabla 1.5.1. Período de registro y ubicación de sistemas de correntómetros para cada campaña de muestreo.....	18
---	----

Tabla 1.5.2.	Fecha y duración de los experimentos lagrangianos para cada campaña de muestreo.....	20
--------------	--	----

Capítulo 6: Columna de agua

Tabla 1.6.1.	Ejemplos de formas químicas del nitrógeno presente en los estuarios.....	24
Tabla 1.6.2.	Referencia de valores normales en agua de mar y estuarios para los parámetros en estudio.....	24
Tabla 1.6.3.	Posición geográfica y profundidad de las estaciones.....	25
Tabla 1.6.4.	Metodologías utilizadas para las determinaciones químicas.....	29

Capítulo 8: Comunidades bentónicas

Tabla 1.8.1.	Posición geográfica y profundidad de las estaciones.....	36
--------------	--	----

Capítulo 9: Ictiofauna

Tabla 1.9.1.	Sectores analizados en los sistemas estuarinos del río Valdivia y Bueno.....	45
--------------	--	----

Capítulo 12: Aplicación de un método multicriterio para la selección de sitios aptos para la acuicultura

Tabla 1.12.1.	Resumen de los parámetros considerados en la aplicación del método multicriterio.....	68
Tabla 1.12.2.	Valoración de las principales variables para la selección de distritos aptos para cultivos de salmónidos, mitilidos y algas.....	68
Tabla 1.12.3.	Concesiones de acuicultura otorgadas para el sector del estuario del río Bueno (fuente Sernapesca Valdivia).....	69
Tabla 1.12.4.	Concesiones de acuicultura otorgadas para el sector del estuario del río Valdivia (fuente Sernapesca, Valdivia).....	71

INDICE DE FIGURAS

Capítulo 3: Análisis aerofotogramétrico

Figura 1.3.1	Red hidrográfica de la X región, se indican la extensión geográfica de las cuencas de los ríos Valdivia y Tornagaleones (—) y Bueno (—).....	7
Figura 1.3.2	Regiones utilizadas para el cálculo del aporte de alóctonos según los usos del suelo. (—) Sector Ensenada de San Juan, (—) Sector Río Tornagaleones, (—) Sector Río Valdivia y (—) Sector Boca Bahía de Corral.....	9
Figura 1.3.3	Regiones utilizadas para el cálculo del aporte de alóctonos según los usos del suelo. (—) Sector Estero Carimahuida, (—) Sector Boca y (—) Sector Piscicultura.....	10

Capítulo 4: Hidrografía

Figura 1.4.1.	Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo hidrográfico. Estuario del río Valdivia-Tornagaleones.....	15
Figura 1.4.2.	Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo hidrográfico. Estuario del río Bueno.....	16

Capítulo 5: Dinámica

Figura 1.5.1.	Ubicación de los fondeos de correntómetros y área de sembrado de derivadores en los sistemas de río Valdivia y río Bueno.....	21
---------------	---	----

Capítulo 6: Columna de agua

Figura 1.6.1.	Mapa del área de estudio para los ríos Valdivia y Tornagaleones, con la ubicación de las estaciones de muestreo.....	26
Figura 1.6.2.	Mapa del área de estudio para el río Bueno, con la ubicación de las estaciones de muestreo.	27

Capítulo 7: Fitoplancton, zooplankton y clorofila-a

Figura 1.7.1a	Ubicación de las estaciones de muestreo de fitoplancton y zooplankton, ríos Valdivia, Tornagaleones y Bahía Corral.....	32
Figura 1.7.1b	Ubicación de las estaciones de muestreo de fitoplancton, Río Bueno.....	33
Figura 1.7.2	Ubicación de las estaciones de muestreo de zooplankton, Río Bueno.....	34

Capítulo 8: Comunidades bentónicas

Figura 1.8.1a	Ubicación de las estaciones de muestreo del bentos sublitoral, Ríos Valdivia, Tornagaleones y bahía Corral.....	39
Figura 1.8.1b	Ubicación de las estaciones de muestreo del bentos sublitoral, Río Bueno..	40

Capítulo 9: Ictiofauna

Figura 1.9.1.	Plano técnico y detalles de la red barredera utilizada en aguas someras.....	41
Figura 1.9.2.	Operación con red barredera en áreas someras (río Bueno).....	42
Figura 1.9.3.	Vista general de un "beam trawl" operado por una embarcación menor.....	43
Figura 1.9.4.	Diseño general y detalles técnicos del "beam trawl" utilizado en el río Valdivia..	44
Figura 1.9.5.	Plano técnico y detalles de la red "beam trawl" confeccionada.....	44

Capítulo 10: Aporte de sustancias alóctonas: quimioterapéuticos, pesticidas, fertilizantes y aporte de alimentos en centros de cultivo

Figura 1.10.1	Posición geográfica de las estaciones de muestreo para la estimación de tasas	
---------------	---	--

	de sedimentación en el estuario del río Valdivia-Tornagaleones.....	52
Figura 1.10.2	Posición geográfica de las estaciones de muestreo para la estimación de tasas de sedimentación en el estuario del río Bueno.....	53

Capítulo 11: Balance, capacidad de carga y eutroficación de las zonas estuarinas

Figura 1.11.1	Esquema generalizado de un balance para un ecosistema estuarino (IGBP).....	58
---------------	---	----

Capítulo 12: Aplicación de un metodo multicriterio para la seleccion de sitios aptos para la acuicultura

Figura 1.12.1.	Esquema del procedimiento utilizado para el ingreso de la información al análisis multicriterio.....	66
Figura 1.12.2.	Modalidad simétrica de asignación de rangos de aptitud utilizado en el análisis multicriterio.....	67

1. INTRODUCCIÓN

Los estuarios son extremadamente importantes para las actividades humanas y para los procesos biológicos que sustentan la cadena alimenticia. En la actualidad hay muchos estuarios alrededor del mundo, especialmente en la costa de Chile. A manera de ejemplo, prácticamente todos los grandes puertos del mundo están localizados en un estuario. Desde el punto de vista geológico, los estuarios son de reciente formación, siendo su origen la más reciente subida del nivel del mar, la cual agregó nuevas características a la zona costera. La forma y ubicación actual de los estuarios se ha desarrollado durante los últimos 200 años, periodo en el cual el nivel del mar ha aumentado paulatinamente algunas decenas de metros.

Una vez formados los estuarios, son rápidamente destruidos por procesos que los llenan de sedimentos, ya que la tasa de sedimentación que ellos presentan es una de las más altas del ambiente marino. Numerosos son los factores que determinan la tasa de llenado por sedimentos de un estuario: 1.- estabilidad relativa del nivel del mar, 2.- tasa de sedimentación, 3.- circulación dentro del estuario y, por último 4.- el clima.

La subida o bajada del nivel del mar rejuvenece o envejece a un estuario; la tasa de sedimentación se ve aumentada o disminuida dependiendo de la productividad primaria, de la erosión y de la mayor o menor influencia de los ríos que desembocan en él. La marea se transforma en un factor importante y más aún el grado de la circulación no mareal determina la tasa de llenado por sedimento del estuario en un equilibrio entre la relativa fuerza de la marea y el caudal del río; y por último, el clima afecta la tasa de formación de sedimentos, la formación de vegetación en las orillas del estuario, la precipitación y la lixiviación en la cuenca fluvial.

En la costa de Chile, el Río Valdivia y su estuario asociado es el primer estuario "vivo" más importante al sur del río Bío Bío, que de acuerdo a lo anteriormente expuesto es un estuario "muerto". Cabe mencionar que la costa de Chile, al sur del Golfo de Arauco descendió un promedio de 2 m, con respecto al nivel del mar producto del terremoto del año 1960, introduciendo un factor de juvenalización a muchos estuarios pequeños en la desembocadura de los ríos. Geológicamente, al sur del canal de Chacao se inicia la zona de los fiordos que es un tipo especial de estuarios.

En conclusión, los estuarios son áreas de delicados mecanismos, difíciles de entender y muy fáciles de afectar por procesos de contaminación. Una vez que el mecanismo se ha afectado, el cambio que ello produce hace más difícil aún el retorno a la normalidad de funcionamiento del estuario.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Consejo de Investigación Pesquera ha propuesto investigar el tema de la capacidad de carga de los cuerpos de agua dulce, incorporando el estudio de las zonas estuarinas de las hoyas hidrográficas de los ríos Valdivia y Bueno en la X región, por las que existe gran demanda para realizar en ellas actividades de acuicultura y así posibilitar el crecimiento de esta actividad económica.

Es así como se ha aprobado el proyecto "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZONAS ESTUARINAS DE LOS RÍOS VALDIVIA Y BUENO, X REGION " (FIP 2000-29) al Instituto de Investigación Pesquera para su desarrollo.

1.1. Definición de estuario

En el presente proyecto se ha adoptado la siguiente definición de estuario:

Según Pritchard, D.W. (1967)

ESTUARIO es un cuerpo de agua costero semi cerrado, el cual tiene una conexión libre con el océano y dentro del cual el agua salada es considerablemente diluida con agua dulce proveniente del drenaje terrestre.

1.2. Clasificación de tipos de estuarios

Los estuarios se pueden clasificar de muchas maneras. Lo más común que ellos sean clasificados desde el punto de vista geológico y de su circulación. Desde el punto de vista geológico los estuarios se pueden clasificar en: a) valles inundados por ríos, b) tipo fiordos, c) estuarios que construyen barras, y d) estuarios formados por procesos tectónicos. Ejemplos de ellos existen en casi todas las costas del mundo. De acuerdo a esta clasificación los estuarios de los ríos Valdivia y Bueno se podrían clasificar como estuarios formados por inundación de los valles.

Desde el punto de vista de la circulación, existen tres factores que se usan para clasificar los estuarios: el viento, la marea y la carga del río. De acuerdo a ello los tipos de estuario son: a) El estuario de cuña de sal: Tipo A; b) El estuario parcialmente mezclado: Tipo B; c) El estuario verticalmente homogéneo: Tipo C ; d) El estuario lateralmente homogéneo: Tipo D.

1.3. Antecedentes específicos

A nivel mundial, las zonas estuarinas tienen una gran importancia por el papel que cumplen en muchos ciclos biológicos de especies marinas y dulceacuícolas. También estas zonas cobran importancia por los altos niveles de productividad que en ellas se registran, así como por sus particulares características de dinámica e hidrografía, la cual está influenciada fundamentalmente por la mezcla de aguas de diferentes densidades y las mareas. Estas últimas, inciden en la estructura que adquiere la salinidad que normalmente se registra en los estuarios.

Por las características antes indicadas, los estuarios han sido áreas de gran interés para las actividades de acuicultura, destacándose entre éstas la salmonicultura, la cual ha tenido un importante desarrollo en la última década a nivel nacional.

Diversos estudios han permitido caracterizar el ambiente estuarino como un sistema imprescindible para el desarrollo del ciclo biológico de diversas especies, entre los que destacan los peces (Günther, 1967; McHugh, 1967). Los estuarios son zonas de transición entre áreas limnéticas y marinas y pueden ser clasificados de acuerdo a su origen geológico, tipo de circulación mareal y por gradientes de salinidad (McHugh, 1967; Reineck y Singh, 1980; Pethick, 1984). La interacción entre dichas particulares características físicas y químicas, determina patrones de distribución y abundancia, espacial y temporal, tanto de la biota como de los nutrientes existentes en el estuario.

La costa centro-sur de Chile (ca. 38° a 42°S), se caracteriza por la presencia de numerosos estuarios micromareales. Estos se conectan a hoyas hidrográficas originadas en el sistema andino o preandino (Cordillera de la Costa) y presentan regímenes hídricos mixtos o exclusivamente fluviales (Campos y Moreno, 1985).

El complejo estuarial Valdivia, Tornagaleones (38° 49'S; 73° 18'W) incluye los ríos Valdivia, Tornagaleones, Ensenada San Juan y Bahía de Corral, perteneciente a una hoya hidrográfica de tipo andino. El río Valdivia nace en el lago Riñihue (con el nombre de río San Pedro) y desemboca en la Bahía de Corral luego de un largo recorrido. La zona estuarina propiamente tal tiene una extensión de cerca de 15 km., pero la influencia de las mareas puede alcanzar hasta 42 km. río arriba. El ancho medio del estuario es de aproximadamente 700 m con un mínimo de 450 m en la Isla San Francisco y un máximo de 1000 m. cerca de la desembocadura del río Cutipay. La boca tiene un ancho aproximado de 600 m. Las profundidades alcanzan entre 3 y 5 m, aunque se han registrado profundidades de hasta 10 m en el canal de navegación.

El caudal del río en el estuario alcanza a 1000 m³/seg. Es un estuario abierto y no forma barra en su desembocadura. El estuario del río Tornagaleones presenta profundidades de 3 a 5 m, aunque se han registrado profundidades de 11 m. En la Ensenada San Juan, la profundidad aumenta gradualmente desde el sur hacia la Bahía de Corral, con máximos de 9 m en las cercanías de la isla Mancera. Además de los ríos Valdivia y Tornagaleones, en este complejo estuarial desembocan otros ríos de menor orden originados en cuencas costeras, entre los que se encuentran los ríos San Juan, De los Llanos y Catrilelfu, que también presentan régimen microestuarial. Además, es destacable una serie de pequeños riachuelos repartidos por todo este sistema estuarial.

De acuerdo a la información existente se ha constatado la existencia de tres principales ambientes en el sistema estuarial Valdivia-Tornagaleones: a) Playas arenosas: aguas con profundidades menores a 1.5 m., de fondos principalmente compuestos por arena, grava, porcentajes menores de fango y materia orgánica bajo 6% (Low, 1993). Se ha observado además, una gran diversidad de macroalgas, principalmente *Macrocystis pyrifera*, *Porphyra columbina*, *Ulva lactuca*, *Gracilaria* sp., entre otras. Este tipo de ambiente se encuentra principalmente en las riberas de la Bahía de Corral hacia el sector externo del estuario; b) Zonas fango-arenosas: Planicies de aguas someras de muy baja pendiente, caracterizadas por gran cantidad de fango y de agregados orgánicos, además de restos de troncos sumergidos y escasa presencia de *Gracilaria* sp. este tipo de ambiente se encuentra principalmente en la Ensenada San Juan y en ciertos sectores del río Tornagaleones y; c) Zona externa del sistema estuarial: Las profundidades en esta zona van entre los 5 y los 14 metros de profundidad, estas últimas en el

costado sur, adyacentes a Punta Amargos, con playas de arena fina, donde abunda *Emerita analoga*, la cual al igual que los demás organismos que habitan la zona intermareal, son afectadas por variaciones de la salinidad, producto de la variación de los caudales de los ríos que desembocan en esta zona. En las comunidades bentónicas sublitorales, las especies mejor representadas son aquellas pertenecientes a los poliquetos, seguido por los crustáceos y moluscos. Los sedimentos varían de arena fina a limo grueso.

En lo que respecta a la hidrografía, en esta zona se registran claras inversiones térmicas y fuertes gradientes salinos, producto de la incursión superficial de aguas continentales (< 5,0 m). Desde el punto de vista de la dinámica, esta zona se ve influenciada por las fluctuaciones mareales de los flujos netos, distinguiéndose dentro del espectro de marea un componente semidiurno. Igualmente, el factor viento tiende a acelerar o retardar los flujos someros dependiendo de la dirección de los flujos y la dirección del viento.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo general

El objetivo general del proyecto es “determinar la capacidad de carga de las zonas estuarinas del río Valdivia y del río Bueno, localizados en la X Región y determinar el potencial de crecimiento de las actividades de acuicultura en dichas áreas geográficas”.

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1. Determinar la dinámica de los parámetros físicos, químicos y biológicos en cada uno de los estuarios, información que servirá para definir sus límites.
- 2.2.2. Determinar los aportes alóctonos de las diferentes actividades desarrolladas en las hoyas hidrográficas y las cuencas de los ríos considerados en este estudio (agricultura, ganadería, silvicultura, pesquerías, turismo, centros urbanos y otras a identificar), así como de aquellos originados por aportes sedimentarios de los afluentes y de aguas lluvias.
- 2.2.3. Determinar en forma particular los aportes de fósforo y nitrógeno totales, provenientes de actividades de acuicultura desarrolladas en cada hoya hidrográfica, considerando tanto las realizadas en lagos como en ríos y esteros tributarios.
- 2.2.4. Estimar el aporte de sustancias quimioterapéuticas por parte de los centro (s) de cultivo (s) que esta (n) operando en cada una de las hoyas hidrográficas y su persistencia en el medio ambiente en caso que corresponda.
- 2.2.5. Estimar el aporte de sustancias quimioterapéuticas, desinfectantes, abonos y fertilizantes por parte de las actividades silvoagropecuarias que se realizan en cada una de las hoyas hidrográficas y su persistencia en el medio ambiente.
- 2.2.6. Diseñar y validar una metodología que permita proponer un programa para estimar y monitorear en base a variables físicas, químicas y biológicas la carga a que está sometida cada una de las zonas estuarinas en estudio.
- 2.2.7. Estimar el potencial de crecimiento de las distintas actividades de acuicultura en cada uno de los estuarios, en base a los antecedentes generados en el estudio.
- 2.2.8. Determinar las áreas que podrían considerarse como más apropiadas para establecer centros de cultivo en cada una de las zonas estuarinas en estudio.

3. ANÁLISIS AEROFOTOGRAMÉTRICO

3.1. Introducción

Mediante un estudio preliminar de las cuencas involucradas en el presente proyecto a una escala 1:250.000, es posible dimensionar la gran magnitud de la extensión espacial que ellas comprenden. Es así, como la cuenca de los ríos Valdivia y Tornagaleones se extiende en una amplia área de la X Región, abarcando los lagos Calafquén, Panguipuyi y Riñihue (Figura 1.3.1). Además en su límite norte incluye parte de la IX región y hacia el este, parte de la provincia de Neuquén (República Argentina), comprendiendo una superficie total de 1.028.026 Hás. Por otra parte, la cuenca del río Bueno, comprende una mayor extensión aún (1.567.536 Hás), incluyendo a los lagos Ranco, Maihue, Puyehue y Rupanco, además de ríos y lagos de menor importancia ubicados en territorio Argentino (Figura 1.3.1).

Por lo anterior, se estableció realizar un estudio detallado sólo del área adyacente de amboa zonas estuarinas, presentándose en este Primer Informe de Avance la primera etapa del procesamiento, que incluyó la digitalización y georeferenciación del material cartográfico y fotográfico del estuario de los ríos Valdivia y Tornagaleones y Bueno

3.2. Metodología

Debido a la naturaleza del presente proyecto, se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) como plataforma para manejar la información geográfica involucrada. Los SIG comprometen una colección integrada de software y hardware, que en conjunto es utilizada para el ingreso, almacenamiento, manipulación análisis y presentación de una variedad de información geográfica (Meaden y Do Chi, 1996). De manera más simple pueden ser definidos como un sistema capaz de manejar y usar datos, describiendo lugares en la superficie de la tierra y el mar, representados como capas de información (ESRI, 1990). Además, los SIG son programas computacionales que pueden llegar a ser herramientas técnicamente eficientes para realizar estudios de valoración de recursos hídricos, dado que poseen ventajas operacionales que permiten almacenar, manejar y analizar gran cantidad de datos de diversa clase que tienen una base geográfica común (Silva *et al.*, 1999).

En base a lo anterior, se utilizaron los SIG ArcInfo y ArcView, para plataforma PC, en el análisis de información espacial, especialmente la información cartográfica. Además, las fotografías aéreas del área de estudio fueron analizadas con el programa de procesamiento digital de imágenes ERDAS Imagine versión 8.31.

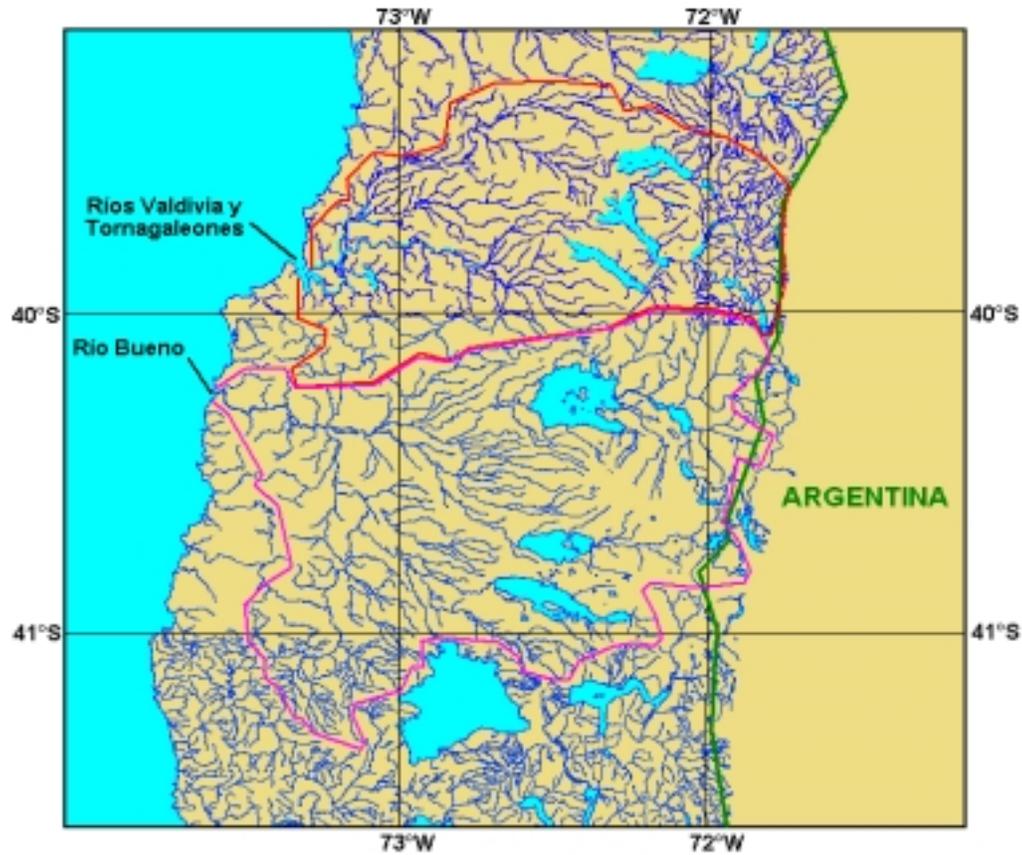


Figura 1.3.1. Red hidrográfica de la X región, se indican la extensión geográfica de las cuencas de los ríos Valdivia y Tornagaleones (—) y Bueno (—).

3.2.1. ESTUDIO AEROFOTOGRAMÉTRICO

Se digitalizó fotografías aéreas del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile en una escala de 1:70.000, obtenidas en el año 1998. Para la región del estuario de los ríos Valdivia y Tornagaleones, se utilizaron 2 fotografías aéreas, igual número que para el estuario del río Bueno. Cada fotografía impresa fue digitalizada a máxima resolución en un Scanner Genius Modelo ColorPage-HR, siendo georeferenciadas y corregidas en el software de procesamiento de imágenes ERDAS Imagine Versión 8.3.1 para plataforma NT. El procedimiento para la georeferenciación de las fotografías aéreas digitales involucró la utilización de los módulos *Geometric Correction* utilizando un modelo polinomial de tercer orden, utilizando como referencia para la calibración, la cartografía digital del área y cuyas especificaciones son las siguientes:

Proyección	UTM
Esferoide	Sudamérica de 1969
Zona	N° 18

Datum	SAD 69 (Chile)
-------	----------------

En resumen, el procedimiento consistió en la identificación de un número adecuado de puntos de control (mayor a 50) tanto en la fotografía aérea como en la cartografía digital, los que se distribuyeron lo más homogéneamente posible a lo largo de toda la imagen. Posteriormente, se determinó el orden del modelo polinomial, procurando obtener el menor error de estimación posible. Finalmente, el programa aplicó este modelo a cada uno de los puntos que componen la imagen, asignando una coordenada geográfica según la proyección antes señalada.

3.2.2. EL USO ACTUAL DEL SUELO

Para la identificación de los distintos usos del suelo en las cuencas de los ríos Valdivia y Tornagaleones y Bueno se utilizó la información generada en el Catastro de Bosque Nativo (Conaf, 1997). Esta información se encuentra en formato de cartas impresas a una escala de 1:50.000, las que fueron digitalizadas e ingresadas al SIG ArcInfo.

El procedimiento para la georeferenciación de estas cartas es similar al utilizado para las fotografías aéreas descrito anteriormente. La diferencia radica que estas cartas poseen puntos de control, los que deben ser reconocidos en la imagen digital e ingresados manualmente en el programa. Posteriormente el procedimiento es el mismo, estableciéndose el modelo correspondiente y la asignación de las coordenadas a cada pixel de la imagen digital.

Con la información contenida en estas cartas se definieron las diversas categorías de uso de suelo, estas son: bosque nativo achaparrado, bosque nativo adulto, bosque nativo adulto/renoval, bosque nativo renoval, humedales, matorral, matorral arborescente, matorral pradera, plantaciones forestales, praderas, sin vegetación y terrenos agrícolas.

La verificación en terreno se realizó entre el los días 02 y 04 de marzo de 2001. Este procedimiento consistió en la grabación en video de 8 mm desde una embarcación hacia las riberas de los estuarios de los ríos Valdivia y Tornagaleones y Bueno. Durante el recorrido en cada estuario se registraron con el GPS puntos de referencia para la posterior correlación entre las grabaciones y la cartografía digital. De esta manera fue posible abarcar una extensa región en un período de tiempo adecuado a las actividades de cada campaña. Esta verificación tuvo un carácter cualitativo del área inmediatamente adyacente a las riberas, sin la realización de una verificación cuantitativa, lo que hubiera implicado la realización de muestreos de parcelas de terreno para una precisa identificación de especies y estimación de la edad de los árboles.

Finalmente, en el capítulo del balance se utilizó la información de los usos del suelo como un antecedente de los aportes de la vegetación adyacentes a las zonas estuarinas. Para ello, se delimitaron 4 regiones correspondientes al estuario del río Valdivia y Tornagaleones, estas son: Ensenada de San Juan, Río Tornagaleones, Río Valdivia y Boca Bahía de Corral (Figura 1.3.2). Del mismo modo, para el Río Bueno se delimitaron las siguientes áreas: Sector Boca, Estero Carimahuida y Sector Piscicultura (Figura 1.3.3).

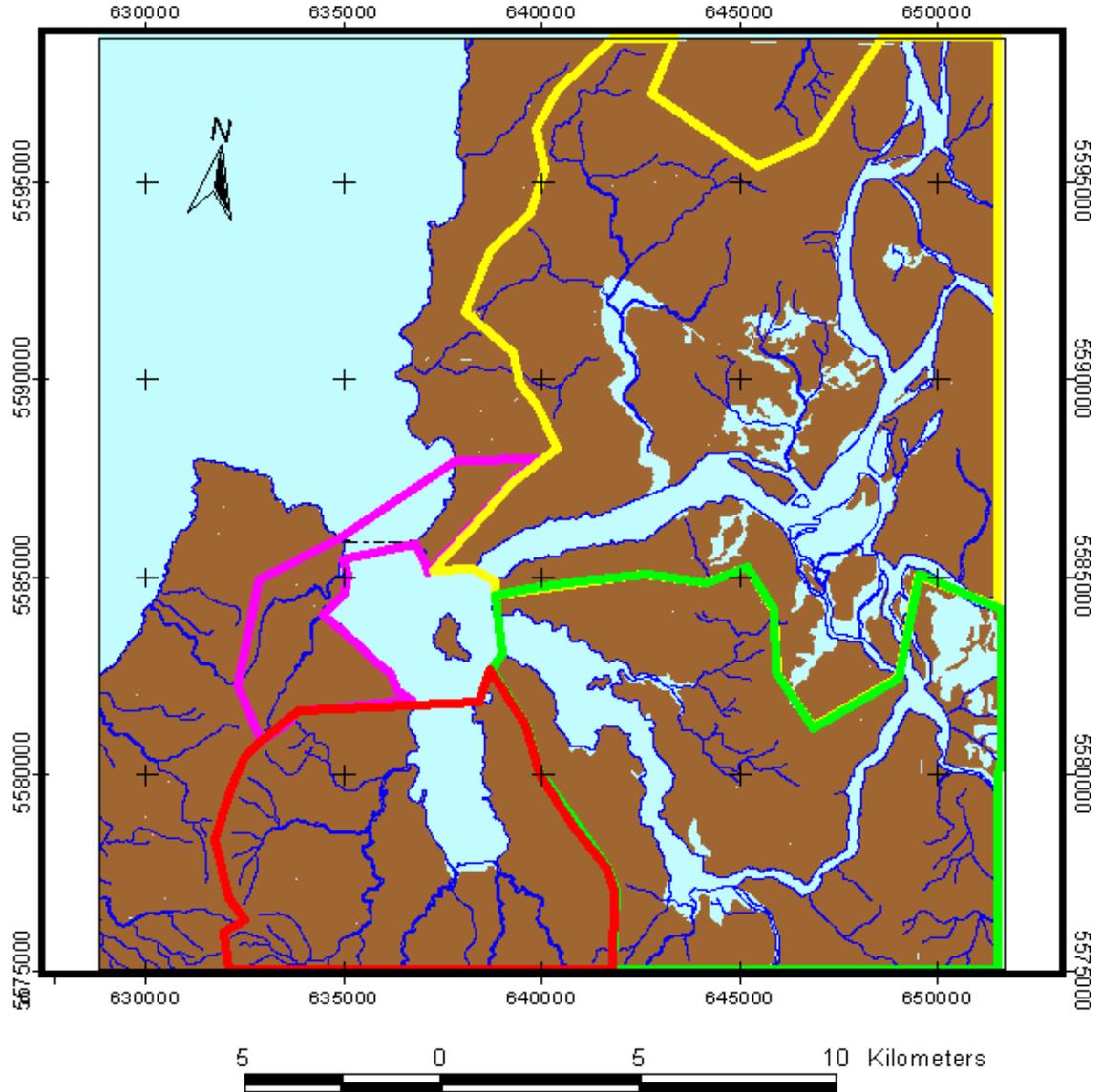


Figura 1.3.2. Regiones utilizadas para el cálculo del aporte de alóctonos según los usos del suelo. (—) Sector Ensenada de San Juan, (—) Sector Río Tornagaleones, (—) Sector Río Valdivia y (—) Sector Boca Bahía de Corral.

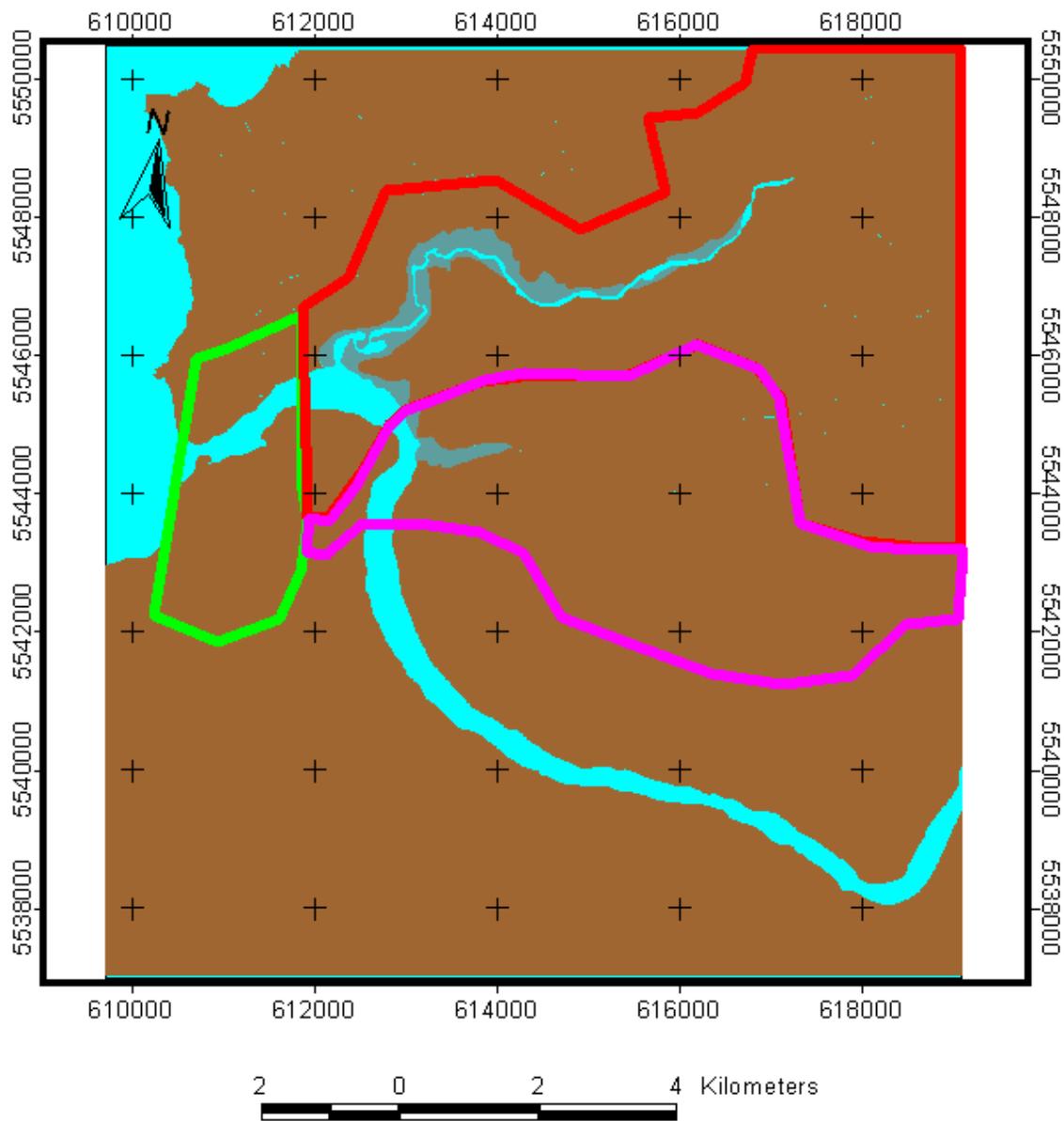


Figura 1.3.3. Regiones utilizadas para el cálculo del aporte de alóctonos según los usos del suelo. (—) Sector Estero Carimahuida, (—) Sector Boca y (—) Sector Piscicultura.

3.2.3. TOPOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA

A partir de las cartas del catastro del bosque nativo, para el área del estuario del río Valdivia y Tornagaleones, se digitalizó la red hidrográfica del área adyacente a los estuarios en estudio. Además, se digitalizaron las curvas de nivel cada 25 m (desde los 25 a 600 m) y los principales caminos, utilizando el mismo procedimiento descrito anteriormente. La información topográfica disponible se utilizó para complementar el análisis con un estudio de la morfometría del área en estudio, para ello se elaboró un modelo digital de terreno (DEM, *Digital Elevation Model*) utilizando los módulos *Topographic Analysis* del programa ERDAS y generando cartas tridimensionales en el módulo *Image Drape*.

Además, en el programa ERDAS, utilizando el módulo *Topographic Slope* se elaboró una imagen digital de las pendientes del área de estudio, calculadas en grados a partir de las curvas de nivel.

Este mismo procedimiento fue repetido para el área del estuario del río Bueno, sin embargo, las cartas del IGM sólo poseen información de curvas de nivel cada 50 m, lo que originó una imagen digital de menor calidad, imposibilitando realizar un análisis estadístico de las pendientes como fue realizado para el área de Valdivia.

3.2.4. BATIMETRÍA

Dentro de las actividades propuestas en el presente proyecto se contempló la realización de la batimetría de las áreas de estudio. En el caso particular del estuario del río Valdivia y Tornagaleones actualmente existe información batimétrica disponible a través de las cartas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), específicamente en las cartas N° 6270 y N° 6271. Sin embargo, para el estuario del río Bueno actualmente no existe información batimétrica disponible.

Por lo tanto, en el presente informe se presentan las batimetrías de ambos estuarios y una comparación entre la batimetría generada por el SHOA y la obtenida en el presente estudio, específicamente para el área de Valdivia.

Para la determinación de la batimetría se utilizó una embarcación menor con motor fuera de borda donde fue montada una estructura metálica especialmente diseñada que contenía el transductor del ecosonda. El ecosonda utilizado en este estudio posee las siguientes características:

Marca	Navman
Modelo	Fish 440
Potencia	400 vatios RMS
Frecuencia de transmisión	200 Khz
Alcance	180 m

Alimentación	12 volts
--------------	----------

Conjuntamente, se utilizó un GPS portátil marca Garmin modelo 12CX, que según información cartográfica especializada, permite realizar mediciones confiables con una precisión no inferior a los 50 metros entre dos posiciones geográficas.

Por lo anterior, se diseñó un esquema de muestreo que consideró un recorrido en transectas perpendiculares a la línea de costa, registrando la profundidad y las coordenadas geográficas cada 50 m, aproximadamente. Para ello, la embarcación debió recorrer cada transecto en una trayectoria rectilínea a una velocidad constante cercana a los 5 km/h, lo que implicó el registro de profundidad cada 30 segundos.

Para la corrección del efecto de la marea, se utilizó la metodología que emplea el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) que consiste en restar a la profundidad registrada por el ecosonda la altura de la marea a esa misma hora. Para fines hidrográficos y de navegación el SHOA utiliza ecosondas de precisión y las alturas reales de la marea observadas en el lugar de estudio. Sin embargo, en el presente estudio, la batimetría será utilizada para el cálculo del volumen de agua de los estuarios, y por lo tanto para su corrección se utilizó la altura de marea horaria generada por un programa computacional.

Por lo anterior, la corrección del efecto de la marea se realizó según la siguiente ecuación:

$$Pr = Po + Pe - Am$$

Pr : Profundidad real (m)

Po : Profundidad observada (m)

Pe : Profundidad del ecosonda (m)

Am: Altura de la marea (m)

En el estuario del río Valdivia y Tornagaleones la profundidad del ecosonda fue de 0,34 m, excepto en el área de la cabecera de la ensenada San Juan donde la profundidad se redujo a 0,20 m. En el estuario del río Bueno el ecosonda se ubicó a una profundidad de 0,32 m.

Posteriormente a la corrección, los datos fueron ingresados al sistema de información geográfico (SIG) ArcView 3.2 para la elaboración de las cartas batimétricas utilizando los modelos de interpolación incorporados en dicho programa. Además, utilizando el programa Surfer 6.0 se realizaron secciones en diferentes puntos de ambos estuarios, para facilitar la interpretación de la batimetría.

4. HIDROGRAFIA

El presente capítulo tiene el propósito de resumir la metodología involucrada en la recolección, procesamiento, análisis e interpretación de datos hidrográficos vinculados con los estuarios Valdivia-Tornagaleones y Bueno, situados en la X Región. Esta caracterización está basada en el estudio de la distribución vertical y horizontal de las variables temperatura, salinidad y densidad considerando la estación de primavera (septiembre de 2000), verano (enero de 2001), otoño (abril de 2001) e invierno (junio de 2001).

4.1. Metodología

En cada una de las estaciones del año reseñadas anteriormente, los muestreos hidrográficos consideraron tanto la marea llenante como vaciante, coincidiendo con la fase mareal de sicigia. Información general sobre las observaciones hidrográficas se encuentra en la Tabla 1.4.1, en tanto que la posición de las estaciones de muestreo para cada localidad se encuentra detallada en la Tabla 1.4.2.

En el estuario del río Valdivia-Tornagaleones, las estaciones hidrográficas fueron agrupadas espacialmente en cinco sectores distintos, a saber: a) la boca de la Bahía de Corral, b) el centro de Bahía de Corral, c) la Ensenada San Juan, d) la desembocadura del río Valdivia y e) la desembocadura del río Tornagaleones (Figura 1.4.1). Para el caso del estuario del río Bueno, las estaciones de muestreo estuvieron asociadas a la parte terminal del río; no obstante se registró datos hidrográficos en el sector del Estero Carimahuida y en el sector Los Patos (Figura 1.4.2).

Tabla 1.4.1. Período de muestreo y número de estaciones hidrográficas evaluadas en el estuario del río Valdivia-Tornagaleones y del río Bueno.

Estación del año	Fecha de muestreo		N° de estaciones	
	Llenante	Vaciantes	LLenante	Vaciantes
Estuario del río Valdivia-Tornagaleones				
	Llenante	Vaciantes	LLenante	Vaciantes
Primavera	23/09/00	23/09/00	29	29
Verano	13/01/01	12/01/01	34	31
Otoño	09/04/01	08/04/01	34	37
Invierno	27-28/06/01	29/06/01	31	24
Estuario del río Bueno				
	Llenante	Vaciantes	LLenante	Vaciantes
Primavera	15/09/00	15/09/00	14	14
Verano	11/01/01	10/01/01	15	15
Otoño	05/04/01	06/04/01	14	13
Invierno	25/06/01	25-26/06/01	12	12

Con el propósito de indagar sobre el efecto de la marea llenante al interior de los ríos Valdivia y Tornagaleones, en esta fase mareal se integró dos a tres estaciones hidrográficas adicionales río arriba

para cada uno de estos sistemas, lo que fue especialmente válido para el período estival y otoñal en el estuario del río Valdivia-Tornagaleones.

El diseño de muestreo utilizado consideró estaciones hidrográficas asociadas, en su mayoría, a transectas, ya sea longitudinales como transversales a la línea de costa. En el estuario del río Valdivia-Tornagaleones, se consideró tres transectas longitudinales: a) una a lo largo del eje central de Bahía Corral (desde Ensenada de San Juan a la boca de Bahía Corral), b) una a lo largo del río Valdivia para finalizar en la boca de Bahía Corral y, c) una a lo largo del río Tornagaleones para finalizar en la boca de Bahía Corral. Además, en este sistema la interpretación hidrográfica también consideró el análisis de cuatro transectas transversales, dos situadas en el sector de la boca e intermedio de Bahía Corral y, otras dos situadas en las desembocaduras de los ríos Valdivia y Tornagaleones. Por su parte, en el estuario del río Bueno se analizó una transecta a lo largo del curso del río entre la Estación Los Patos y la desembocadura.

En cada una de las estaciones hidrográficas se obtuvo registros verticales continuos de temperatura, salinidad y densidad, abarcando desde la superficie hasta una profundidad de aproximadamente 0,5 m sobre el fondo. Los perfiles verticales fueron realizados por medio de una sonda oceanográfica CTD - Memory Probe, lanzada desde una embarcación menor. En todas las oportunidades la velocidad de descenso y ascenso del instrumento fluctuó entre los 0,5 y 0,8 m s⁻¹.

En cada estación de muestreo se calculó la estadística básica de las variables medidas (tendencia central y dispersión) y, además se calculó los máximos gradientes térmicos y salinos y su posición vertical en la columna de agua.

La información hidrográfica se presenta a la forma de perfiles continuos en la columna de agua, los cuales son sintetizados como perfiles verticales promedio para las estaciones agrupadas en cada uno de los sectores asociados al estuario del río Valdivia-Tornagaleones, esto es, a la Bahía Corral, la Ensenada San Juan y la desembocadura de los ríos Tornagaleones y Valdivia. Para caracterizar espacialmente la hidrografía en cada uno de los períodos de muestreo, la información se presenta además como secciones hidrográficas (ámbito horizontal y vertical) para cada una de las transectas, longitudinales y transversales realizadas.

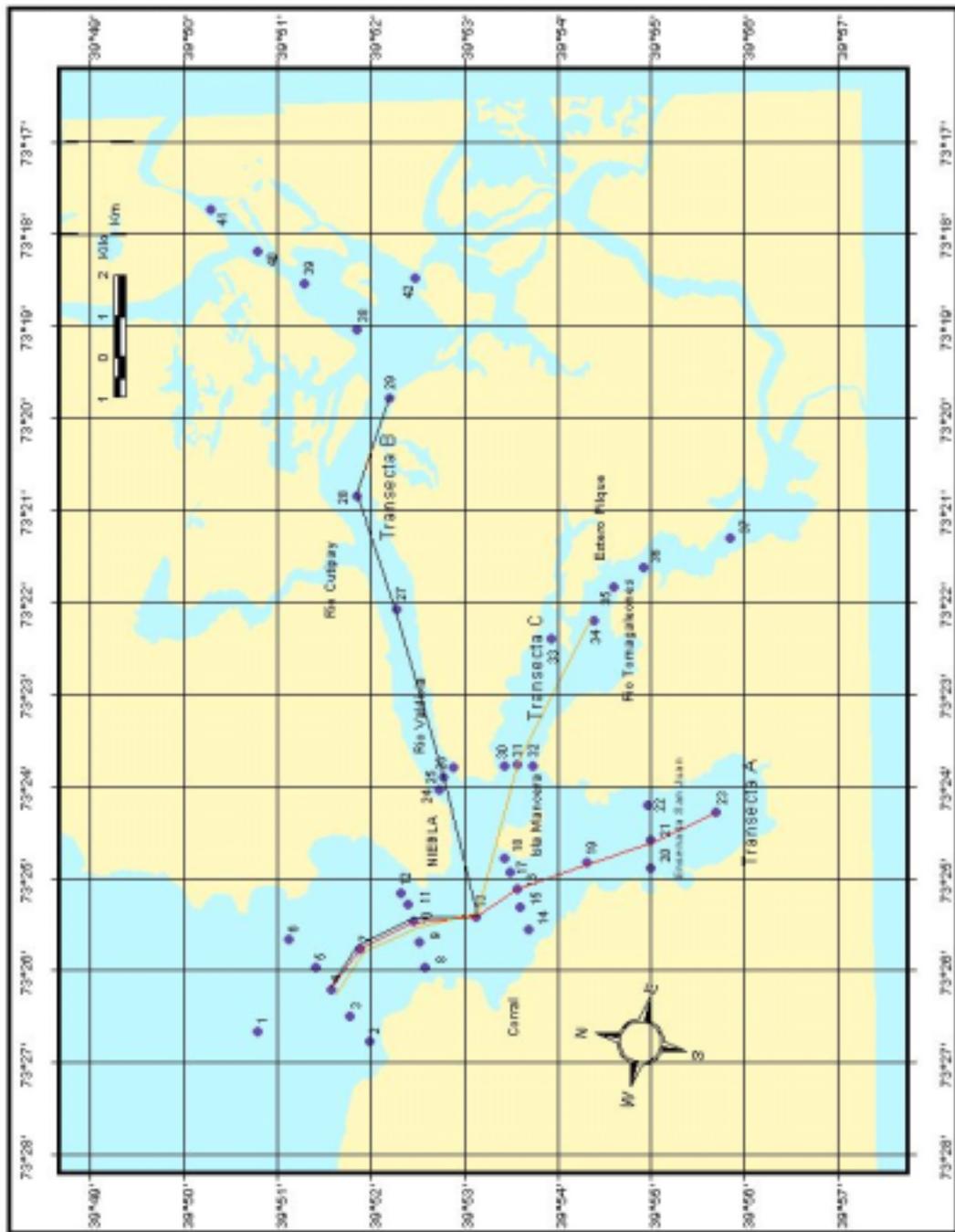


Figura 1.4.1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo hidrográfico. Estuario del río Valdivia-Tornagaleones.

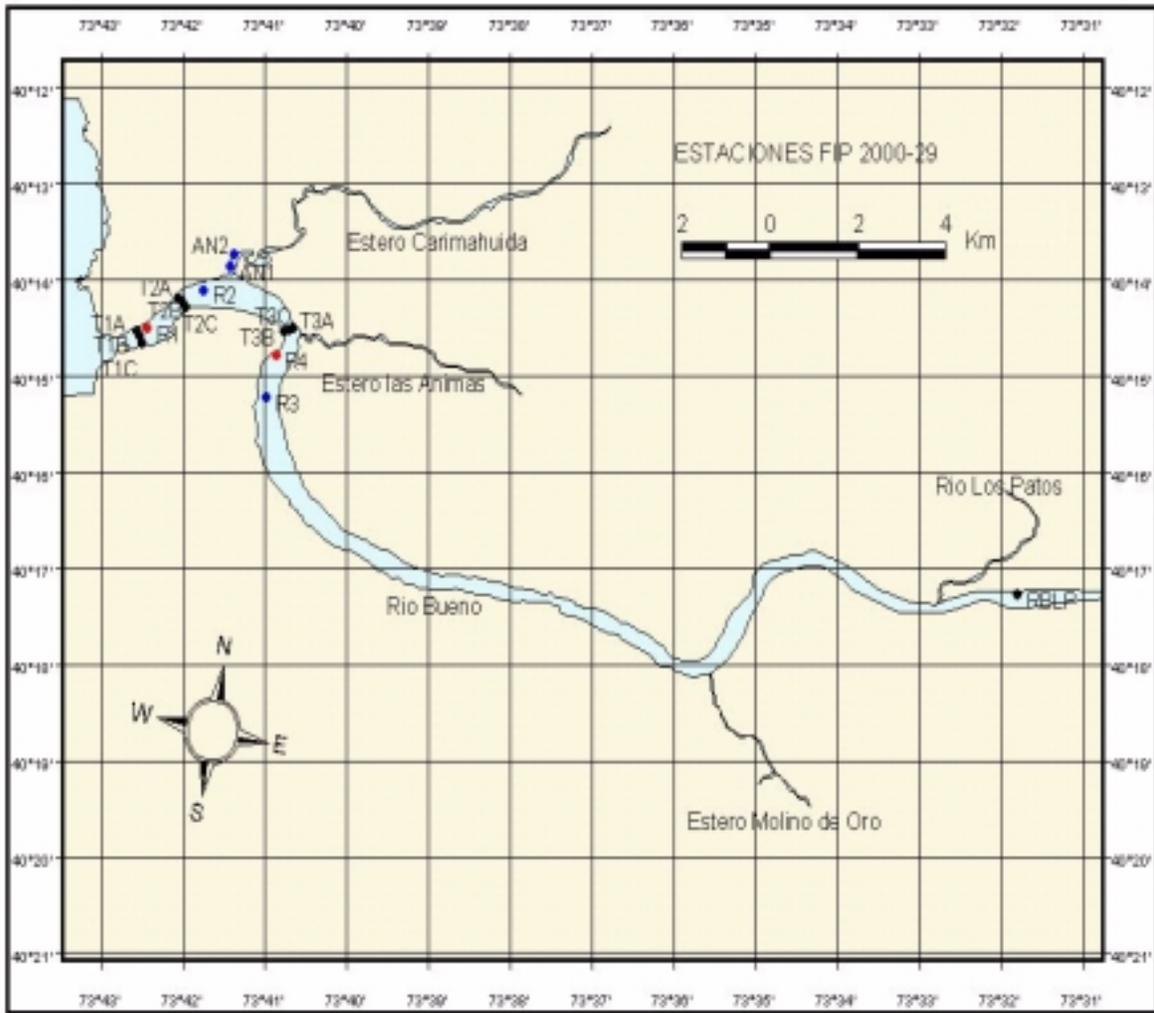


Figura 1.4.2. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo hidrográfico. Estuario del río Bueno.

Tabla 1.4.2. Posición geográficas de las estaciones de muestreo para hidrografía realizadas en el estuario de los ríos Valdivia-Tornagaleones y Bueno.

Estuario ríos Valdivia - Tornagaleones			Estuario río Bueno		
Estación	Posición geográfica	Prof. Máx. (m)	Estación	Posición geográfica	Prof. Máx. (m)
1	39.83343°S - 73.43440°W	26	R1	40.24207°S - 73.70711°W	11
2	39.85772°S - 73.43667°W	17	R2	40.23544°S - 73.69537°W	13
3	39.85361°S - 73.43111°W	20	R3	40.25415°S - 73.68296°W	9
4	39.84945°S - 73.42528°W	21	R4	40.24674°S - 73.68089°W	11
5	39.84945°S - 73.42028°W	22	T1A	40.24461°S - 73.70828°W	7
6	39.84028°S - 73.41417°W	21	T1B	40.24339°S - 73.70866°W	11
7	39.85556°S - 73.41639°W	18	T1C	40.24260°S - 73.70921°W	9
8	39.86981°S - 73.42020°W	14	T2A	40.23853°S - 73.69936°W	3
9	39.86833°S - 73.41472°W	12	T2B	40.23740°S - 73.70016°W	14
10	39.86722°S - 73.41028°W	12	T2C	40.23676°S - 73.70090°W	9
11	39.86611°S - 73.40667°W	11	T3A	40.24260°S - 73.67943°W	5
12	39.86451°S - 73.40415°W	11	T3B	40.24236°S - 73.67834°W	17
13	39.88063°S - 73.40916°W	10	T3C	40.24217°S - 73.67747°W	8
14	39.89194°S - 73.41194°W	9	AN1	40.2313°S - 73.6902°W	4
15	39.89028°S - 73.40722°W	6	AN2	40.22941°S - 73.69842°W	4
16	39.88945°S - 73.40305°W	6	RBLP	40.28832°S - 73.52971°W	8
17	39.88805°S - 73.39944°W	6			
18	39.88694°S - 73.39639°W	4			
19	39.90445°S - 73.39751°W	5			
20	39.91840°S - 73.39850°W	5			
21	39.91842°S - 73.39245°W	5			
22	39.91764°S - 73.38496°W	5			
23	39.93252°S - 73.38641°W	4			
24	39.87271°S - 73.38143°W	3			
25	39.87361°S - 73.37861°W	8			
26	39.87583°S - 73.37666°W	5			
27	39.86361°S - 73.34194°W	6			
28	39.85498°S - 73.31706°W	4			
29	39.86207°S - 73.29575°W	4			
30	39.88668°S - 73.37634°W	7			
31	39.88971°S - 73.37606°W	5			
32	39.89288°S - 73.37621°W	4			
33	39.89693°S - 73.34845°W	2			
34	39.90065°S - 73.35681°W	5			
35	39.91040°S - 73.33720°W	3			
36	39.91669°S - 73.33279°W	9			
37	39.92344°S - 73.33078°W	11			
38	39.85511°S - 73.28083°W	6			
39	39.84361°S - 73.27056°W	3			
40	39.83361°S - 73.26361°W	11			
41	39.82361°S - 73.25444°W	9			
42	39.86583°S - 73.26778°W	5			

5. DINÁMICA

5.1. Materiales y Métodos

5.1.1. Correntometría Euleriana

El estudio de las condiciones dinámicas del sector del estuario del río Valdivia y desembocadura del río Bueno, consideró la instalación de fondeos de correntómetros de registro interno en el área de estudio (Figura 1.5.1). Con el fin de establecer el patrón de circulación de corrientes tanto en el estrato superficial como en el subsuperficial, se estableció un muestreo en dos niveles, lo cual estuvo limitado en cada caso por la profundidad del sector. Los instrumentos utilizados fueron correntómetros Gytre SD6000, los cuales fueron programados para registrar la rapidez (cm s⁻¹) y la dirección (°, grados sexagesimales) de la corriente cada 5 minutos. La duración del período de registro y la ubicación de los sistemas de anclajes se muestran en la Tabla 1.5.1.

A partir de las series obtenidas se realizó la separación de los componentes de la velocidad de la corriente (Vx y Vy), con lo cual se graficó la series de tiempo de rapidez y de componentes de la velocidad. Se construyó, además, diagramas de vector progresivo y se calculó la estadística básica de la serie (promedio, desviación estándar y rango de variación).

Tabla 1.5.1. Período de registro y ubicación de sistemas de correntómetros para cada campaña de muestreo.

Bahía Corral		
Campaña	Período de registro	Posición
Primavera	18/08/2000 (11:46 hrs) - 19/08/2000 (16:51 hrs)	39°52'08" S - 73°24'36" W
Verano	05/01/2001 (20:30 hrs) - 22/01/2001 (10:38 hrs)	39°52'08" S - 73°24'36" W
Otoño	30/03/2001 (10:24 hrs) - 20/04/2001 (06:19 hrs)	39°52'08" S - 73°24'36" W
Invierno	No se registró por pérdida de los correntómetros	
Río Bueno		
Campaña	Período de registro	Posición
Primavera	21/08/2000 (09:45 hrs) - 21/08/2000 (15:10 hrs)	40°14'24" S - 73°42'05" W
Verano	10/01/2001 (17:03 hrs) - 24/01/2001 (19:03 hrs)	40°14'52" S - 73°42'50" W
Otoño	29/03/2001 (10:30 hrs) - 18/04/2001 (16:00 hrs)	40°14'52" S - 73°42'50" W
Invierno	25/06/2001 (10:30 hrs) - 11/06/2001 (16:00 hrs)	40°14'52" S - 73°42'50" W

5.1.2. Correntometría Lagrangiana

Con el objetivo de obtener el campo de velocidad horizontal superficial y subsuperficial tanto del sector de Bahía Corral como de la desembocadura del río Bueno, se realizó un estudio de dinámica lagrangiana. Para ello se utilizó derivadores de superficie (0,5 m) y de subsuperficie (8 m) del tipo empleado por Garvine (1977) e Ingram (1981). El punto de sembrado de los derivadores se muestra en la Figura 1.5.1.

El estudio de terreno se realizó en cada campaña según se describe en la Tabla 1.5.2. La posición de los derivadores fue registrada a intervalos de tiempo dependientes de la intensidad de la dinámica observada in situ, y fue medida utilizando una brújula y el método de triangulación para dibujar las posiciones instantáneas de éstos. Como información complementaria se consideró el registro de la posición con GPS (Global Position System). Con estos datos se reconstruyó las trayectorias y campos de velocidad descrito por los derivadores.

Tabla 1.5.2. Fecha y duración de los experimentos lagrangianos para cada campaña de muestreo.

Bahía Corral				
Campaña	Marea	Fecha	Período de registro	Posición inicial
Primavera	Vacante	18/08/2000	16:20 –17:16	39°52'39"S,73°24'56" W
	Llenante	18/08/2000	20:49 –21:38	39°52'39"S,73°24'56" W
Verano	Vacante	12/01/2001	13:33 –14:18	39°52'03"S,73°24'42" W
	Llenante	12/01/2001	09:55 –11:04	39°52'05"S,73°24'46" W
Otoño	Vacante	09/04/2001	15:20 –16:34	39°52'04"S,73°24'40" W
	Llenante	10/04/2001	09:55 –11:04	39°52'04"S,73°24'42" W
Invierno	Vacante	28/06/2001	10:46 –11:41	39°52'04"S,73°24'40" W
	Llenante	28/06/2001	15:30 –16:16	39°52'04"S,73°24'42" W
Río Bueno				
Campaña	Marea	Fecha	Período de registro	Posición inicial
Primavera	Llenante	21/08/2000	17:00 – 17:58	40°14'11"S,73°41'52" W
Verano	Vacante	06/01/2001	19:27 – 19:55	40°14'08"S,73°41'47" W
	Llenante	07/01/2001	13:24 – 14:00	40°14'11"S,73°41'55" W
Otoño	Vacante	06/04/2001	11:39 – 12:32	40°14'10"S,73°41'54" W
	Llenante	07/04/2001	17:51 – 18:37	40°14'15"S,73°41'56" W
Invierno	Vacante	25/06/2001	14:07 –14:47	40°14'15"S,73°41'48" W
	Llenante	25/06/2001	15:45 –16:11	40°14'09"S,73°41'53" W

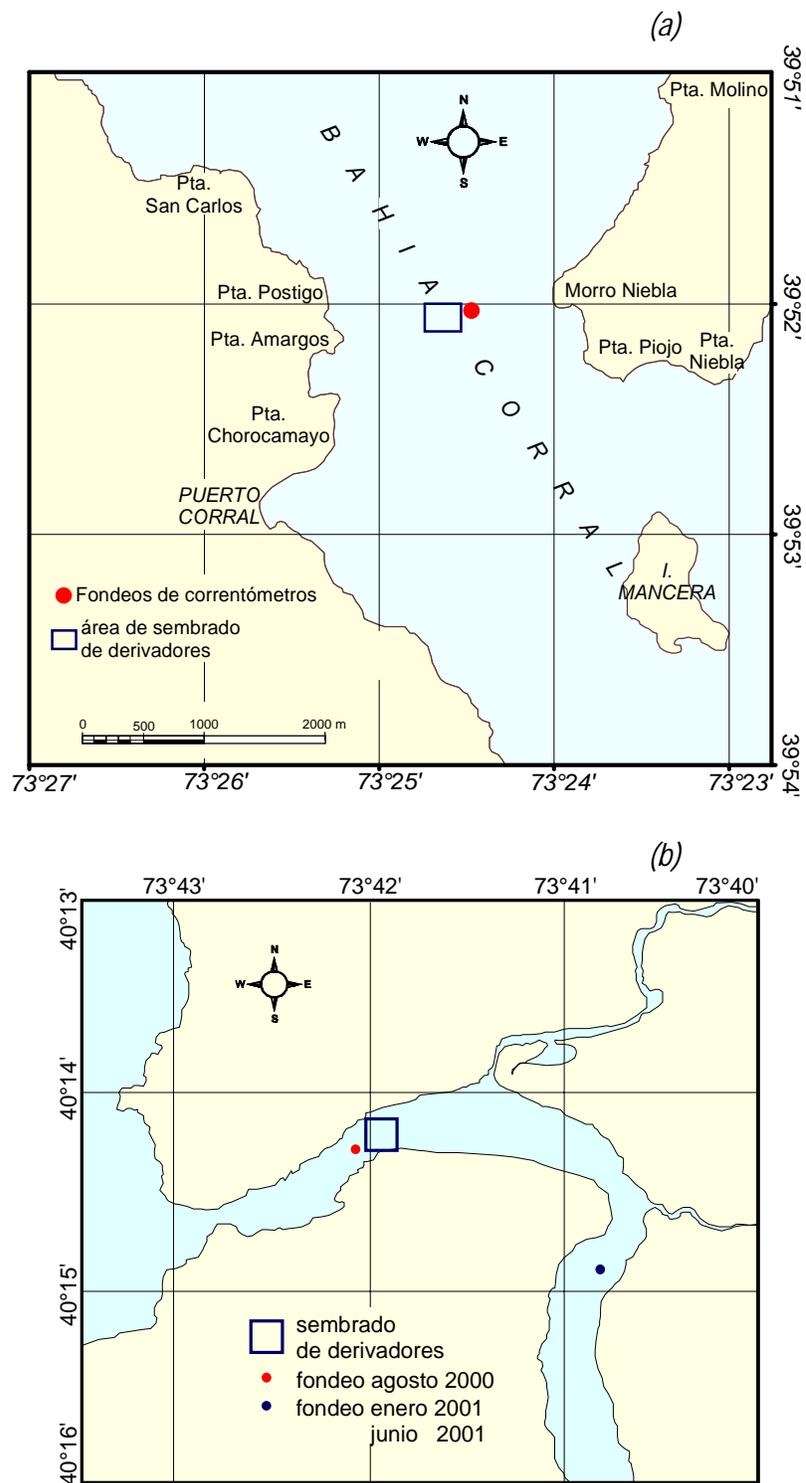


Figura 1.5.1. Ubicación del área de sembrado de derivadores (cuadrado azul) y fondeos de correntómetros (●) y en los sistemas de: (a) río Valdivia y (b) río Bueno.

6. VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LA COLUMNA DE AGUA

6.1. Introducción

El presente capítulo tiene el propósito de caracterizar las variables físico-químicas de la columna de agua en el área adscrita al estuario de los ríos Valdivia, Tornagaleones y Bueno en la X Región. Esta caracterización está basada en el estudio de la distribución temporal y vertical de dichas variables considerando los períodos de primavera (septiembre 2000), verano (enero 2001), otoño (abril 2001) e Invierno (Junio 2001).

6.1.1. Ambiente Marino

La mayor parte de nitrógeno se encuentra a la forma de nitratos. El nitrógeno es un constituyente esencial de la materia orgánica ya sea en el cuerpo de los organismos, en partículas orgánicas o en solución como nitratos, nitritos y amonio y por supuesto como elemento libre (gas disuelto). Por otra parte, la distribución de nitrógeno puede limitar la producción de fitoplancton cuando disminuye a cantidades mínimas en las capas superficiales.

El ión Amonio NH_4^+ es una de las formas reducidas de los compuestos del nitrógeno y es utilizado por el fitoplancton en la síntesis de compuestos aminoacídicos. Este estado de oxidación es altamente inestable debido a las condiciones de pH del agua de mar, de tal manera que rápidamente pasa a compuestos como nitrito y nitrato.

En condiciones oxigenadas y no contaminadas, la concentración de amonio no excede los 0,09 mg/L y proviene principalmente de la descomposición biológica de detritos o bien de la eliminación metabólica de los organismos marinos. En condiciones de anoxia en aguas profundas o zonas costeras con alto aporte de materia orgánica, reducciones de nitrato pueden alcanzar valores de amonio de 1,8 mg/L.

El nitrito ocupa una posición intermedia entre el amonio y el nitrato en el ciclo del nitrógeno. Sin embargo, estos estados de oxidación se encuentran en equilibrio, por lo que la concentración de nitritos puede dar un índice de la inestabilidad del sistema. Los nitritos aparecen en el agua de mar como producto de reducción microbiana de nitratos, oxidación de amonio, áreas altamente productivas pueden alcanzar niveles de nitrito de 0,4 mg/L.

Por otro lado el oxígeno disuelto depende de la historia de la masa de agua, la temperatura y la salinidad para mantener el equilibrio de saturación, de la época en que estuvo en contacto con el aire y de actividad biológica que tuvo lugar en la misma, produciéndose una disminución de la concentración cuando los procesos de respiración superan a los de fotosíntesis. En el agua de mar, la mayor parte de oxígeno disuelto proviene de la atmósfera y de las variación de su solubilidad.

En aguas superficiales es posible obtener valores de sobresaturación los que se deben a turbulencias y procesos fotosintéticos. En aguas profundas, la distribución de oxígeno depende de la circulación, debido a la lenta difusión de éste, ausencia de fotosíntesis, respiración limitada y oxidación química y biológica.

El fósforo en agua de mar se puede encontrar como fósforo soluble y particulado en suspensión. En la parte soluble puede estar como iones ortofosfatos, polifosfatos y compuestos orgánicos de fácil hidrólisis. El fósforo es aportado como fosfatos al mar por los ríos y junto a los compuestos del nitrógeno han sido considerados como limitantes de la producción primaria.

6.1.2. Ambiente Estuarino

Un estuario puede ser definido como un cuerpo de agua que mantiene comunicación permanente con el océano, existiendo una mezcla de las aguas, debido a las corrientes y mareas producidas por actividad del océano, mezclándose aguas de baja densidad con aguas más densas, esta diferencia de densidades causa estratificación produciendo efectos significativos en la circulación y química de los estuarios.

Científicos han clasificados los estuarios en tres tipos de acuerdo a su patrón de circulación:

- Estuarios altamente estratificados

La estratificación entre aguas dulces y aguas de mar es marcada. En este tipo de estuarios las aguas más densas se mezclan en la superficie con aguas menos densas, para compensar la pérdida de agua de mar, la cual es baja pero continua en la superficie, en tanto que las aguas más densas se encuentran en el fondo.

- Estuarios moderadamente estratificados

La mezcla se manifiesta en todas las profundidades, los niveles incrementan hacia la boca del estuario y siempre hacia el fondo.

- Estuarios con mezcla vertical

Esta mezcla tiende a eliminar la estratificación en función de las corrientes, esto ocurre en estuarios pequeños

En lo que respecta a los nutrientes, en los estuarios, el nitrógeno es un factor significativo, éste es aportado por los ríos o efluentes ricos en nitrógeno lo que mantiene la viabilidad en los estuarios.

Los niveles de fósforo son incrementados por efluentes locales en áreas altamente urbanizadas y por la agricultura en áreas de cultivo, pero también puede ser producto de un excesivo crecimiento de algas.

El origen natural del nitrógeno y fósforo incluye:

- Ríos que corren sobre formaciones geológicas ricas en fosfatos y nitratos
- Descomposición de materia orgánica, desechos de organismos vivos, y

- Extracción del nitrógeno gaseoso desde la atmósfera por bacterias y algas que fijan el nitrógeno.

Los nutrientes en ecosistemas estuarinos, juegan un papel importante en la sobrevivencia de plantas, pero un exceso de nitrógeno y fósforo puede producir eventos estacionales, como una sobre abundancia de fitoplancton, que implican la disminución de oxígeno disuelto en el agua.

Otro factor importante son las características de los procesos oceanográficos producidos por el cuerpo de agua que se mezcla con el estuario, esto es circulación de la masa de agua y procesos de surgencia o convergencia de las aguas, las que en períodos determinados del año provocan aumento o disminución en las concentraciones de nutrientes, oxígeno, salinidades, temperatura, etc.

En la Tabla 1.6.1 se presentan ejemplos de formas químicas del nitrógeno presente en estuarios. En tanto que en la Tabla 1.6.2, se presenta una síntesis de los valores normales en agua de mar y estuarios para los parámetros en estudio.

Tabla 1.6.1. Ejemplos de formas químicas del nitrógeno presente en los estuarios.

Formas de nitrógeno	Posibles orígenes
Nitratos y Nitritos	Aportes de aguas de fondo Aportes agrícolas Los nitritos son una forma intermedia del nitrógeno medidas en ambientes con bajas concentraciones de oxígeno
Amonio	Aportes de fertilizantes agrícolas Aportes provenientes de alimentos

Tabla 1.6.2. Referencia de valores normales en agua de mar y estuarios para los parámetros en estudio.

Parámetro	Agua de mar (mg/l)	Estuario (mg/l)
Amonio	0 - 0,09	0 - 0,002
Nitritos	0 - 0,18	0 - 0,005
Nitratos	0 - 3,7	0 - 0,1
Fosfatos	0,3 - 0,4	0,01 - 0,1
Oxígeno disuelto	0 - 12	5 - 6
pH	7 - 8	5 - 8

6.2. Metodología

El área estudiada correspondió a lo que se ha denominado zonas estuarinas de los ríos Valdivia, Tornagaleones, y Bueno, así como también la zona interior de Bahía Corral.

El diseño de muestreo consideró la evaluación de once estaciones de muestreo distribuidas en diferentes puntos de los ríos Valdivia, Tornagaleones y Bahía Corral y de cuatro estaciones en el área del río Bueno, de tal forma que permitiera interpretar los resultados basado en la hidrodinámica de las áreas de estudio (Figuras 1.6.1 y 1.6.2). Las campañas de terreno se efectuaron en los meses de septiembre del 2000, enero y abril del 2001. La profundidad y posición de cada estación se determinó por medio de un ecosonda y un geoposicionador estacionario (GPS) respectivamente y se señalan en la Tabla 1.6.3.

En cada una de las estaciones de muestreo se tomaron muestras de agua con botellas tipo Van Dorn, con capacidad de 4 litros, de la cual se separaron las correspondientes alicuotas, para la determinación de las distintas variables cuantificadas.

Tabla 1.6.3. Posición geográfica y profundidad de las estaciones.

<i>Estación</i>	<i>Coordenadas Geográficas</i>		<i>Profundidad (m)</i>
	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	
Estuario de los ríos Valdivia y Tornagaleones			
V-1	39° 51' 30" S	73° 19' 59" W	6
V-2	39° 52' 07" S	73° 21' 23" W	6
V-3	39° 52' 26" S	73° 22' 53" W	9,5
BC-1	39° 52' 21" S	73° 24' 36" W	11
BC-2	39° 52' 26" S	73° 25' 07" W	18
BC-3	39° 53' 11" S	73° 25' 23" W	10
SJ-1	39° 54' 40" S	73° 23' 57" W	6
TG-1	39° 54' 19" S	73° 20' 46" W	5
TG-2	39° 53' 50" S	73° 20' 31" W	2
TG-3	39° 53' 16" S	73° 22' 21" W	4
TG-4	39° 53' 18" S	73° 22' 44" W	5,5
Estuario del río Bueno			
RB-1	40° 14' 34" S	73° 42' 29" W	13
RB-2	40° 14' 08" S	73° 41' 43" W	10
RB-3	40° 15' 14" S	73° 40' 59" W	8

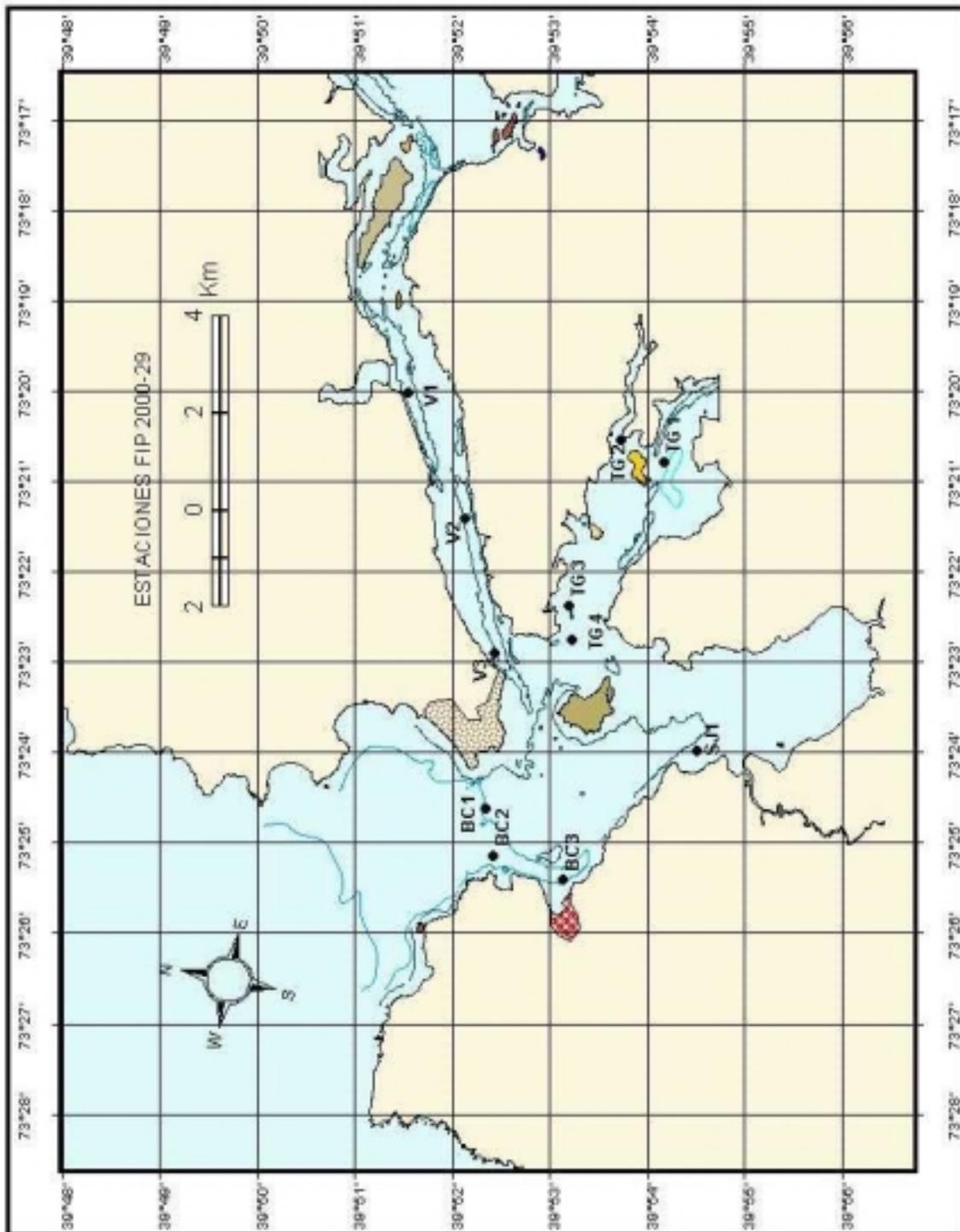


Figura 1.6.1. Mapa del área de estudio para los ríos Valdivia y Tornagaleones, con la ubicación de las estaciones de muestreo

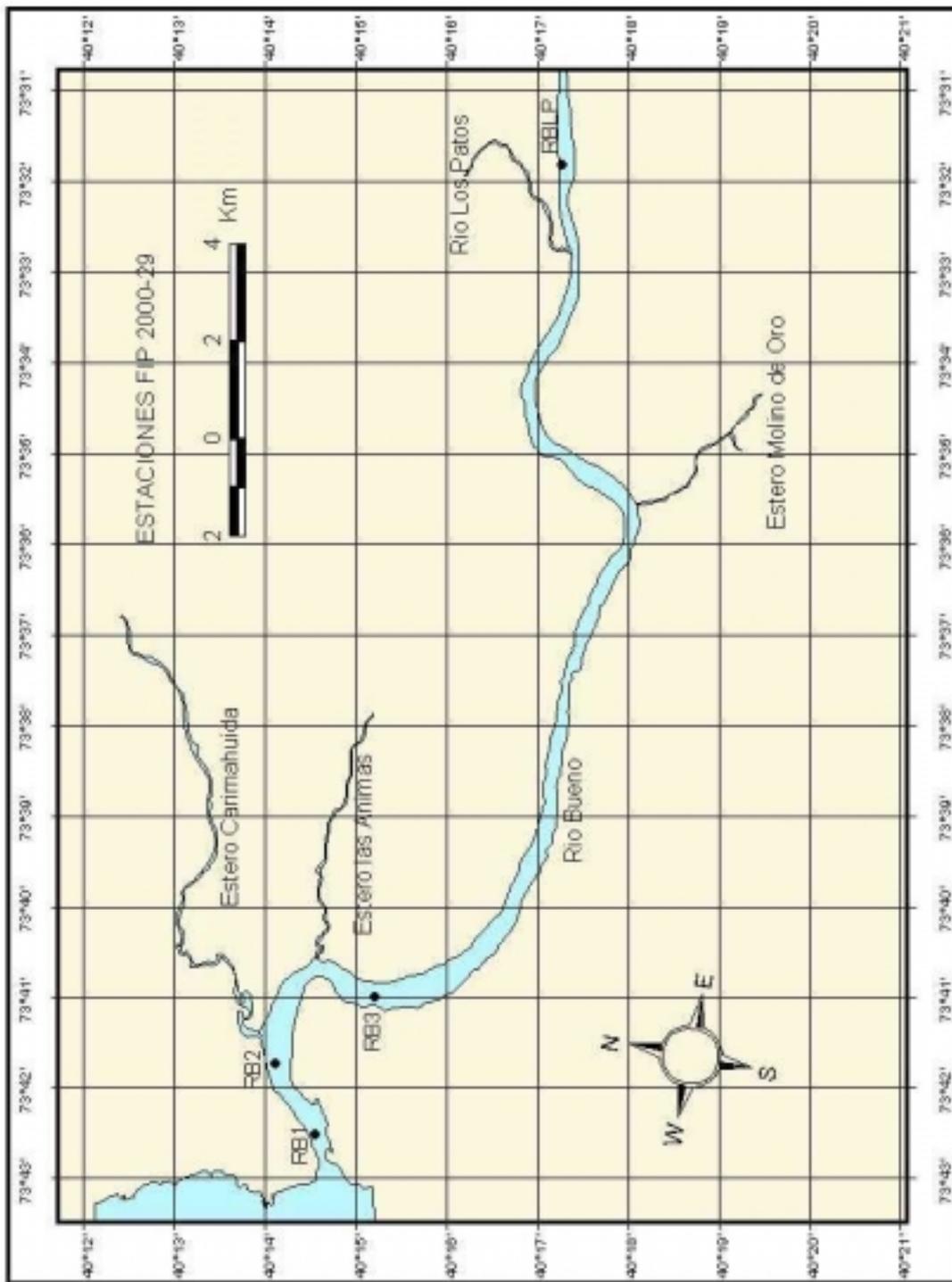


Figura 1.6.2. Mapa del área de estudio para el río Bueno, con la ubicación de las estaciones de muestreo

6.2.1. VARIABLES FÍSICAS

Las variables físicas cuantificadas en la columna de agua fueron las siguientes:

- **Transparencia:** Se midió por medio de un Disco Secchi, y los resultados se expresan en metros.
- **Color:** Se midió en el laboratorio usando un espectrofotómetro con longitud de onda de 440 nm. Los valores se expresan en mg Pt-Co /l.
- **Turbidez:** Se midió en el laboratorio usando un turbidímetro Water Quality Checker V-10 HORIBA.. Los valores se expresan en NTU (unidades nefelométricas).
- **Conductividad:** Se determinó con la sonda oceanográfica Applied Microsystem Limited. Los valores están expresados en mS/cm.
- **Extinción Lumínica:** Se determinó mediante un fotómetro marca LICOR

6.2.2. VARIABLES QUÍMICAS

Las siguientes variables químicas se cuantificaron en las distintas campañas de muestreo en la columna de agua:

- **pH:** Se midió directamente in situ con un peachímetro portátil WTW.
- **Oxígeno Disuelto:** La determinación de Oxígeno Disuelto se realizó a través del método de Winkler, siguiendo la metodología reseñada en Parsons et al. (1984).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):** La determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se realizó a través del método señalado por Greenberg et al., 1992, y que consiste en evaluar la diferencia entre la concentración de oxígeno inicial y final de una muestra de agua, después de incubarla por un período de cinco días.
- **Nitrato:** La determinación de Nitrato se realizó por espectrofotometría, de acuerdo a lo señalado Greenberg et al., 1992.
- **Nitrito:** La determinación de Nitrito se realizó por espectrofotometría, de acuerdo a lo señalado por Greenberg et al., 1992.
- **Amonio:** La determinación de Amonio se realizó por espectrofotometría, de acuerdo a lo señalado por Greenberg et al., 1992.
- **Nitrógeno Orgánico:** Para la determinación de Nitrógeno Orgánico se empleó el método Koroleff, mediante digestión con ácido sulfúrico.
- **Nitrógeno Total:** Se obtuvo de la sumatoria de las concentraciones de nitrato, nitrito, amonio y nitrógeno orgánico.
- **Ortofosfato:** Se determinó empleando el método del azul de fosfomolibdeno, según Greenberg et al., 1992.
- **Fósforo Total:** Se determinó empleando el método del ácido molibdofosfórico según Greenberg et al., 1992.

En la Tabla 1.6.4 se presenta un resumen de las metodologías y límites de detección analítico para cada uno de los parámetros analizados.

Tabla 1.6.4. Metodologías utilizadas para las determinaciones químicas.

Determinación	Metodología	Límites de detección (mg/L)
Amonio	Salicilato	0,01 - 5
DBO5	Sensores de presión parcial de oxígeno(OXITOP)	1 - 10000
Color	Cloroplatinato por comparación (460 nm)	5,41 - 379,19
Fosfato	Azul de fosfomolibdeno	0,01 - 6,60
Fósforo total	Ácido molibdofosfórico	0,25 - 90,00
Nitrógeno total	Koroleff	0,50 - 15,00
Nitrato	Reducción con Cadmio metálico	0,003 - 3,420
Nitrito	Ac. Sulfanilico y N-1 Naftilendiamina	0,01 - 3,00
PH	Electrométrico	0 - 14
Turbidez	Nefelometría	
Oxígeno disuelto	Winkler	0 - 9

7. FITOPLANCTON, ZOOPLANCTON y CLOROFILA - a

7.1. Introducción

El presente capítulo entrega resultados preliminares de la comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica detectada sobre las muestras colectadas en las diferentes estaciones dispuestas en el estuario del río Valdivia-Tornagaleones y en el estuario del río Bueno durante las campañas realizadas en octubre 2000 (primavera), enero, abril y junio 2001 (verano, otoño e invierno).

7.2. Metodología

7.2.1 FITOPLANCTON

En los ríos Valdivia, Tornagaleones y la Bahía de Corral se realizó un muestreo en seis estaciones (BC1, V1, V3, SJ1, TG1 Y TG4) para el análisis cuantitativo del fitoplancton (Figura 1.7.1a). Por otra parte, en el Río Bueno se utilizó la siguiente nomenclatura: RB1, Rb2, RB3 y RB4 que corresponde a las estaciones desde la boca hasta el interior del río (Figura 1.7.1b).

En cada estación de muestreo las muestras fueron colectadas con una botella Niskin de 5 litros, en una columna de agua que fluctuó desde 6 (Est. SJ1) hasta 9 (Est. BC1) metros de profundidad. En todas estas estaciones se colectaron muestras en dos estratos denominados "Superficie" y "Fondo" (excepto Est. SJ1 que sólo se colectó en superficie). Cuando se habla de "superficie" significa que la muestra fue colectada aproximadamente a 1 m de profundidad y "fondo" aproximadamente a 1 m por sobre el sedimento. Las muestras fueron almacenadas en frascos de 250 ml y fijadas con formalina neutralizada al 1%. En el laboratorio, se realizaron los conteos de los grupos y géneros dominantes usando cámaras de sedimentación mediante el método de Utermöhl (1958). Los resultados son expresados como células por litro de agua de mar.

7.2.2 ZOOPLANCTON

En ambas áreas de estudio las muestras zooplanctónicas fueron colectadas con una red Nansen de 0,65 cm de apertura de boca, provista de mecanismo de cierre por estrangulamiento, malla de 303 μ y un flujómetro TSK calibrado. Lances estratificados, que consideraron dos estratos de muestreo (0-3 m y 4-máx prof.), fueron llevados a cabo en la mayoría de las estaciones realizadas, esto es, estaciones V1, V3, TG1, TG4, BC1 (Estuario del río Valdivia-Tornagaleones) y estaciones RB1 y RB3 (Estuario del río Bueno). En el caso de la estación SJ 1 se colectó en forma integrada debido a que esta estación se encuentra en un lugar de baja profundidad (no sobrepasó los tres metros con marea alta). Todos los muestreos se realizaron en ambas fases de la marea. Las Figuras 7.1.1 y 7.1.2 muestran las estaciones de muestreo zooplanctónico en el estuario del río Valdivia-Tornagaleones y del río Bueno, respectivamente.

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron separadas en grupos mayores del zooplancton, considerando para el caso de los copépodos, los SubOrdenes Calanoida (Sars, 1903), Cyclopoida (Bürmeister, 1843) y Harpacticoida (Sars, 1903). En general, sobre los taxa con abundancias relativamente bajas se analizó la muestra completa, en tanto que, para los grupos más numerosos se analizó alícuotas de la muestra obtenidas utilizando el submuestreador Folsom (Griffiths et al., 1984). De esta manera, los ejemplares contenidos en las muestras planctónicas fueron clasificados, enumerados y expresados como individuos por metro cúbico. La estandarización a esta unidad de abundancia numérica se realizó conociendo el agua filtrada por la red en cada lance, información entregada por un flujómetro TSK montado en la boca de la red.

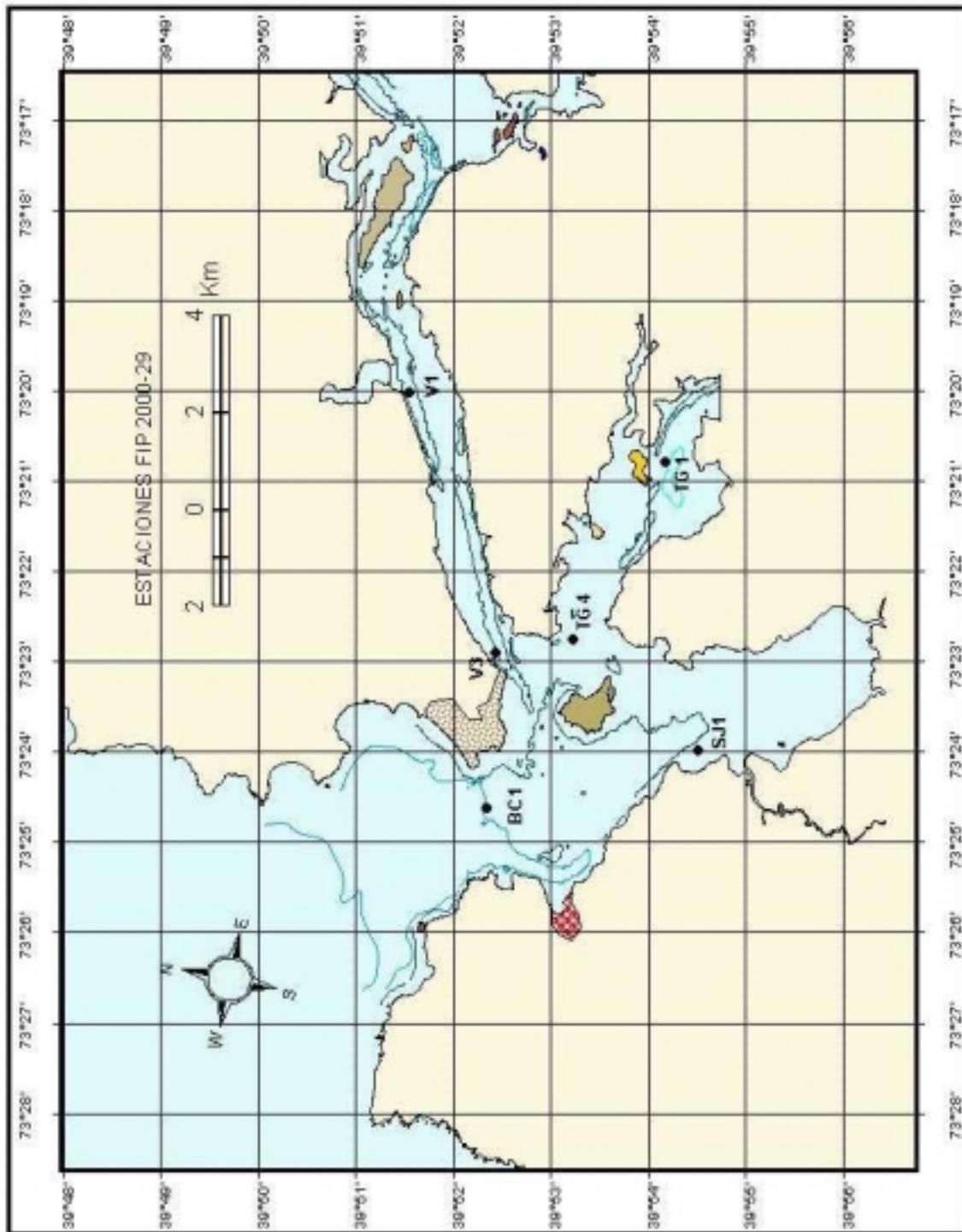


Figura 1.7.1a Ubicación de la estaciones de muestreo de fitoplancton y zooplancton, rios Valdivia, Tornagaleones y Bahía Corral.

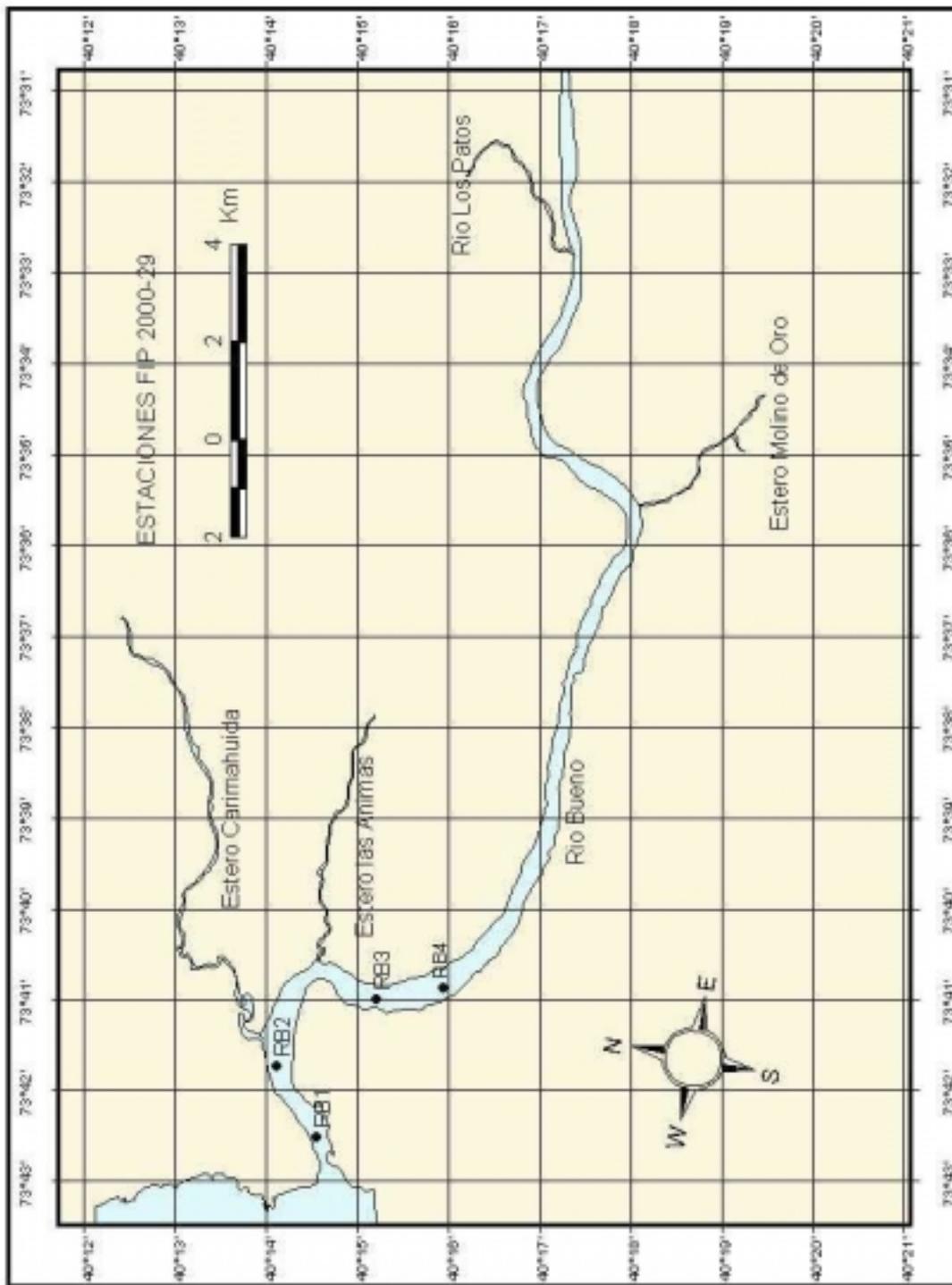


Figura 1.7.1b Ubicación de la estaciones de muestreo de fitoplancton, río Bueno.

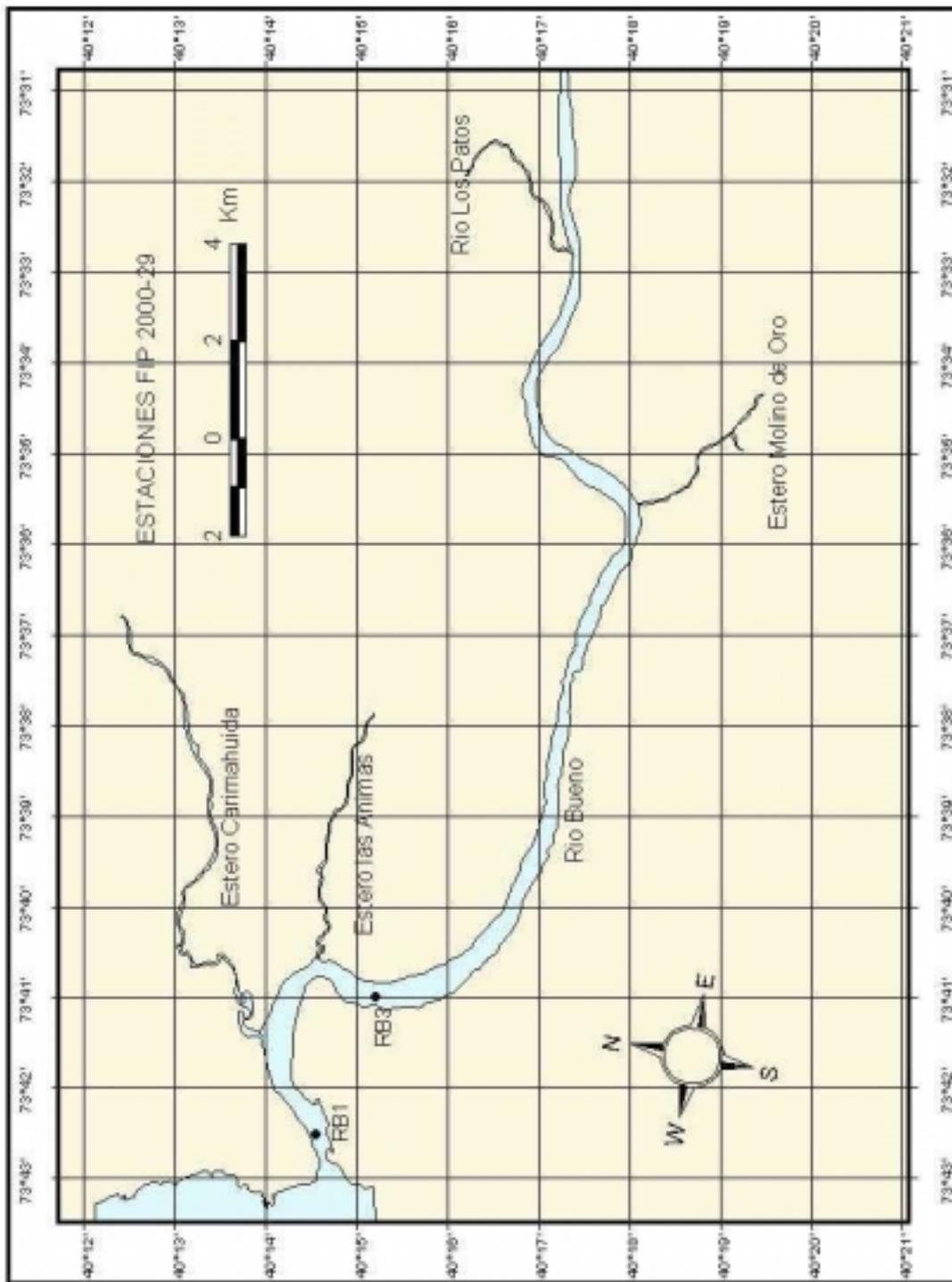


Figura 1.7.2 Ubicación de la estaciones de muestreo de zooplancton, río Bueno.

8. BENTOS SUBLITORAL

8.1 Introducción

El presente capítulo contiene los resultados y el análisis de la composición y caracterización faunística y ecológica de la comunidad macrobentónica sublitoral, correspondiente a la zona estuarina de los ríos Valdivia, Tornagaleones y Bueno, para los meses de agosto de 2000, enero, abril y junio de 2001.

8.2 Metodología

Las etapas de laboratorio se efectuaron en las instalaciones del Instituto de Investigación Pesquera. Las muestras de macroinfauna bentónica, se obtuvieron con una draga Van Veen de 0,1m² de mascada. La situación geográfica o posición de las estaciones de muestreo se determinó con un geoposicionador satelital (GPS) Garmin, modelo 12-CX.

El programa de muestreo durante esta campaña incluyó un grupo de estaciones que permiten tener una idea global de las comunidades existentes tanto en la parte final de los ríos como en su zona estuarina permitiendo visualizar la fauna tanto de los ambientes fluviales como estuarinos del área de estudio. Se contempla en este estudio un total de ocho estaciones, de las cuales dos están ubicadas en el río Valdivia (V-1 y V-3), una estación en la desembocadura del río Tornagaleones (TG-1), tres estaciones en la zona estuarina de estos ríos (TG-4, BC-1 y SJ-1) y tres estaciones en el río Bueno (RB-1, RB-2 y RB-3). En cada una de las estaciones se obtuvieron tres réplicas cuya identificación y recuento se hizo separadamente.

La disposición de las estaciones se observa en las Figuras 1.8.1a y 1.8.1b para Valdivia y río Bueno respectivamente, y su posición y profundidad se encuentran indicadas en la Tabla 1.8.1.

Tabla 1.8.1. Posición geográfica y profundidad de las estaciones.

Estación	Coordenadas Geográficas		Profundidad (m)
	Latitud	Longitud	
V-1	39° 51' 30" S	73° 19' 59" W	6
V-3	39° 52' 26" S	73° 22' 53" W	9,5
BC-1	39° 52' 21" S	73° 24' 36" W	11
SJ-1	39° 54' 40" S	73° 23' 57" W	6
TG-1	39° 54' 19" S	73° 20' 46" W	5
TG-4	39° 53' 18" S	73° 22' 44" W	5,5
RB-1	40° 14' 34" S	73° 42' 29" W	13
RB-2	40° 14' 08" S	73° 41' 43" W	10
RB-3	40° 15' 14" S	73° 40' 59" W	8

La información básica que se obtuvo, consistió esencialmente en abundancia numérica y biomasa (peso) de las diferentes especies o formas discriminadas de cada una de las réplicas. Esta información permitió realizar los análisis estadísticos, comunitarios y ecológicos pertinentes.

Entre los métodos utilizados para caracterizar las comunidades tenemos la determinación de diversos índices que caracterizan las poblaciones que habitan el área de estudio, utilizando los siguientes índices:

- a) índice de diversidad específica de Shannon & Weaver fide (Pielou, 1966):

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

- b) índice de diversidad de Simpson (Simpson, 1949):

$$SI = 1 - \sum (p_i)^2$$

- c) la relación o medida de equidad o uniformidad (Pielou, 1966):

$$J' = H' / \ln S$$

En los cálculos de diversidad específica, se utilizó el procedimiento de acuchillamiento (“jackknife”) de los datos, metódica que provee estimadores paramétricos de la media, varianza y sesgo, posibilitando el cálculo de intervalos de confianza (Sokal & Rohlf, 1981).

El análisis de clasificación numérica se realizó utilizando datos crudos y, como coeficiente de asociación comunitaria al índice de Bray-Curtis, a través de la estrategia aglomerativa jerárquica de la media no ponderada (UPGMA).

Para la ordenación comunitaria, se realizó un análisis de escalación no métrica multidimensional (NMDS). Para ello, se empleó la rutina NMDS incluida en el paquete estadístico SYSTAT (Wilkinson, 1991). Los datos, previo a su procesamiento, fueron transformados a la forma $Y = \sqrt{\sqrt{x}}$, aplicándose el programa (en su opción Kruskal) sobre una matriz de correlación, generada con la utilización de la distancia métrica denominada “City Block Distance”.

El análisis granulométrico se efectuó pasando cada muestra de sedimento por una serie de tamices de tamaño de malla entre 4000 y 63 μm . Los datos de porcentaje en peso obtenidos de las distintas fracciones, fueron graficados en papel de probabilidades, leyéndose 5 percentiles (5, 16, 50, 84 y 95), que se utilizaron para calcular los siguientes parámetros sedimentarios en la escala phi (Pettijohn et al., 1973):

$$\text{phi} = -\log_2 E \text{ (E; diámetro del grano en mm)}$$

$$\text{Media} = (\phi 16 + \phi 50 + \phi 84)/3$$

$$\text{Selección} = [(\phi 84 - \phi 16)/4] + [(\phi 95 - \phi 5)/6,6]$$

$$\text{Simetría} = [(\phi 16 + \phi 84 - 2 \phi 50) / 2 (\phi 84 - \phi 16)] + [(\phi 5 + \phi 95 - 2 \phi 50) / 2 (\phi 95 - \phi 5)].$$

En la determinación de la materia orgánica total se utilizó la técnica de pérdida de peso por calcinación en una mufla a 550°C, de las muestras previamente secadas a 60°C hasta peso constante (Buchanan, 1971).

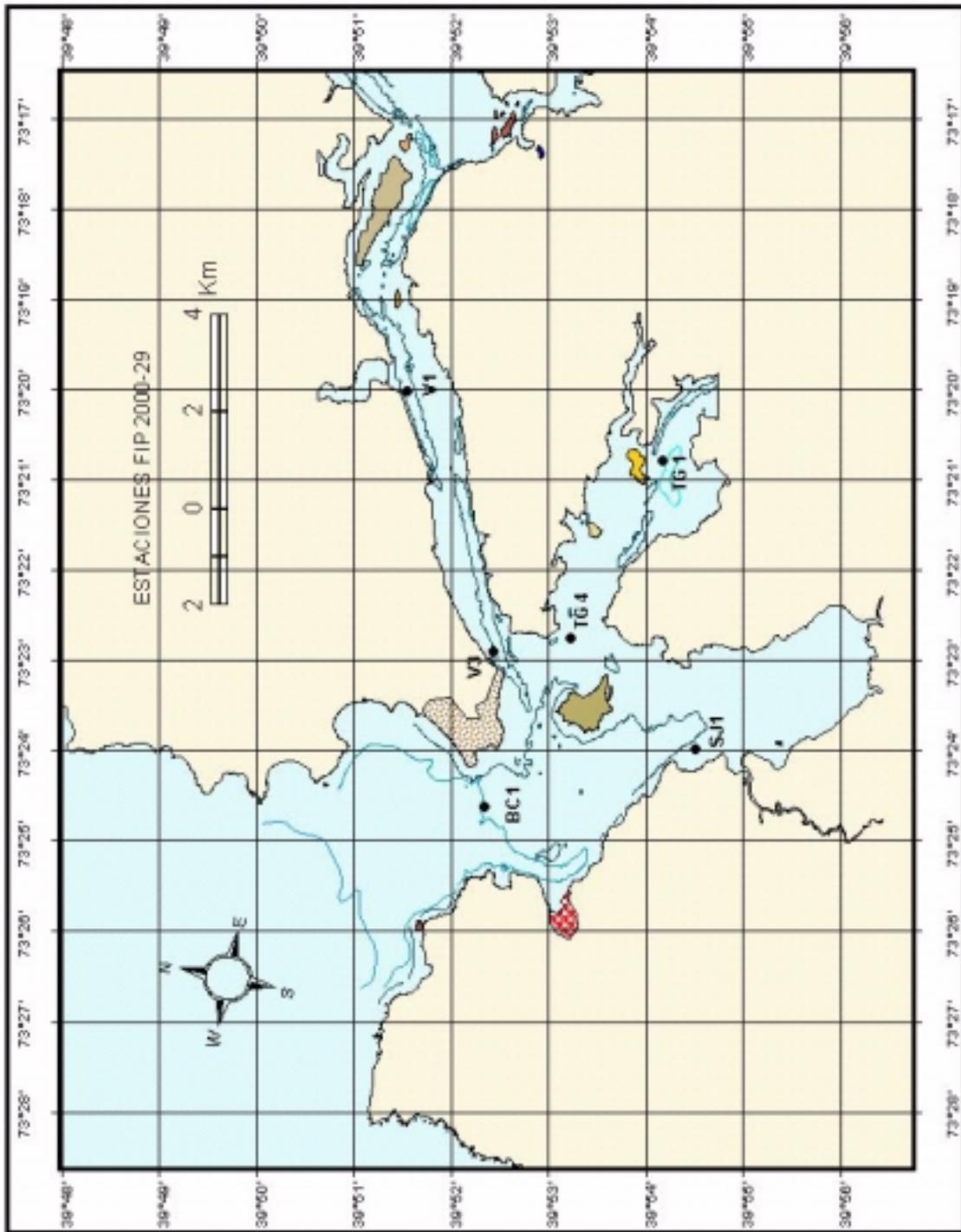


Figura 1.8.1a Ubicación de las estaciones de muestreo del bentos sublitoral, ríos Valdivia, Tornagaleones y Bahía Corral.

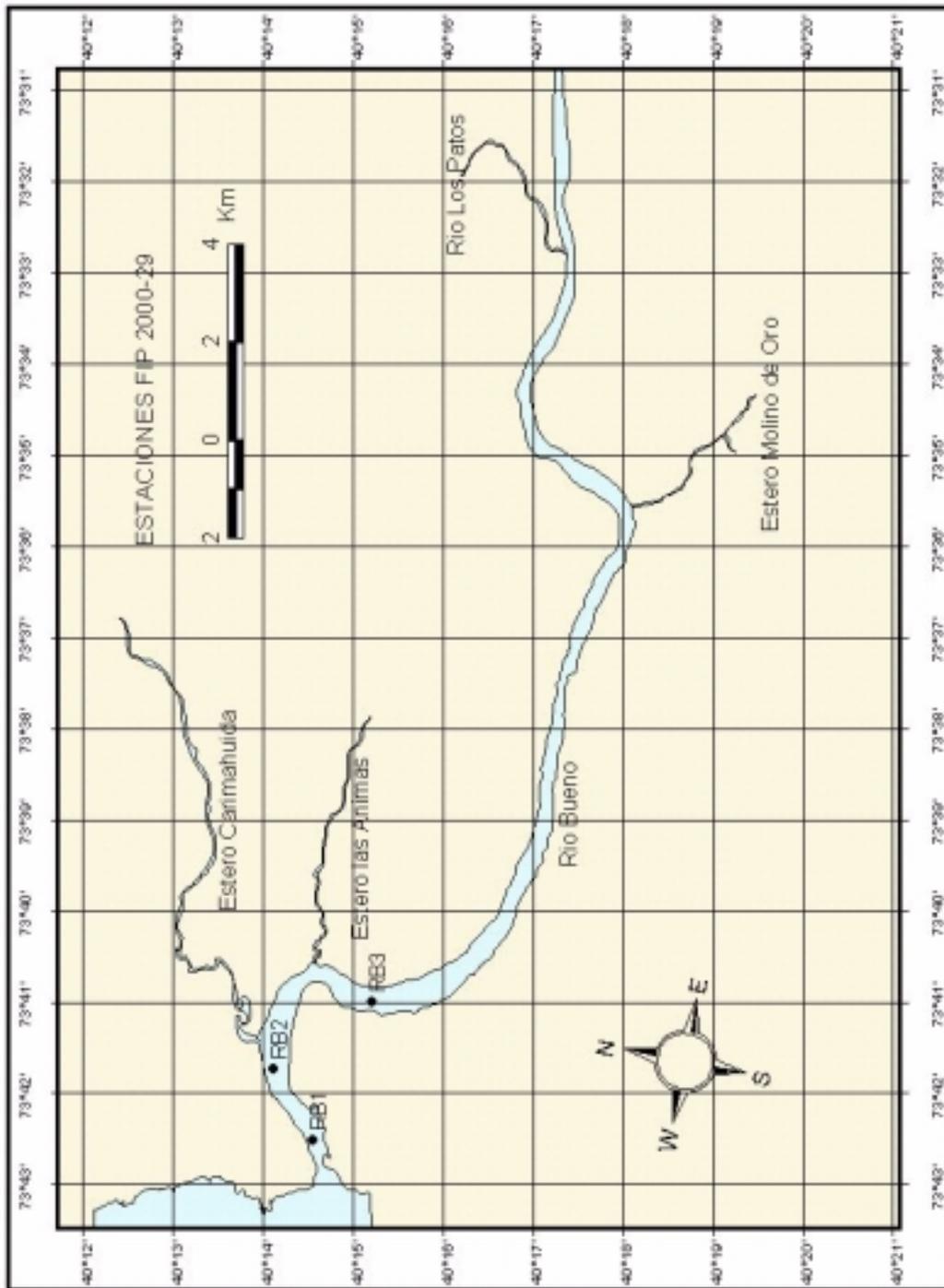


Figura 1.8.1b Ubicación de las estaciones de muestreo del bentos sublitoral, río Bueno.

9. ICTIOFAUNA

9.1. Metodología

En este informe se entregan resultados de las 4 campañas efectuadas para la recolección y caracterización de las especies ícticas existentes en las zonas estuarinas de los ríos Valdivia y Bueno. La campaña primaveral se efectuó en el mes de octubre de 2000, mientras que las campañas siguientes fueron en enero de 2001 (verano), abril de 2001 (otoño) y junio de 2001 (invierno). Teniendo en consideración las características ambientales y topográficas de los estuarios en estudio así como diferencias en la estructura de los recursos ícticos presentes en zonas someras y/o del canal principal de diversos sectores del sistema estuarino, los muestreos se realizaron con dos tipos de redes.

En las zonas de baja profundidad y cercanas a la línea de costa se empleó una "barredera de orilla" de 1 cm de abertura, la cual fue arrastrada manualmente en forma paralela a la orilla con el propósito de acceder a peces que habitan en aguas someras y que normalmente son de pequeño tamaño o representan estadios juveniles de diferentes especies, tales como *Galaxias maculatus*, *Myxodes viridis* y juveniles de *Odontesthes (Austromenidia) regia*, *Eleginops maclovinus*, entre otros. La red utilizada tiene una longitud de relinga de 28 m y una altura de 2,5 m (Figura 1.9.1) y la forma de operación de esta red se puede apreciar en la Figura 1.9.2.

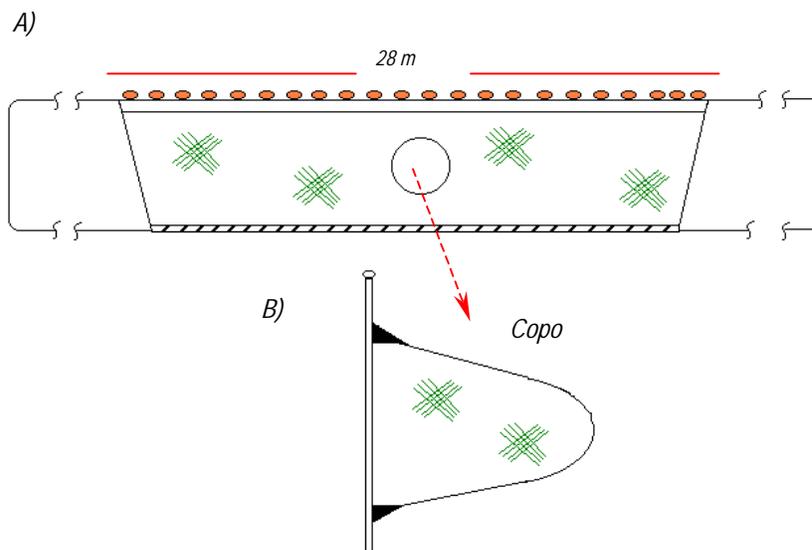


Figura 1.9.1. Plano técnico y detalles de la red barredera utilizada en aguas someras.



Figura 1.9.2. Operación con red barredera en áreas someras (río Bueno).

Con la finalidad de obtener ejemplares de mayores tamaños y para evaluar cuantitativamente la abundancia de peces en áreas de mayor profundidad en la zona estuarina del río Valdivia, se utilizó una red de arrastre con abertura de boca fija, la que relacionada con el tiempo y distancia de arrastre permite estandarizar el área barrida por la red. La abertura de esta red no es mayor a 6 m² con un tamaño de malla de 4 mm en el copo y fue operada desde una lancha artesanal, L/M Golondrina II. Considerando que esta lancha no dispone de winches o equipos de cubierta para arrastrar una red de arrastre de fondo convencional y que además su potencia efectiva es baja (< 180 HP), se construyó una red denominada "beam trawl", arte que en otros países es comúnmente utilizado en la pesca de camarones y peces de zonas de estuarios y ríos (Figura 1.9.3).

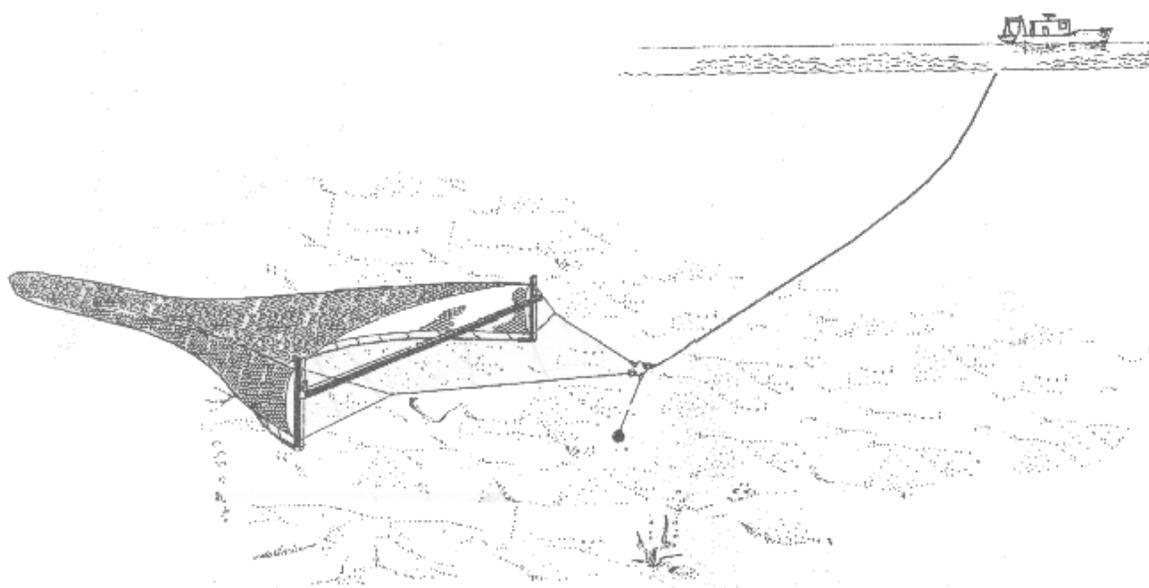


Figura 1.9.3. Vista general de un "beam trawl" operado por una embarcación menor.

La ventaja de este arte de pesca es que es de fácil operación, ya que solamente se necesita un winche, el cual puede incluso ser manual para virar el arte de pesca. Adicionalmente, este arte es de abertura de boca conocida y sin variación, lo que permite estimaciones de densidad de los recursos capturados.

El diseño de este arte se basó en el esquema generalizado que presenta FAO (JICA, 1997) para este tipo de artes. No obstante, las dimensiones del mismo se ajustaron de acuerdo a la potencia instalada de la embarcación que existía disponible para este estudio en el río Valdivia y según las condiciones del tipo de fondo del estuario. Para estos propósitos, detalles técnicos del diseño se presentan en la Figura 1.9.4 y el plano técnico de la red se presenta en la Figura 1.9.5.

Inmediatamente luego de la captura, los peces recolectados fueron identificados y sorteados a nivel específico. Los ejemplares de tamaños pequeños e inferiores a 6 cm fueron medidos con pié de metro, mientras que los peces de mayor tamaño fueron medidos mediante ictiómetro de 1 cm de precisión. Individuos de más de 2 g de peso, luego de ser medidos, fueron pesados mediante una balanza digital de 1 g de precisión.

El material que no pudo ser pesado a bordo o no identificado a nivel específico, fue almacenado en frascos de plástico de 2 l de capacidad que contenían una solución de formaldehído tamponado con tetraborato de sodio a saturación y preparado al 5%. El material fue etiquetado para su posterior identificación y pesaje en dependencias del Instituto de Investigación Pesquera.

El número total de individuos por especie fue utilizado para determinar la densidad en la muestra, y el peso total de ésta fue utilizado para determinar la biomasa existente por localidad de muestreo. Con la finalidad de estandarizar ambas cantidades y hacer comparables los resultados obtenidos, las capturas fueron estandarizadas a un tiempo de arrastre de 15 min y de acuerdo a la superficie barrida por la red.

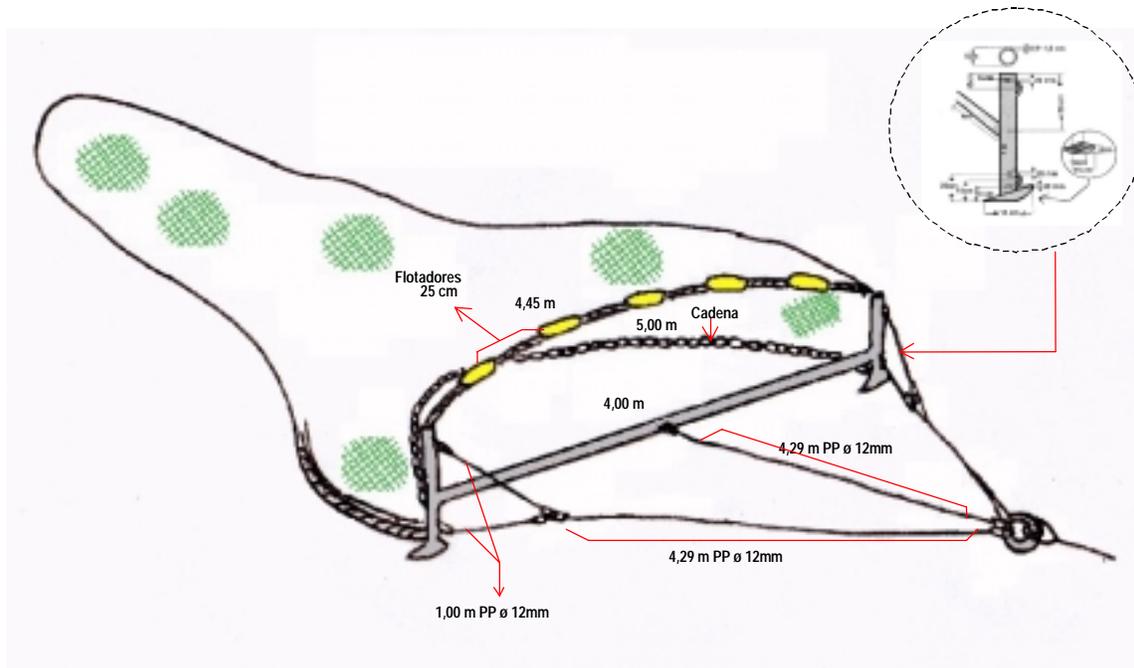


Figura 1.9.4. Diseño general y detalles técnicos del "beam trawl" utilizado en el río Valdivia.

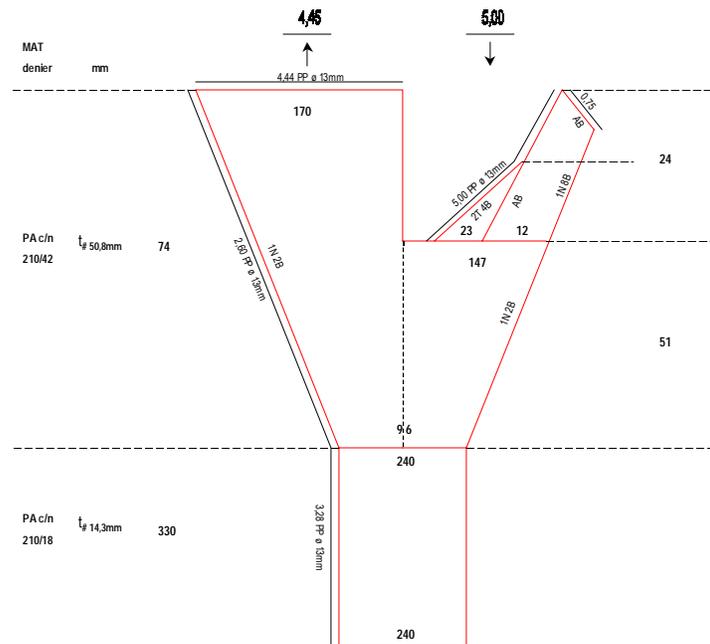


Figura 1.9.5. Plano técnico y detalles de la red "beam trawl" confeccionada.

Además de analizar la estructura de tallas de los principales recursos presentes en cada arte de pesca, se determinaron las longitudes mínima, máxima y promedio (en mm) en cada muestra. Se ajustaron relaciones longitud-peso de éstos, estimándose además los parámetros a y b de cada relación así como su bondad de ajuste (r^2).

Para cada uno de los sistemas estuarinos en estudio, teniendo en consideración la heterogeneidad de hábitats que pueden ofrecer estos sistemas, se analizó la información definiendo sectores al interior de cada sistema. La Tabla 1.9.1. resume los sectores considerados en cada sistema y las superficies (km²) que representan estos sectores.

En el caso del sistema estuarino del río Valdivia – Tornagaleones, en cada sector se cuantificaron las superficies que representan las áreas someras (≤ 2 m de profundidad) y las más profundas. Dichas áreas fueron cuantificadas a partir de las cartas digitalizadas y desde los registros batimétricos obtenidos y analizados mediante el módulo de análisis espacial del sistema de información geográfico ArcView (ver metodología en capítulo 3).

Las determinaciones de la superficie que representan estas zonas permite la expansión de las densidades y biomasa promedio que se determinaron para cada sector. De este modo, se obtiene estimados de la abundancia (en número) y biomasa total (en kg) para los principales recursos presentes en cada sistema estuarino.

Tabla 1.9.1. Sectores analizados en los sistemas estuarinos del río Valdivia y Bueno

Sistema	Sector	Superficie total (km ²)	Superficie áreas someras (≤ 2 m)	Superficie áreas profundas (>2m)
Ríos Valdivia y Tornagaleones	Bahía Corral	11,941	0,443	11,498
	Ensenada de San Juan	6,868	2,540	4,328
	Río Tornagaleones	5,176	2,309	2,867
	Río Valdivia	4,532	0,174	4,358
Río Bueno	Desembocadura	0,946		
	Est. Carimahuida	0,689		
	Est. Las Animas	0,455		

Con la finalidad de analizar la estructura y composición de la ictiofauna así como el grado de asociación faunística que existe en los diversos sectores de estudio, se determinó la similaridad que existe durante cada campaña y para ambos artes de pesca (en el caso del río Valdivia) en la ictiofauna. Para estos efectos se utilizaron los valores promedio de abundancia (ind/m²) y la similitud entre sectores fue estimada utilizando la métrica de Bray-Curtis. Como complemento de este análisis, se determinaron los índices de diversidad (Shannon) y de dominancia para las especies ícticas presentes en cada sector.

10. APORTE DE SUSTANCIAS ALOCTONAS: QUIMIOTERAPEUTICOS, PESTICIDAS, FERTILIZANTES Y APORTES DE ALIMENTO EN CENTROS DE CULTIVO

10.1. Metodología de evaluación de aportes alóctonos de las diferentes actividades que se desarrollan en las cuencas

Los materiales que son incorporados al sistema estuarial desde agentes externos a los procesos propios del estuario fueron evaluados a partir de las determinaciones de nutrientes y otros componentes en las estaciones referidas a los esteros y ríos tributarios al sistema estuarial. La escala de observación de estos componentes fue trimestral y se basa en las determinaciones efectuadas en el capítulo de agua bajo las mismas metodologías indicadas para esos análisis.

En el sistema estuarial Valdivia-Tornagaleones, se determinaron los aportes provenientes desde la sección río arriba del río Valdivia, en la estación V1, esta estación recoge a su vez los aportes provenientes del río Cutipay, el cual sería el último afluente que aportaría algunos de los compuestos a cuantificar al río. En el caso del río Tornagaleones, junto con caracterizar la calidad de las aguas que ingresan a la zona estuarina del río en el punto TG1, se efectuaron determinaciones al interior del estero Pilque y se compararon con los de la estación adyacente (TG2), que corresponde al punto donde se une el estero Pilque al río Tornagaleones y la estación TG3, ubicada en el área donde actualmente se encuentra un centro de salmonicultura. Adicionalmente para conocer el eventual aporte de actividades silvoagropecuarias, se dispuso una estación de muestreo en el estero San Juan y se compararon sus aportes con las determinaciones efectuadas en la Ensenada de San Juan (SJ1). Por ser el Puerto de Corral y Niebla, las únicas poblaciones de importancia, en cuanto a número de habitantes en torno al sistema estuarial, se obtuvieron antecedentes del número de habitantes residentes en esas comunidades y debido a la alta estacionalidad en la población flotante debido a las actividades turísticas, se evaluaron estas cifras para asociarlas a los niveles de carga y aporte de nitrógeno y fósforo que efectuarían estas localidades al estuario en base trimestral.

En el río Bueno, la estación RB3, ubicada en las proximidades de la desembocadura del estero Carimahuida, recogería los aportes del último afluente que aportaría algunos de los compuestos a cuantificar al río Bueno. Además se contempló la estación localizada en el centro Los Patos, la que recoge solo los aportes provenientes del caudal principal del río previo a la existencia de centros de cultivo asociables al sistema estuarial de este río.

10.2. Evaluación de quimioterapéuticos y muestreo en terreno

Las actividades de piscicultura en Chile han sufrido un incremento muy importante durante las últimas décadas. Este incremento en la producción de especies hidrobiológicas, también ha incrementado los riesgos ambientales, derivado de los residuos de elementos asociados a los cuidados sanitarios de los peces.

Es así como esta actividad que en sus inicios dependía casi exclusivamente de la importación de ovas, produjo el ingreso de una serie de enfermedades que obviamente no se encontraban en nuestras aguas y las cuales deben ser combatidas mediante el uso de agentes quimioterapéuticos. Además, se debe considerar que en las actividades de cultivo intensivo la manipulación y fluctuaciones medioambientales, también contribuyen a que se manifiesten cuadros infecciosos que deben ser tratados con la finalidad de evitar las pérdidas debido a altas mortalidades de peces. Por lo anteriormente expuesto en la actualidad se ha difundido en forma progresiva el uso de quimioterapéuticos, los que indudablemente contribuyen a producir un impacto ambiental en el medio acuático, el cual no ha sido evaluado en su totalidad, especialmente considerando aspectos dentro de sus efectos en las cadenas tróficas cuyo último eslabón es el hombre. En este sentido se deben contemplar aspectos relacionados con el incremento en la resistencia bacteriana, reacciones alérgicas y acumulación de ciertos quimioterapéuticos en animales que constituyen fuentes de alimentación humana.

Por lo anterior, los antecedentes que se logren obtener en la presente investigación podrían llegar a ser de vital importancia dentro de las futuras normativas que regulen el uso de estas sustancias en los ambientes acuáticos; particularmente en los estuarios ya que éstos son los receptores de las sustancias acumuladas en las cuencas hidrográficas.

Actualmente, en los procesos productivos relacionados a la salmonicultura se utilizan una serie de quimioterapéuticos, entre los que destacan los usos en forma de baños fundamentalmente de: Cloramina T, Cloruro de Benzalconio, Formalina; Verde de Malaquita y Oxitetraciclina. Mientras que otros son utilizados por vía oral a través del alimento donde destacan básicamente: Acido Oxolínico, Flumequina, Eritromicina; Oxitetraciclina; Sulfametoxazol; Trimetopim; etc. En lo que respecta a los centros de cultivo localizados en las zonas estuarinas, por lo general no se utilizan los baños debido a que en estos ambientes prácticamente no existen brotes de infecciones producidas por hongos, para los cuales son recomendables este tipo de tratamientos. Por lo tanto, el uso de quimioterapéuticos está casi exclusivamente restringido al uso de antibióticos en forma oral, con la finalidad de combatir enfermedades bacterianas.

10.2.1. ANÁLISIS DE QUIMIOTERAPÉUTICOS

Cabe destacar que estos análisis se efectuaron en los alimentos y en el sedimento, ya que hemos detectado en otros estudios que la circulación de los estuarios no permite una eficiente detección de residuos de antibióticos en el cuerpo de agua.

Sobre la base de los antecedentes existentes (gerencias de los centros de cultivo, Servicio de Salud del Ambiente, Sernapesca) y de nuestras visitas a terreno, se identificaron los principales principios activos actualmente más utilizados en la salmonicultura, como son el ácido oxolínico y oxitetraciclina, los que fueron cuantificados.

Cuando los antibacterianos son utilizados en forma persistente, excesiva e indiscriminada, sin pensar en los efectos que puedan tener en el ambiente, pueden surgir problemas irreversibles o de difícil superación. Uno de estos problemas es el desarrollo y transferencia de resistencia en comunidades bacterianas naturales y patógenas debido a la permanencia de estas sustancias en el agua y principalmente por acumulación en los sedimentos donde en algunos casos se verifica una persistencia de hasta 6 meses para el caso de las Oxitetraciclinas (Samuelsen, 1989), luego de su uso en terapia o profilaxis salmonídea (Alvial, 1993; Austin, 1988; Bravo, 1993; Dölz, 1992). Estas sustancias son excretadas al medio acuático por los peces, o bien, liberadas desde el alimento medicado que no es consumido por éstos. Tal es el caso de antibacterianos pertenecientes al grupo de las Quinolonas, grupo al que pertenece el ácido oxolínico, y que son excretados totalmente activos al agua debido a que el sistema excretor de los peces es muy primario en comparación con los animales superiores, en los que este tipo de compuestos son inactivados a nivel de los riñones, al menos en forma parcial (Bravo, op cit).

De cada uno de los centros de cultivo de los estuarios en estudio, se analizó el alimento medicado en el momento en que se esté normalmente pudo ser aplicando en su máximo de intensidad (primavera-verano). Aún cuando la composición de los pellets es conocida por el piscicultor, y pudiese sernos informada por éste, hemos considerado pertinente incluir este análisis a fin de verificar la eventual información.

Se seleccionaron 2 sitios de muestreo en cada estuario, uno ubicado en el centro de cultivo y otro en un área alejada (control). El muestreo se efectuó una sola vez, durante el período de primavera-verano, cuando ocurren los brotes de algunas enfermedades relacionadas a los incrementos de temperatura del agua, y por ende, es la época de mayor uso de medicamentos. En cada sitio se tomaron muestras de sedimento y las muestras fueron almacenadas en bolsas oscuras de polietileno lavadas con éter y refrigeradas hasta su traslado al laboratorio.

Posteriormente se extrajeron los quimioterapéuticos utilizando solventes orgánicos; la identificación y cuantificación se efectuó mediante la técnica de cromatografía líquida de alta resolución o HPCL. Para la identificación se debieron utilizar estándares certificados de los quimioterapéuticos a evaluar, con un límite de cuantificación de 5 ppb en el caso del ácido oxolínico y de 100 ppb para la oxitetraciclina.

10.2.2. PESTICIDAS ÓRGANOFOSFORADOS

De acuerdo a las informaciones del Servicio de Salud del Ambiente de Valdivia, los pesticidas de mayor uso en la zona son los organofosforados, cuyo tiempo de carencia es de 10 a 15 días. Estos se utilizan preferentemente en las actividades forestales y agrícolas (ganadería y cultivo de berries) como

impregnantes de madera, desfoliantes, herbicidas y fungicidas, en cuya composición predominan carbonatos y piritroides.

En cuanto a compuestos de mayor persistencia, como los órgano clorados cuyo tiempo de carencia es de 50 años, ya no se permite su uso. Por otra parte, los asentamientos humanos aportan detergentes (amonios cuaternarios), cuyo tiempo de carencia es corto, no sobrepasando los dos días (Guías de sustancias contaminantes, Ed. Grijalbo, 1995).

Dado que el interés del presente proyecto se centra en las zonas estuarinas, la ocurrencia de todos estos compuestos fue cuantificada como un todo a partir de aquellos puntos de confluencia de los diferentes drenajes. Es así como, en el caso del complejo Valdivia-Tornagaleones se contempla como puntos superiores de muestreo la desembocadura del río Cutipay, estero de Pilque y Punta Piraguas (Estaciones V1, TG1 y TG2). En el caso del río Bueno, el punto de confluencia se encuentra en la estación RB3. Por lo tanto su ocurrencia, se evaluó conjuntamente con las otras sustancias alóctonas que ingresan al sistema estuarial .

Debido a que en las muestras de agua se detectaron los aportes químicos (nitratos, nitritos, amonio, nitrógeno, ortofosfato, etc.), integrantes de todos los elementos alóctonos vertidos al estuario, se realizó una aproximación en cuanto al origen de éstos. Dicha determinación se realizó apoyándose en la información obtenida mediante el análisis aerofotogramétrico correspondiente a las zonas estuarinas en estudio, metodología que permite discriminar y ponderar el área correspondiente a los diferentes usos del suelo y sus estándares de aplicación de pesticidas, abonos, etc. La información correspondiente a que compuestos se utilizan regularmente en las diferentes actividades, se obtendrá en laos servicios pertinentes, tales como Servicio Agrícola y Ganadero, Servicio de Salud del Ambiente y con el apoyo de literatura tales como el Manual Fitosanitario (Bayer-Chile S.A), Decreto Supremo N°745/92 del Ministerio de Salud y otros.

10.3. Caracterización del alimento de los peces en centros de cultivo

En los centros de cultivo que hacen uso de los estuarios y ríos en estudio, se usan actualmente sólo alimentos secos, los que corresponden básicamente a los denominados pellet.

El muestreo de los alimentos se efectuó estacionamente (invierno y verano), extrayéndose muestras del alimento suministrado directamente desde las balsas jaulas, con el objeto de conservar las muestras en seco y despacharlas posteriormente al laboratorio.

A las muestras de alimento se les determinó:

- Contenido de materia seca. Método empleado: secado de las muestras a 105 °C por 48 horas.
- Nitrógeno Total: Método micro Kjeldahl de AOAC (Asoc. Oficial Analytic Chemist).

- Fósforo Total: Método calorimétrico del fosfomolibdato de AOAC
- Carbono Orgánico: Método Walkley y Black, que se basa en una digestión húmeda de la muestra en presencia de dicromato de K y ácido sulfúrico. Finalmente el dicromato residual se titula con sulfato ferroso.

10.4. Determinación del aporte de nutrientes provenientes de alimento no consumidos y fecas

Para la determinación de los aportes de nutrientes provenientes del alimento no consumido y de las fecas, se emplearon trampas de sedimento que consisten en un tubo de PVC de 110 mm de diámetro (D), 1.1 m de alto (H) y 2 mm de espesor. La razón H/D es de 10 y el área de colecta de 0.0095 m². En el extremo inferior de la trampa se ubica una llave de bola de 50 mm que termina en un frasco colector de 500 ml. Esta trampa es liviana y está diseñada para ser instalada colgando de la malla lobera que protege la balsa jaula.

Las trampas de sedimento fueron localizadas en varias posiciones respecto a las balsas jaula. En sentido horizontal se distribuyeron trampas de sedimento en las siguientes posiciones (estaciones):

- Bajo el centro de la balsa jaula (Est. 1a).
- En el borde de la balsa jaula (Est. 1b).
- Entre distintos trenes de balsas jaula (Est. 2).
- Alejado unos trescientos metros de las balsas jaula (Est. 3) y
- En una posición distante sin influencia de las balsas jaula (control) (Est. 4).

10.5. Estimación de tasas de sedimentación de seston, materia orgánica, materia orgánica litogénico y carbono.

En el área del estuario de los ríos Valdivia y Tornagaleones, se instalaron trampas de sedimento en seis estaciones (Est. 13, Est. 22, Est. 30, Est. 33, Est. 36 y Est. 40; Figura 1.10.1) y tres estaciones ubicadas en las balsas jaula: BJC (Balsas Jaula Centro), BJO (Balsas Jaula Orilla) y EBJ (Entre Balsas Jaula). En las estaciones BJC y BJO se ubicaron trampas de sedimento en el vértice entre cuatro balsas jaula (BJC), en la orilla de una balsa jaula (BJO), estas trampas estaban colgando desde la estructura de la balsa jaula. La estación EBJ consistió en un sistema como el usado en todas las otras estaciones, es decir, un fondeo anclado con un peso muerto de 30 kilos que amarrado a una cuerda con una trampa de sedimento ubicada aproximadamente a dos metros sobre el fondo y con una boya que la mantenía en posición y otra que permitía su recuperación. En el área de río Bueno se instalaron 4 trampas (Figura 1.10.2) similares a las anteriormente señaladas, en las estaciones RB1, RB2, RB3 y RB4.

Las muestras colectadas usando trampas de sedimento fueron preservadas usando 1 ml de HgCl₂ saturado por 100 ml de muestra (Hebbeln & Wefer 1989). Este preservante detiene toda actividad de descomposición bacteriana y no adiciona carbono a la muestra como sería el caso de usar formalina. Las

muestras fueron divididas en un muestreador tipo Folsom (Gundersen 1991). Una fracción de la muestra (dependiendo del material sedimentado) puede ser fraccionada entre 1/2 a 1/256. La muestra fue luego filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio GF/F pre-combustionado (a 500°C por seis horas) y pre-pesado en una balanza Sartorius con una precisión de 0.00001 g. La tasa de sedimentación de seston (peso seco) fue estimada re-pesando los filtros después de dejarlos por una noche en una estufa a 50°C y descontando el peso del filtro. Los mismos filtros fueron posteriormente instalados en una mufla a 500°C por cinco horas. Después de este período, los filtros se pesaron nuevamente y el material que permaneció en los filtros fue considerado como correspondiente al material litogénico, incluyendo opal (frústulos de diatomeas), muestras que el material combustionado (disminución en peso) fue considerado como materia orgánica (Bodungen et al. 1991). El carbono fue estimado a partir de sub-muestras filtradas en filtros GF/F pre-combustionados y medidos de acuerdo al método de determinación de carbono orgánico particulado propuesto por Parsons et al. (1992) y que consiste en la oxidación húmeda del carbono por dicromato en medio ácido.

Los pellets de alimento utilizados durante la etapa de engorde de los salmones fueron también analizados mediante el mismo método antes señalado para estimar la cantidad promedio de carbono por unidad de volumen (mm³) y de peso (mg) de estos pellets.

Mediante microscopía se estimó la tasa de sedimentación de microplancton y el flujo vertical (expresado como volumen y carbono) de pellet fecales, restos de alimento no ingeridos y fitoplancton.

Submuestras del material colectado en las trampas de sedimento fueron analizadas utilizando un microscopio invertido Olympus. La abundancia de fitoplancton y microzooplancton fue estimada de acuerdo al método de Utermöhl (1958), donde un volumen conocido de la muestra se deja sedimentar en cámaras de sedimentación y se contabiliza el número de células en la cámara completa o en una fracción conocida de ella. Los resultados se expresan como número de células por metro cuadrado de superficie y por día. La determinación taxonómica del fitoplancton fue realizada a nivel de género o clase, llegando a nivel de especie solo cuando existía un organismo dominante. El microzooplancton fue tratado a nivel de grupo como tintínidos, radiolarios, etc.. Muchos individuos de cada grupo fueron contabilizados, medidos y su volumen calculado, esto, asignando a cada individuo una forma geométrica determinada. Por ejemplo, las mayoría de las diatomeas céntricas se ajustan a la forma de un cilindro.. Con las mediciones realizadas se calculó el volumen del plasma promedio de cada taxa y posteriormente se calculó el contenido promedio de carbono por célula de acuerdo a las recomendaciones de Edler (1979) que considera las siguientes fórmulas:

Para dinoflagelados tecados: $C = PV * 0.13$

Otros grupos del fitoplancton: $C = PV * 0.11$

Donde C = carbono en unidades de pg (picogramos) y PV = volumen del plasma en unidades de μm^3

En las muestras colectadas con trampas de sedimento se midieron todos los pellet fecales de crustáceos (*i. e.* copépodos), larvaceos y peces. Usualmente estos pellets se encuentran fragmentados, por lo que es necesario medir cada fragmento. Cuando un trozo de pellet fecal no puede ser identificado debido a su alto fraccionamiento y degradación, éste fue incluido en el ítem "pellets no identificados". Con esta información se calcula el volumen de cada pellet fecal intacto o fragmentado, asignando una forma

geométrica de cilindro (ej. pellet de copépodos), elipsoide (ej. pellet de larváceos) y paralelepípedo (ej. algunos fragmentos de pellet de peces) para realizar dicho cálculo. Los restos de alimento encontrados fueron medidos y su volumen (V) calculado de acuerdo a la forma geométrica más cercana a las antes mencionadas. A partir de estas mediciones se estima el contenido de carbono (C) de los pellet fecales de acuerdo a la siguiente fórmula propuesta por González & Smetacek (1994): $C \text{ (en mg)} = V \text{ (en mm}^3\text{)} * 0.048$. A partir de las muestras colectadas, se tomaron submuestras para la cuantificación de los contenidos de nitrógeno y fósforo de acuerdo a las metodologías indicadas en el punto 4.4.1.

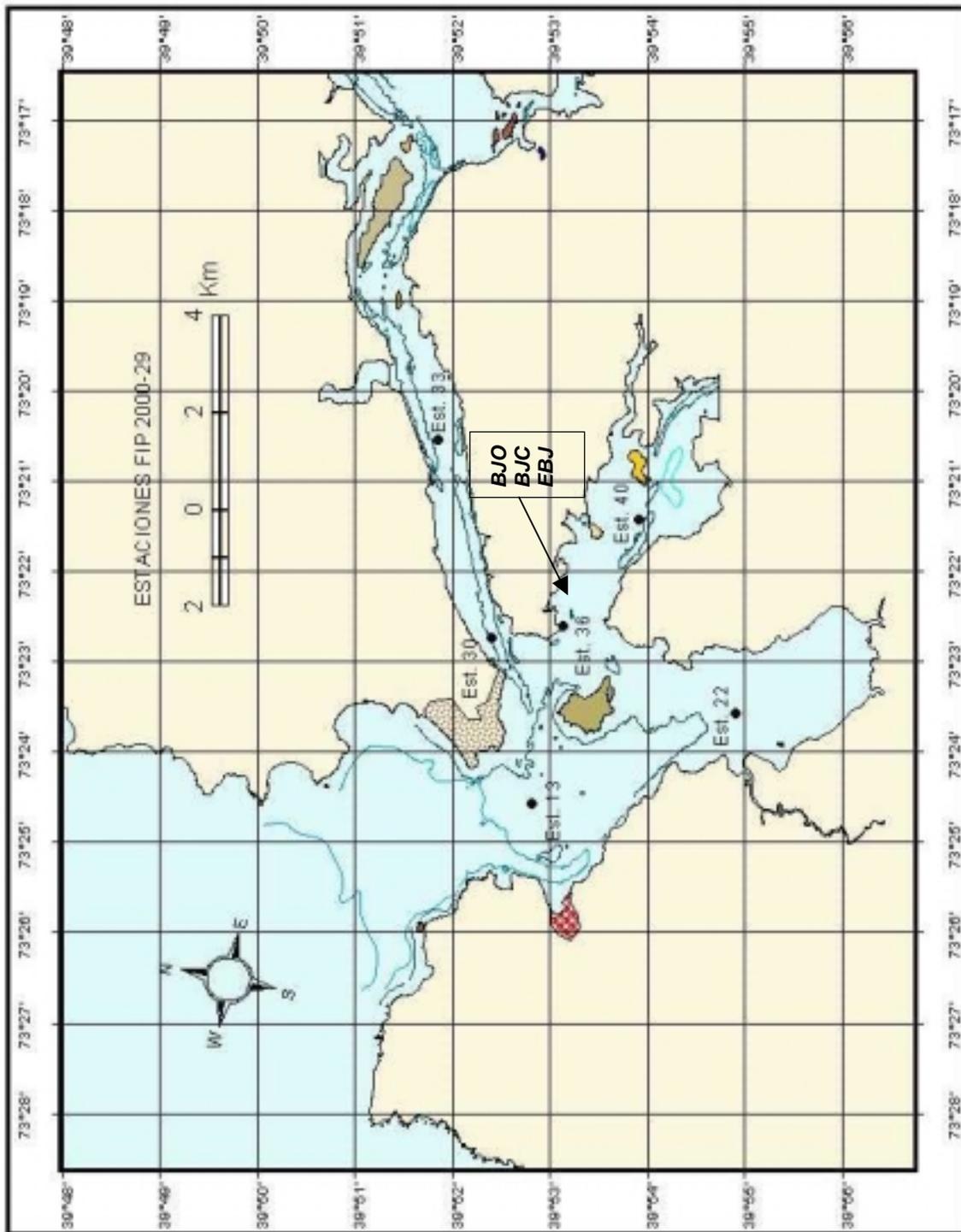


Figura 1.10.1. Posición geográfica de las estaciones de muestreo para la estimación de tasas de sedimentación en el estuario del río Valdivia-Tornagaleones.

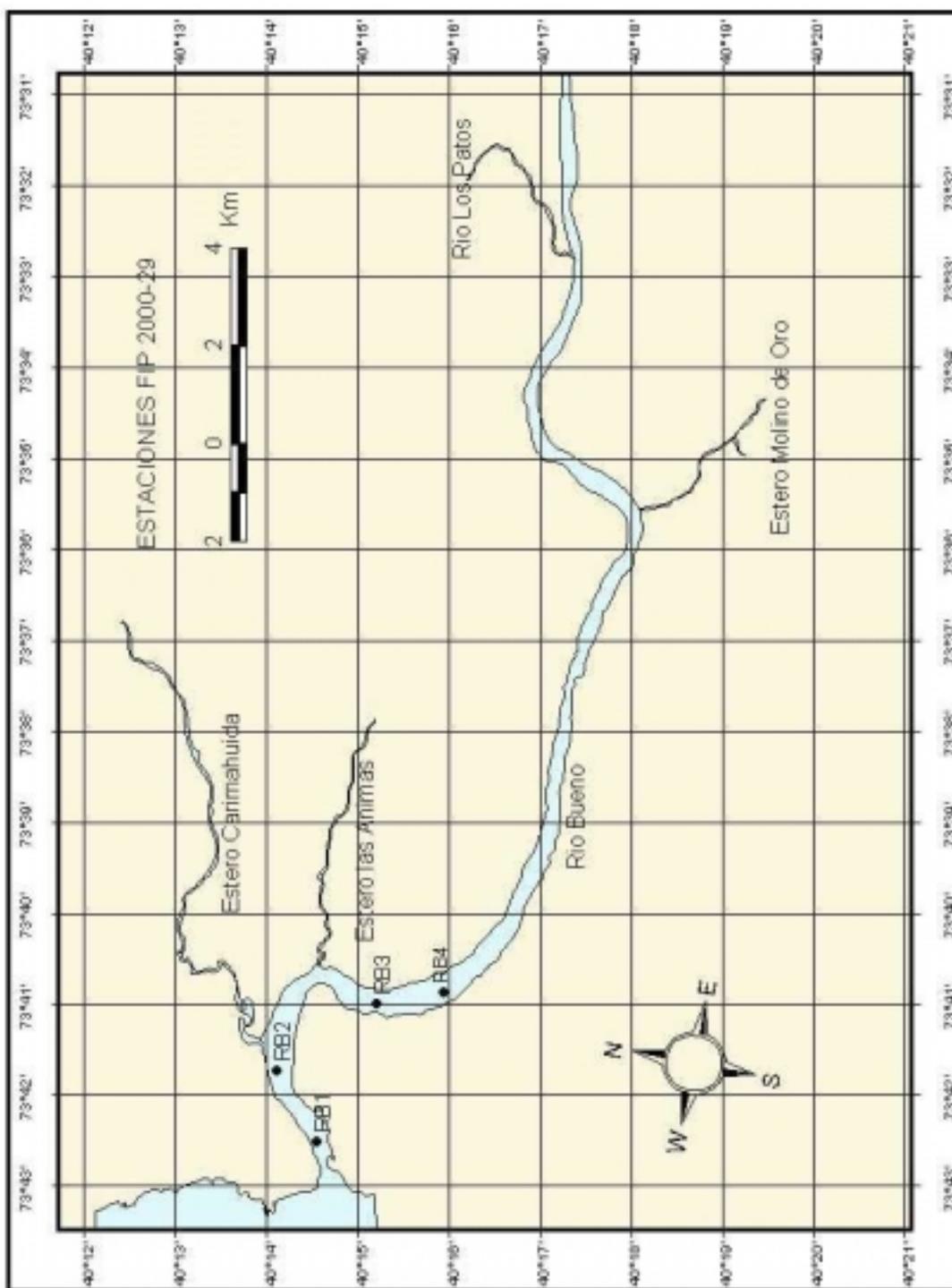


Figura 1.10.2. Posición geográfica de las estaciones de muestreo para la estimación de tasas de sedimentación en el río Bueno.

10.6. Análisis de sedimentos asociados a los centros de cultivo

Se efectuó una transecta desde las balsas jaula conteniendo salmones y en dirección al flujo dominante de la corriente de marea a distancias de 0, 2, 5, 10, 20, 40, 80 y 160 m desde el centro de la balsa. En cada una de estas estaciones de la transecta se obtuvieron muestras como las mencionadas arriba y se estimó el contenido de nitrógeno y fósforo total. Las metodologías que se emplean para la cuantificación de los contenidos de nitrógeno y fósforo total, han sido previamente señaladas en la sección de agua.

10.7. Información relativa a los centros de cultivo

En la actualidad existe un centro de cultivos de esmoltificación en la zona estuarina del río Tornagaleones (Granja Marina Tornagaleones S.A.I) y un centro de esmoltificación y engorda de truchas en el río Bueno (Salmones Río Bueno S.A).

Con el propósito de conocer los registros históricos de los centros de cultivos existentes, mayores antecedentes sobre las especies cultivadas y las sustancias quimioterapéuticas empleadas, se efectuaron encuestas y visitas a terreno a los respectivos centros, contándose con el apoyo logístico y una completa disposición por parte de la gerencia de ambas empresas.

Adicionalmente, se obtuvo información del Departamento de Estadística del Servicio Nacional de Pesca, relativa a los volúmenes cultivados durante en año anterior.

11. BALANCE, CAPACIDAD DE CARGA Y EUTROFICACION DE LAS ZONAS ESTUARINAS

11.1. Caracterización de los sistemas en estudio

La región sur de Chile (entre los 37° y los 41° de latitud Sur) se encuentra caracterizada por la presencia de un vasto número de estuarios de tipo micromareal (i.e., < 2 m de amplitud mareal, Dyer, 1997). En esta región, a diferencia del numeroso conjunto de estuarios pequeños (10 m³ s⁻¹ de descarga de agua dulce promedio), con una cuenca hidrográfica costera, alimentados principalmente por precipitación; destacan dos grandes sistemas estuarinos, asociados a los ríos Valdivia (39°54'S; 73°23'W) y Bueno (40°14'S, 73°44'W), cuyas cuencas están reguladas por una serie de lagos localizados en la Cordillera de los Andes, los que se caracterizan por un promedio de descarga de agua dulce cercano a los 100 m³ s⁻¹ (Niemeyer & Cereceda, 1984)

No obstante la dramática escasez de información formalmente publicada para estos sistemas estuariales, el mayor porcentaje de las observaciones se encuentra asociado a los estuarios del río Valdivia.. Este sistema está formado por dos subsistemas fluviales, el primero corresponde a los ríos San Pedro y Calle-Calle, que drenan un grupo de lagos andinos interconectados y, el segundo, corresponde al río Cruces el cual drena parte del valle central (Pino et al., 1994). Ambos subsistemas, cuyas hoyas cubren una superficie total de 13.135 km² (Niemeyer & Cereceda, 1984), se unen en la ciudad de Valdivia dando origen al río Valdivia que desemboca en la Bahía de Corral, subdividido en dos ensenadas, los estuarios Valdivia y el Tornagaleones (Pino et al., 1994). Por el contrario, es importante destacar la inexistencia de trabajos formalmente publicados relacionadas con las características hidrográficas y dinámicas del estuario del río Bueno.

El sistema estuarial Valdivia - Tornagaleones ha sido clasificado como un estuario: a) micro-mareal, esto es, que la marea no excede los 2 m de amplitud, b) hiposincrónico, donde la fricción excede el efecto de convergencia (aunque Pino et al., 1994 indican que divergencias morfológicas pueden ser consideradas como un factor importante), el rango mareal disminuye a través del estuario, los cuales presentan bocas restringidas (donde se detectan las mayores velocidades) y el agua que entra al estuario se dispersa completamente en él (Dyer, 1997) y, c) parcialmente mezclado (en relación a su estructura salina, Arcos & Salamanca, 1989; Pino et al., 1994), aunque en algunos sectores el sistema presenta características de cuña salina ("salt marsh" Dürrschmidt & Steubing, 1983 fide Pino et al. 1994). El régimen mareal en la Bahía de Corral presenta un comportamiento semi-diurno, con un rango promedio de 0,8 m, variando entre 1,48 m y 0,53 m (Pino et al., 1994). Esta amplitud de marea es reducida considerablemente al interior del estuario, debido principalmente a la gran cantidad de canales interconectados, islas y zonas fangosas (Pino et al., 1994).

Si bien los límites de los estuarios del río Valdivia no han sido delimitados sensu stricto en la bibliografía, algunas aproximaciones indican el límite superior del estuario hacia el sector oriental de la Isla del Rey (Arcos & Salamanca, 1989) en tanto que el límite inferior se asocia a la boca del estuario

en el puerto de Niebla (Pino et al., 1994). No existe una delimitación de los sistemas estuariales correspondientes al río Tornagaleones y al río Bueno.

No existen estudios relacionados con la variabilidad estacional en las condiciones hidrográficas y dinámicas de los estuarios en cuestión; no obstante para la porción inferior del estuario del río Valdivia y en la Bahía de Corral, la variabilidad estacional (invierno-verano) en la hidrografía y dinámica ha sido determinada recientemente (Arcos et al., 1998, 1999).

Durante el período estival (enero-febrero), el análisis de secciones longitudinales y transversales al eje central de la Bahía de Corral reveló:

- Una porción interior e intermedia con una fuerte estratificación térmica y salina, la que disminuye notablemente hacia la boca de la bahía. Sólo se describen aguas salobres (> 15 psu) superficiales (< 2 m) para el fondo de saco de la bahía.
- Un claro gradiente lateral (este-oeste) de la salinidad, reflejando una mayor presencia superficial de aguas continentales hacia el sector oriental de la bahía, situación que también se describe para el sector de la boca del estuario del río Valdivia.

En este mismo período, el escenario dinámico general (lagrangiano y euleriano) de la Bahía de Corral (Arcos et al., 1998), reveló:

- Una significativa influencia de las fluctuaciones mareales sobre los flujos netos, distinguiéndose el componente semi-diurno en el espectro mareal.
- Una columna de agua con dos a tres niveles de circulación.
- La presencia de vórtices y contracorrientes por efecto de fisiografía y batimetría.
- El viento local ejerce una modulación sobre los flujos superficiales.

Durante el período invernal (junio-julio), el análisis de secciones longitudinales y transversales al eje central de la Bahía de Corral reveló:

- Una región asociada al Puerto de Corral con muy poca variación térmica en la columna de agua (producto de inversiones térmicas superficiales) y, fuertes gradientes salinos, producto de la incursión superficial (< 5 m) de aguas continentales en todo el sector.
- En toda la Bahía de Corral, a excepción del sector de la boca, se evidencia una fuerte presencia de aguas continentales (< 5 psu) en los 2 primeros metros de la columna de agua, generando gradientes verticales de salinidad mayores que para el período estival. No obstante lo anterior, bajo los 5 m de profundidad la distribución vertical de estas variables es uniforme en ambos períodos estacionales.
- La región de la boca de la Bahía de Corral no revela variaciones importantes respecto del verano.

En este mismo período, el escenario dinámico general (lagrangiano y euleriano) de la Bahía de Corral (Arcos et al., 1999), reveló:

- La circulación del estrato superficial estuvo condicionada principalmente por la acción del viento (norte), estableciendo flujos hacia el SE.

- La circulación en el estrato subsuperficial estuvo condicionada por la marea, observándose flujos hacia el SE (llenante) y hacia el NW (vaciente)
- En el sector medio de la bahía, el flujo superficial (< 3 m) tiende a salir hacia el norte influenciado principalmente por la pluma del río Valdivia, mientras que el estrato de fondo responde a las condiciones de marea.

11.2. Metodología

En este informe se consideran resultados obtenidos después de 3 campañas trimestrales efectuadas para la recolección y caracterización de antecedentes hidrográficos, fisico-químicos y biológicos que permiten identificar los cuerpos de agua que componen las zonas estuarinas de los ríos Valdivia y Bueno. Las campañas efectuadas durante los meses de octubre de 2000 (primavera), enero de 2001 (verano), abril de 2001 (otoño) y junio de 2001 (invierno), permiten evaluar los niveles de carga de nutrientes que existen en estos sistemas y las principales fuentes de ingreso de éstos al sistema en estudio.

A continuación se informa el diseño y la metodología o enfoque de modelación que permitirá estimar y monitorear en base a variables físicas, químicas y biológicas la carga a que está sometida cada una de las zonas estuarinas en estudio, esto en el marco del objetivo 3.6 del proyecto. En el diseño de esta metodología se integra resultados presentados en secciones previas de este informe; permitiendo así poder determinar y estimar el potencial de crecimiento de las diversas actividades de acuicultura en cada uno de los estuarios en términos de la estimación de la carga crítica (objetivo 3.7).

11.3. Balance de masa

El balance de masa es utilizado para describir las entradas y salidas de materiales que se encuentran contenidos en la columna de agua de un sistema. Para nuestros efectos, los materiales que son intercambiados en el sistema estuarino de los ríos Valdivia y Bueno, son los nutrientes fósforo y nitrógeno.

En el caso de los nutrientes disueltos, la diferencia entre la suma de la totalidad de entradas y salidas puede ser grande; y ésta solo puede ser compensada bajo el principio de conservación de la masa ($dM/dt = 0$). Materiales como la sal entran y salen del sistema incorporados en el agua y sin exhibir transformaciones netas dentro del sistema; sin embargo, en sistemas donde existe una fracción de material que sedimenta, se señala que este tipo de sistemas muestran una conducta "no conservativa". Esto debido a que el flujo de ese material no se conserva en comparación a los flujos de agua y sal. De ahí que **los flujos de agua y sal son descritos por el balance hídrico, pero la diferencia indicada en rojo para la Figura 1.11.1 ($\sum (fuentes - sedimentación)$) es no conservativa con respecto a la hidrografía**. Esto hace que para estudios de nutrientes y partículas contaminantes al utilizar modelos físicos se evidencien dificultades en su aplicación y de estimación de las cantidades involucradas (Gade, 1982).

De ahí que la ecuación global de balance sería igual a:

$$\sum (\text{fuentes} - \text{sedimentación}) = \sum \text{salidas} - \sum \text{entradas}$$

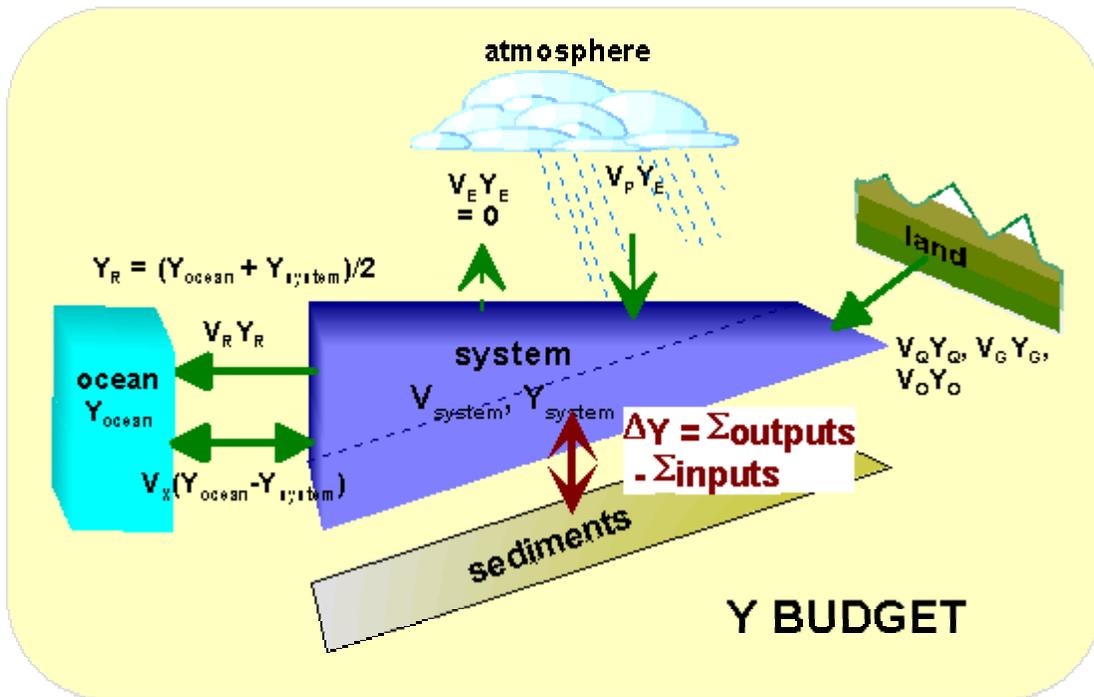


Figura 1.11.1. Esquema generalizado de un balance para un ecosistema estuarino (IGBP)

Con la finalidad de incorporar el ingreso de nutrientes por precipitaciones en un modelo hídrico global, se considera el establecimiento de un modelo de circulación general para el cual se deben conocer los componentes del ciclo hídrico,

$$P + Q_a - Q_s + \Delta W - Ev = 0$$

- P = aporte por precipitaciones
- Q_a = caudal de los aportes al estuario
- Q_e = caudal de salida del estuario
- ΔW = variaciones del contenido de agua en el estuario
- Ev = evaporación

Los aportes por precipitaciones fueron obtenidos directamente desde la estación meteorológica existente en la Isla Teja (Universidad Austral de Chile) y durante las campañas de muestreo efectuadas se analizó el contenido de fósforo total y nitrógeno total en aguas lluvias.

En el caso de la evaporación, si bien este término se considera a veces despreciable en altas latitudes, la evaporación potencial fue determinada a través de la ecuación de Penman (Shuttleworth, 1993) a partir de valores de temperatura y humedad relativa del aire provistos por la estación meteorológica existente en la Isla Teja (Universidad Austral).

La ecuación de Penman (Shuttleworth, 1993) estima la evaporación de la superficie expuesta al aire de un cuerpo de agua (evaporación potencial) considerando que existe un balance o intercambio de energía sobre la superficie del agua y la atmósfera. La evaporación potencial (mm/d) es una función compleja de la humedad, la velocidad del viento, la radiación y la temperatura. Estas cantidades se relacionan de la siguiente forma:

$$Ev = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + A_h) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{6,43(1 + 0,536U_2)D}{\lambda}$$

donde, R_n = Radiación neta intercambiada (equivalente al agua) en la superficie del cuerpo de agua (mm/d).

A_h = energía advectada por el cuerpo de agua (equivalente en agua (mm/d)).

Shuttleworth (1993) provee de un procedimiento elaborado para estimar ($R_n + A_h$) desde diferentes fuentes de información.

D = corresponde al déficit de vapor promedio (e_s), estimado para las horas de máxima y mínima temperatura (en kPa) y la humedad relativa, de tal forma que:

$$D = \left(\frac{e_s(T_{\max}) + e_s(T_{\min})}{2} \right) \left(1 - \frac{RH}{100} \right)$$

Siendo T_{\max} , T_{\min} = Temperaturas máxima y mínima diaria a través del período de estimación [$^{\circ}$ C]

RH = es la humedad relativa a través del período de estimación [en porcentaje]

U_2 = la velocidad del viento medida a una elevación de 2 m [m/s]

λ , es medida en MJ kg^{-1} , es función de la temperatura y corresponde al calor latente de evaporación del agua a la temperatura T_s (la temperatura superficial del cuerpo de agua, $^{\circ}$ C):

$$\lambda = 2,501 - 0,002361 \cdot T_s$$

e = corresponde a la presión de vapor ambiente del vapor de agua en el aire [kPa], y puede ser calculada a partir de la humedad relativa y el vapor de presión saturado:

$$e = e_s \frac{RH}{100}$$

donde, RH = es la humedad relativa del aire (en porcentaje) y e_s , es función de la temperatura y representa la presión de vapor saturado del agua en el aire a una temperatura determinada T [kPa], donde e_s está determinado por la siguiente ecuación:

$$e_s(T) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{237,3 + T}\right)$$

volviendo a la ecuación de evaporación, sólo queda por definir Δ y γ .

Δ , es la tasa de cambio de e_s con respecto a T [kPa T⁻¹]

$$\Delta(T) = \frac{4098e_s}{(237,3 + T)^2} = \frac{2503,06 \exp\left(\frac{17,27T}{237,3 + T}\right)}{(237,3 + T)^2}$$

γ , es la constante psicrométrica [kPa ° C⁻¹]

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} = \frac{P}{1537,675 - 1,45T}$$

considerando, que la presión a nivel del mar P = 101.3 [kPa]

Otro método alternativo, pero simple de estimación de la evaporación potencial es el basado en la ecuación de Hamon (Haith y Shoemaker (1987):

$$Ev = \frac{2,1H_t^2 e_s}{T_t + 273,2}$$

donde, la evaporación es dependiente de la temperatura media del día (T_t), el número promedio de horas de luz por día (H_t) y la presión saturada de vapor a la temperatura del día correspondiente (e_s).

En días donde $T_t \leq 0$, la evaporación se puede considerar igual a cero. Sin embargo, Shuttleworth (1993) no recomienda su utilización debido a lo aproximado de su estimación.

Los balances de fósforo y nitrógeno en sus diferentes formas se realizarán de acuerdo a los estándares propuestos por los expertos de **LAND OCEAN INTERACTIONS IN THE COASTAL ZONE** LOICZ – IGBP, considerando la estequiometría y metodologías de escalamiento de Gordon et al. (1996), con esto la carga de fósforo o nitrógeno totales de los afluentes o aportes al estuario se definen para cada instante o campaña de muestreo trimestral y se evalúa el efecto estacional previamente indicado para el régimen que opera en los estuarios previamente señalados.

$$C(p,n)_i = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i [N_i, P_i]}{A_i}$$

La ecuación anterior representa la carga de fósforo o nitrógeno totales ($C(p,n)_i$) que son aportadas al estuario por las distintas fuentes de ingreso (i), siendo n el número total de aportes que se incorporan al estuario, sean estos por contribuciones de afluentes, aguas lluvias, aguas residuales que ingresan al estuario y por centros de cultivo. Q_i representa el caudal medio de la fuente de aporte y $[N_i, P_i]$ corresponde a la concentración de nitrógeno y fósforo existentes en cada afluente i . A_i representa el área del estuario.

11.4. Desglosamiento de caudales y concentraciones individuales

Es de interés desglosar las cargas que existen en el sistema a partir de fuentes naturales y poder diferenciarlas de las entradas por causas artificiales, esto es a a partir de aguas residuales y por la actividad derivada de los centros de cultivo. De este modo la carga total del sistema corresponde a:

$$\text{Cálculo de carga: Carga total} = \text{Carga natural} + \text{Carga artificial}$$

Dentro de las fuentes naturales, se cuantifica el contenido de nutrientes en aguas lluvias, contenido Q_i que es igual a la precipitación instantánea $P_{(N_i, P_i)}$.

En el caso de las fuentes artificiales, el aporte de nutrientes provenientes de aguas residuales que son vertidas al estuario se determina de acuerdo a los resultados obtenidos de encuestas nacionales que identifican el número de habitantes existentes en las inmediaciones del ambiente de estudio. Para estos efectos se utilizarán las ecuaciones de Dillon y Rigler (1974), las que establecen los niveles de fósforo y nitrógeno aportados per capita:

$$J_a = K * N * (1 - R_s)$$

donde J_a es la contribución artificial de fósforo y nitrógeno. Esta se determina a partir de K que se incorpora por persona al día (fósforo = 2,19 gr per capita-día y nitrógeno = 10,4 gr per capita-día; Dillon y Rigler, 1974). N es el número de habitantes y R_s es el coeficiente de retención de fósforo total para fosas

sépticas (0,3) y de pozos negros (0,1) de acuerdo a la capacidad de filtración del suelo (Brandes et al., 1974).

Para los centros de cultivo se tiene que:

$$[N,P]_{\text{en el alimento}} = [N,P]_{\text{en peces}} + [N,P]_{\text{en desechos}}$$

11.5. Cálculo de tiempo de residencia

De acuerdo a Kennish (1992), la capacidad acomodativa de un estuario hacia los materiales que son aportados a éste, es dependiente de la carga hidráulica, que es estimada por:

$$Q_s = \frac{\bar{z}}{\tau}$$

donde Q_s corresponde a la carga hidráulica; z es la profundidad media del estuario y τ es el tiempo de residencia, y

$$\tau = \frac{v}{Q + V_T}$$

donde v es el volumen del estuario a baja marea; Q es el flujo anual de agua dulce y V_T es el volumen intermareal anual. Tanto los flujos de agua dulce como mareal así como la profundidad media del estuario modulan la capacidad acomodativa de un sistema determinado.

11.6. Nivel de trofia de los sistemas estuariales

La capacidad asimilativa de un sistema estuarino por enriquecimiento de nutrientes permanece finita, aunque pequeñas adiciones de fósforo y nitrógeno favorezcan la productividad, cantidades excesivas pueden alterar la composición de especies, la diversidad y la dinámica de las comunidades bióticas (Kennish, 1992)

Para evaluar el manejo e incorporación de futuros centros de cultivo se estimarán niveles potenciales de producción, los que serán incorporados en el modelo de simulación y se evaluará la susceptibilidad que tiene el sistema en estudio para alterar la carga de nutrientes existente en el estuario y por consecuencia de esto desequilibrar la estructura y proporción de elementos constituyentes del sistema estuarino. Primeramente, Vollenweider (1968) analizó las diferencias producidas por diferentes cargas de nutrientes de sistemas lacustres con la respuesta trófica de algas planctónicas; luego Biggs et al. (1989) adaptaron la metodología utilizada por Vollenweider, extendiendo este concepto a estuarios para así desarrollar un esquema de clasificación basado en antecedentes físicos, químicos y biológicos aparejados al impacto de

la actividad antropogénica. A través de este esquema de evaluación, se establece una metodología que permite ponderar diferentes elementos de salud del sistema:

Elemento	Característica
Hidrológico	Flujo adecuado, especialmente de los aportes de agua dulce
Geológico	Alta diversidad de ambientes bénticos, adecuada mezcla de tipos erosionales y deposicionales. Adecuada mezcla de tipos y rangos de partículas de sedimentos
Químico	Buena calidad del agua (en capas de fondo y superficiales) Niveles de nutrientes en rangos seguros Niveles de oxígeno por sobre niveles mínimos Buena calidad de la superficie del fondo Bajo contenido orgánico Capa superficial aeróbica
Biológico	Especies típicas dentro del rango normal de abundancia (de acuerdo al momento del año) Número adecuado de especies
Ecosistémico	Buena estructura y alta diversidad espacial Adecuado funcionamiento del ciclo de nutrientes Variabilidad temporal normal

* modificado de Darnell y Soniat (1981)

A partir de los cálculos de balance másico de nitrógeno y fósforo, se determinó la “carga crítica” de los estuarios en estudio, definida en base a los conceptos de Vollenweider (1976) como la máxima concentración de nutrientes que un estuario puede soportar sin alterar su estado de trofia.

$$L_c = K * q_s * \left(1 + \sqrt{\frac{z}{q_s}}\right) \quad (\text{en mg m}^{-2} \text{ año}^{-1})$$

donde, K es el valor máximo de fósforo para mantener al cuerpo de agua oligotrófico; z es la profundidad media del cuerpo de agua y $q_s = \frac{z}{t\omega}$, siendo $t\omega$ la renovación total teórica.

Debido a que este estudio se realiza en estuarios que no constituyen sistemas cerrados, para evaluar la carga en términos de máximo stock de especies hidrobiológicas cultivables, se debe considerar variables indicadoras que permitan evaluar el estado de trofia.

Se considera como variables relevantes para la caracterización del nivel de eutroficación las siguientes: a) hidrobiológicas como la claridad del agua, oxígeno (hipoxia/anoxia), condición de la vegetación acuática sumergida, blooms algales mono-específicos y alteraciones tróficas, la concentración potencial de nutrientes disueltos (CPND), la razón Nitrógeno:Fósforo (N:P) y b) indicadores biológicos.

Claridad del agua. Es función de la cantidad y calidad espectral de la luz en el ambiente acuático. Procesos de enriquecimiento de nutrientes afectan la claridad a través de la promoción de crecimiento de fitoplancton y acumulación de biomasa. Bajo altos niveles de biomasa fitoplanctónica, las condiciones de baja transparencia favorecen selectivamente el desarrollo de especies algales adaptadas a concentraciones bajas de luz o que tienen movilidad y/o despliegan mecanismos de boyantez o adaptaciones morfológicas para mantenerse cerca de la superficie del agua. Así estas especies prácticamente eliminan a las algas bénticas y a las poblaciones de plantas vasculares. A menudo estas especies no son fácilmente consumidas por el zooplancton o por peces planctívoros, ocasionándoles en algunos casos oclusiones branquiales. Esto implica una deriva trófica hacia un estado de monocultivo en un sistema dominado por algas. En estos casos, el carbono orgánico es disuelto microbially, dando lugar a condiciones de hipoxia/anoxia y acumulación de materia orgánica en los sedimentos. La transparencia del agua debe ser a su vez medida utilizando el coeficiente difuso de atenuación de la luz (K_d) y así relacionar esta cantidad con los parámetros de calidad del agua y finalmente evaluar el potencial para producir fotosíntesis.

Hipoxia/Anoxia. La concentración de oxígeno disuelto es uno de los criterios más utilizados para evaluar la eutroficación en estuarios y aguas costeras. El criterio establecido para el contenido de oxígeno disuelto en el ambiente estuarial se basa en los niveles letales de oxígeno para peces de agua dulce (USEPA 1986). Este criterio estipula 30 días con mínimas entre 6,5 y 5.5 mg/L, y define niveles críticos de 1 día de mínima de 4,0 mg/L para estuarios de ambientes templados.

La concentración potencial de nutrientes disueltos (CPND) se determina similar a la formulación existente para lagos según Vollenweider (1976). Quinn et al. (1989) propusieron la CPND como un índice de la susceptibilidad de un ambiente estuarino a la eutroficación. Para comparación, la CPND utiliza una constante de carga de $L=10.000$ ton/año, de tal forma que las diferencias físicas intrínsecas entre estuarios puedan ser evaluadas (i.e., la habilidad de fluir). Para evaluación del estado de un estuario individual y la clasificación relativa del impacto de su carga de nutrientes, los valores de carga actuales son medidos como W según:

$$CPND = (W / Q_{ad}) (V_{ad} / V_{tot})$$

dond
e

W = tasa de carga de nutriente ($kg\ d^{-1}$),

V_{ad} = volumen de agua dulce en el estuario (m^3),

$$Q_a = \text{tasa de ingreso de agua dulce (m}^3 \text{ d}^{-1}\text{), y}$$
$$V_{\text{tot}} = \text{volumen total en el estuario (m}^3\text{).}$$

Valores anuales promedio son utilizados para los flujos y volúmenes involucrados y en esencia la CPND es un factor de carga ponderado por el volumen total y el tiempo de residencia del agua dulce. Estos autores han establecido distintos ordenes de magnitud para evaluar el impacto potencial del enriquecimiento: bajo (0,01-0,10 mg/l, medio (0,1-1,0 mg/l) y alto (1,0-10 mg/l). Las limitaciones de este índice es que (1) se asume una conducta conservativa de los elementos nutrientes bioactivos; (2) los nutrientes provenientes del océano son despreciados; (3) se asume que las aguas en el estuario se encuentran verticalmente homogéneas; (4) se ignora la variabilidad (estacional, aperiódica) en las descargas; y (5) para ser aplicable requiere de un gradiente de salinidad con respecto a la fuente de agua de mar.

Para estuarios americanos la NOAA a través del inventario nacional de estuarios (NEI) sugiere la siguiente clasificación de concentraciones de nutrientes; sin embargo, se debe tener en consideración para su uso el grado de reciclaje dentro de un estuario, lo que puede ser muy dinámico:

Nitrógeno: baja (<0,1 mg/l), media (0,1-1,0 mg /l), alta (>1,0 mg/l)

Fósforo: baja (<0,01 mg/l), media (0,01-0,10 mg/l), alta (>0,10 mg/l)

La razón N:P es otro indicador propuesto para evaluar el enriquecimiento potencial. Ambos nutrientes son incorporados por las algas en una razón aproximadamente constante de 16 átomos de N por 1 átomo de P, lo que en peso representa 7,2:1 N:P. El rango práctico se ubica entre 10 y 20 (Boynton et al., 1995; USEPA, 1985). Aguas con concentraciones donde la razón es < 10:1 N:P tienen insuficiente nitrógeno disponible para ser incorporado por las algas, siendo éste limitante; mientras que cuando la razón es >20:1, ocurre lo contrario y el fósforo actúa como limitante.

Indicadores biológicos. Este constituye un compartimiento difícil de interpretar debido a la dinámica de los estuarios y a la necesidad de extensas series de seguimiento a través del tiempo (décadas o más años). Indicadores son la biomasa y composición de organismos bentónicos, la abundancia de larvas de peces, la composición de algas y zooplancton, los que junto a los peces constituyen organismos terminales que pueden verse afectados a cambios en las concentraciones de nutrientes y en el oxígeno disuelto. El uso de estos indicadores constituye un vínculo fundamental entre la calidad del agua y la calidad del hábitat, ya sea a través de un mantenimiento de poblaciones de algas beneficiosas, una fauna bentónica saludable (en términos de diversidad, composición y abundancia) y adecuados niveles de stocks comerciales y recreacionales.

12. APLICACIÓN DE UN MÉTODO MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS APTOS PARA LA ACUICULTURA

En el siguiente capítulo se indica la metodología utilizada para la aplicación de un método multicriterio para la selección de sitios aptos para la acuicultura en los dos estuarios en estudio. La aplicación de este método representa un ejercicio de cálculo de una nueva herramienta que integra múltiples factores y los analiza integralmente. Para lograr una mejor precisión en la aplicación de este método se debe disponer de los antecedentes biológicos de las especies consideradas para el cultivo en las condiciones particulares del lugar geográfico de estudio. Esto es necesario, ya que la información bibliográfica disponible, como es el caso del presente estudio, generalmente considera información biológica de otras latitudes, las que no necesariamente reflejan las condiciones del lugar de estudio.

12.1 Metodología

Con la información recolectada en terreno se elaboró una base de datos digital de parámetros ambientales para el área de estudio considerando variables como: temperatura del agua, salinidad, oxígeno disuelto, corrientes, batimetría, tipo de fondo, etc. A partir de la información discreta de las estaciones de muestreo se generaron layers o planos de información digital para toda el área de estudio a través del método de interpolación IDW en el módulo Spatial Analyst del SIG ArcView (ESRI, 1996).

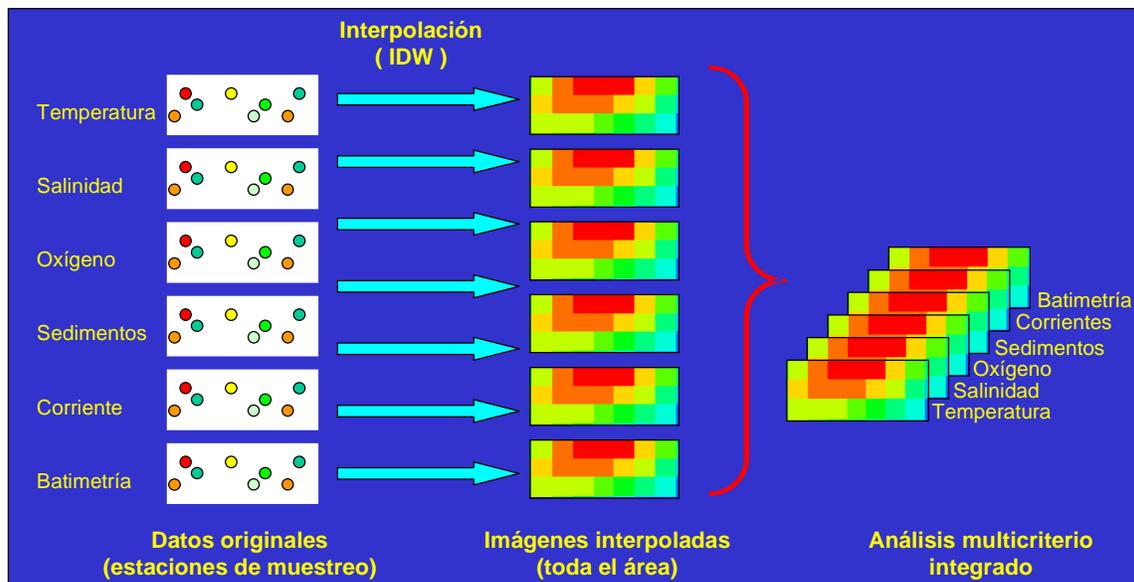


Figura 1.12.1. Esquema del procedimiento utilizado para el ingreso de la información al análisis multicriterio.

Del análisis integrado de las variables físicas, químicas y oceanográficas se seleccionaron los parámetros que a juicio del grupo de trabajo y basado en la bibliografía disponible, son aquellos más críticos para la determinación de los sitios más favorables para el establecimiento de actividades de acuicultura. Del mismo modo, y producto de la importancia que representa se consideró el efecto mareal dentro del análisis. Por otra parte, de los resultados de la sección de hidrografía se estableció la presencia de dos capas de aguas claramente definidas, una superficial y una de fondo, condición que también fue considerado para el análisis. El resumen de los factores considerados se muestran en la Tabla 1.12.1.

Para determinar la aptitud de cultivo, se realizó una evaluación multicriterio, pensado como la elección entre varias alternativas basándose en la combinación de una serie de criterios en función de un objetivo específico (Silva et al., 1999). Para ello, se consideraron las limitaciones o restricciones de los parámetros ambientales más determinantes que regulan los cultivos de varias especies acuícolas. La elección de las especies se basó en aquellas que tradicionalmente son las más utilizadas en cultivos en esa zona, no considerándose otras especies que no han sido cultivadas, lo que no implica que pueda ser factible su cultivo en las regiones de este estudio. Las especies consideradas en este análisis son: Salmónidos, mitílicos (Chorito y Choro zapato) y algas (Pelillo), Tabla 1.12.2.

Mediante este tipo de evaluación las imágenes o layers de los criterios que definen la idoneidad, son combinadas asignándoles a cada una un peso específico para generar un mapa de aptitud, a partir del cual se realizará la selección final (Silva et al., 1999). Por lo tanto, a cada parámetro se le asignó un valor de aptitud (entre 0 y 100) en función del rango óptimo para el desarrollo de cada especie. Una de las modalidades utilizadas es la de aptitud simétrica, lo que significa que el valor de aptitud se incrementa linealmente entre A y B y decrece linealmente entre C y D. El rango de valores entre B y C recibe un valor máximo de aptitud (100) y valores menores a A o mayores a D reciben un valor mínimo de aptitud (0), como se muestra ejemplifica en la Figura 1.12.2.

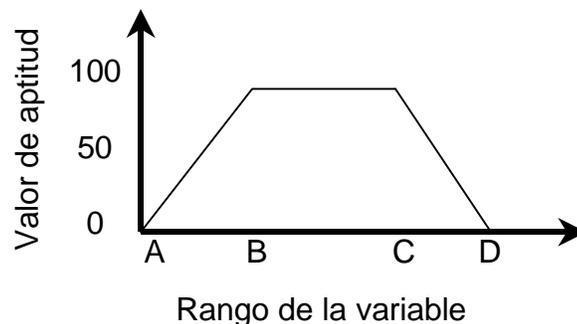


Figura 1.12.2. Modalidad simétrica de asignación de rangos de aptitud utilizado en el análisis multicriterio.

Para el análisis de multicriterio se utilizó la extensión MCDM (Multi-Criteria Decision Making) para el SIG ArcView. Este utilitario permite la selección de los diferentes criterios ambientales y además permite la

asignación de pesos (entre 0 y 100) a cada uno de ellos, en función de la importancia de cada parámetro, para obtener finalmente un mapa de aptitud (Esri, 1996).

Tabla 1.12.1 Resumen de los parámetros considerados en la aplicación del método multicriterio.

Parámetro	Llenante		Vaciante	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Oxígeno disuelto	✓	✓	✓	✓
Temperatura	✓	✓	✓	✓
Salinidad	✓	✓	✓	✓
Corrientes			✓	
Tipo de fondo			✓	
Batimetría			✓	

Tabla 1.12.2. Valoración de las principales variables para la selección de distritos aptos para cultivos de salmónidos, mitílidos y algas. (Elaborado a partir de Alveal, 1990; Becerra et al, 1986; Cachafeiro & Carmen, 1995; De Oliveira & Plastino, 1994; IFOP, 2000; Pérez, 1991 y Silva et al., 1999).

Especie	Variable	Rango	Valor
Salmónidos	Temperatura (°C)	< 20	100
		20-22	50
		> 22	0
	Oxígeno Disuelto (mg/l)	>6	100
		0-6	0
Salinidad (psu)	24-35	100	
	18-24	50	
	<18	0	
Batimetría (m)	<3	0	
	3-10	100	
	>10	0	
Mytilus chilensis (Chorito)	Temperatura (°C)	<3	0
		3-20	100
		>20	0
	Salinidad	1-34.7	100
		>34.7	0
	Batimetría (m) (sistema de cultivo)	<7	0
7-13		100	
>14		0	
Choromytilus chorus (Chorozapato)	Temperatura (°C)	<8	0
		8-15	100
		>15	0
	Salinidad (psu)	1.8-33	100
>33		0	

	Profundidad (m)	<7 7-13 >14	0 100 0	
Gracilaria spp. (Pelillo)	Temperatura (°C)	<17 17-20 >20	0 100 0	
		Salinidad	0-25 25-35 >35	0 100 0
			Batimetría (m)	<3 3-6 >6
	Sedimentos (phi)			-4-0 0-5 >5
		Corrientes (cm/s)		<7.5 7.5 >7.5

Finalmente y de modo de complementar los resultados emanados de la determinación de los sitios aptos para la acuicultura, se consideró necesario incorporar dos fuentes adicionales de información:

Información de las concesiones actualmente otorgadas para ambos estuarios, obtenida desde los archivos del Servicio Nacional de Pesca de Valdivia y que se resume en las Tabla 1.12.3 y 1.12.4.

Áreas apropiadas para el ejercicio de la acuicultura en la X Región, establecidas mediante el decreto N° 371 de agosto de 1993, por la Subsecretaría de Pesca. En este documento se precisó las áreas aptas en la región del estuario del Río Valdivia, sin embargo, el estuario del río Bueno, no fue considerado, por tanto en la práctica no existe una determinación de cuales son las áreas aptas para esta actividad.

Tabla 1.12.3. Concesiones de acuicultura otorgadas para el sector del estuario del río Bueno (fuente Sernapesca Valdivia).

Razón social	Sector	Especie	Fecha
Piscicultura del Rio Bueno S.A.	Los Patos	O.mykiss	1995
Piscicultura del Rio Bueno S.A.	Los Patos 2	O.mykiss	1995
Piscicultura del Rio Bueno S.A.	Río Molino	O.mykiss	1995
Piscicultura del Rio Bueno S.A.	La Goleta	O.mykiss	1995
Piscicultura del Rio Bueno S.A.	El Manzanito	O.mykiss	1995

Tabla 1.12.4. Concesiones de acuicultura otorgadas para el sector del estuario del río Valdivia (fuente Sernapesca, Valdivia).

Razón social	Especie	Fecha
Sector Tornagaleones		
Soto Risco Marianella Elizabeth	Choro zapato y chorito	1995
Flores Soto Jose Eduardo	Choro zapato y chorito	1996
Lagos Flores Luis Eliseo	Choro zapato y chorito	1982
Granja Marina Tornagaleones Ltda.	Chorito, choro zapato, gracillaria y salmonideos	1989
Flores Carvajal Jaime Patricio	Gracillaria	1999
Centro de Cultivos Marinos Isla del Rey Ltda.	Gracillaria, Chorito, Ostra Japonesa	1989
Sindicato Pescadores Isla del Rey	Choro y chorito	1999
Sector Corral		
Alimentos Frescos Naturales S.A.	Salmonideos S.coho, S.salar, Trucha	1996
Sin.Trab. Indep. Pesc. Art. Buzos y Act. Similares del Balneario de Niebla	Gracillaria spp.	2000
Sin.Trab. Indep. Pesc. Art. Buzos y Act. Conexas de Isla Mancera	Gracillaria, Choro zapato	1990
Pino Díaz Luis Daniel	Gracillaria, choro zapato y chorito	1986
Sector Ensa. San Juan		
Federación Provincial de Pescadores Artesanales, Buzos Mariscadores, Algueros y Actividades Similares del Sur.	Gracillaria, Choromytilus chorus (choro zapato); Choromytilus chilensis (chorito)	1991
Sandoval Ordenes Guillermo Patricio	Algas	1985
Barrientos Jerez Miguel Ángel	Choro zapato y Chorito	1996
Sector Río Valdivia		
Oñate Barruel Arnoldo Claudio	Mitílidos	1999
Medina Delgado César Osvaldo	Mitílidos	1998
Pesquera Mar-Cud Ltda.	Chorito y choro	1995
Muñoz Alvarez Eleazar	Chorito y choro	1994
Muñoz Alvarez Daniel	Chorito y choro	1996
S/N	Chorito y choro	1995

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS

- Alveal, K. 1990. Primer Seminario Latinoamericano de capacitación pesquera: Algas Marinas. Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo (CIID), Universidad de Concepción y Programa de Asistencia e Investigación Social. 153 p.
- Arcos, D., R. Ahumada, J. Castillo, M. Canales, S. Figueroa, L. Furet, S. Núñez, P. Vergara & A. Urrutia. 1998. Estudio de Impacto Ambiental. Planta elaboradora de harina y aceite de pescado. Tripesca S.A., Corral-X Región. Junio de 1998.
- Arcos, D., J. Castillo, M. Canales, S. Figueroa, L. Furet, S. Núñez & J. Ortiz. 1999. Campaña complementaria de invierno. Caracterización del cuerpo de agua receptor. Bahía Corral-X Región. Instituto de Investigación Pesquera-Tripesca S.A., Noviembre de 1999.
- Arcos, D. & M. Salamanca. 1989. Descripción de las condiciones oceanográficas del río Valdivia. Anales Jornadas de Ciencias del Mar, 9:154
- Becerra, R., A. Poblete, J. Ledermann, M. Véliz & M. Seguel. 1986. Cultivos Marinos: Antecedentes para una transferencia de tecnología hacia el subsector pesquero artesanal. En: Pesca Artesanal, Tecnología y Desarrollo. Alberto Arrizaga M. (ed.) Pontificia Universidad Católica de Chile. Sede Talcahuano. pp. 55-86.
- Biggs, R. B., T. B. De Moss, M. M. Carter and E. L. Beasley. 1989. Susceptibility of U. S. estuaries pollution. Rev. Aquat. Sci. 1: 189 pp.
- Buchanan, D.F. 1971. Measurement of the physical and chemical environment. In: N.A. Holmes & N.A. McIntyre, eds., Methods for the study of the marine benthos. Balckwell, Oxford: 30-52.
- Bodungen B. v., M. Wunsch & H. Fürderer (1991) Sampling and analysis of suspended and sinking particles in the Northern North Atlantic. In: Marine Particles: Analysis and Characterization. Geophysical Monograph 63. American Geophysical Union, pp. 47-56.
- Cachafeiro, B. & M. Carmen. 1995. La trucha: cria industrial. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. Segunda Edición
- Campos, H. 1973. Migration of *Galaxias maculatum* (Jenyns) (Galaxiidae, Pisces) in Valdivia Estuary, Chile. Hydrobiology 43: 301-312.
- Campos, H. 1985. Distribution of the fishes in the andean rivers in the South of Chile. Archives of Hydrobiology 104: 169-191.
- Campos, C.H. y C.A. Moreno. 1985. Asociación de peces en estuarios chilenos. Pacífico Sur Americano. En: Yáñez-Arancibia (Ed.), Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards and Ecosystem Integration. DR (R) UNAM Press, México 1985, 654p.

- Conaf, 1997. Catastro del Bosque Nativo. Informe final proyecto Fondef
- Darnell, R. M. and T. M. Soniat 1981. Nutrient enrichment and estuarine health, p. 225-245. In B. J. Neilson and L. E. Cronin (eds.), *Estuaries and Nutrients*. The Humana Press, Clifton, New Jersey.
- De Oliveira, E. & E. Plastino. 1994. Gracilariaceae. In: *Biology of Economic Algae*. I. Akatsuka (ed). SPB Academic Publishing bv. pp 185-226
- Dyer, K.R. 1997. *Estuaries: A physical introduction*. Second Edition. John Wiley & Sons Ltd. England. 195 p.
- ESRI, 1990. *Understanding GIS The Arc/INFO Method*. Environmental Research Institute. 407 p.
- ESRI. 1996. *ArcView Spatial Analyst. Advanced Spatial Analysis Using Raster and Vector Data. Using the Arcview Spatial Analyst*. Environmental Systems Research Institute, Inc. USA. 146 p.
- Gade, H. G. 1982. *Estuaries and fjords. Pollutant transfer and transport in the sea*. Vol. 2.
- Garvine, R. W. 1977. Observations of the motion field of the Connecticut river plume. *J. Geophys. Res.* 82:441-454.
- Greenberg, A. E., L. S. Clescerl & A. D. Elatn. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th Ed.
- Griffiths, F.B., G.H. Brown, D.D. Ried & R.R. Parker. 1984. Estimation of sample zooplankton abundance from Folsom splitter sub-samples. *J. Plank. Res.*, 6(5):721-731.
- Gordon, Jr., D. C., P. R. Boudreau, K. H. Mann, J.-E. Ong, W. L. Silvert, S. V. Smith, G. Wattayakorn, F. Wulff and T. Yanagi, 1996. *LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines*. LOICZ Reports & Studies No 5, 1-96.
- Gundersen K. (1991) Sampling precision and preservation of sediment trap material. In: Wassman P., A.-S. Heiskanen & O. Lindahl (eds.) *Sediment trap studies in the Nordic Countries*. Vol. 2 Kristineberg Marine Biological Station, Sweden, pp. 6-35.
- Gunter, G. 1967. Some relationships of estuaries to the fisheries of the Gulf of Mexico. In: *Estuaries* (Publication No. 83) (Ed: Lauff, G.H., American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C. pp. 621-638.
- Haith, D. A. and L. L. Shoemaker. 1987. Generalized watershed loading functions for stream flow nutrients. *Water Resources Bulletin* 23:471-478.

- Hebbeln D. & G. Wefer (1989) Particle sedimentation in polar oceans: Preservation problems. In: U. S. Global Ocean Flux Study: Sediment Trap Technology and Sampling. U. S. GOFS Planing. Report N°10, pp 74-76.
- IFOP. 2000. Curso Cultivo de choritos en la zona sur de Chile. En: Innovaciones en la tecnología de cultivo de chorito (*Mytilus chilensis*), tendientes a mejorar la calidad y rentabilidad de la actividad mitícola en la X Región. Proyecto FDI CORFO. División de Acuicultura. Junio 2000. 25 p
- Ingram, R. G. 1981. Characteristics of The Great Whales river plume. J. Geophys. Res. 86:2017-2023.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 1997. The Fishing technology manual, a basic outline of fishing gears and methods. Kanagawa International Fisheries Training Centre, 327 pp.
- Joost, H. 1997. Presencia de criaderos naturales de peces en las riberas del complejo estuarinol Valdivia-Tornagaleones. Tesis Lic. Biol. Mar., Escuela de Biología Marina, Universidad Austral de Chile, 62 pp.
- Kennish, M. J. 1992. Ecology of estuaries: anthropogenic effects, CRC Press, London, 494 pp.
- McHugh, J.L. 1967. Estuarine nekton, pp. 581-691. In G.H. Laurff (ed.), Estuaries. American Association for the Advancement of Science, Special Publication 83.
- Meaden, G. J. Y T. Do Chi. 1996. Geographical information systems: applications to marine fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. N° 356. 335 p.
- Niemeyer, H. & P. Cereceda. 1984. Hidrografía. En Instituto Geográfico Militar. Colección Geografía de Chile. Tomo VIII, 320 p.
- Parsons, T., Y. Maita & C. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon press, 172 p.
- Peet, R.K., 1974. The measurement of species diversity. Annual Review of Ecology and Systematics, 5: 285-307.
- Pérez Camacho, A. 1991. Cultivo de mejillón en batea. Consellería de Pesca, Marisqueo e Acuicultura. Xunta de Galicia. 30 p.
- Pethick, J. 1984. An introduction to coastal geomorphology. London, Arnold
- Pettijohn, F.J.; P: E. Potter & R. Siever. 1973. Sand and sandstone. Springer-Verlag, Berlín, 619 pp+16.

- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 13: 131-144.
- Pino, M., G. Perillo & P. Santamarina. 1994. Residual fluxes in a cross-section of the Valdivia river estuary, Chile. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 38:491-505.
- Pritchard, D. W. 1967. What is an estuary: a physical viewpoint. In: *Estuaries*(G. H. Lauf, ed.) Pub. N° 83, AAAS, Washington, D.C. pp 3-5.
- Reineck, H.E. and I.B.Singh. 1980. *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 439 pp
- Silva, C. G., R. Olivari, G. Yany. 1999. Determinación de distritos de aptitud acuícola mediante la aplicación de sistemas de información geográfica. *Investigaciones Marinas, Valparaíso*, N° 27:93-99.
- Shuttleworth, W.J. 1993. Evaporation, Ch.4, In D.R. Maidment (ed.), Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, New York
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163; 688.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf. 1981. *Biometry - the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman, San Francisco. 776 págs.
- Thiel, R. 1991. Stoff- und Energieumsatz del Jung- und Kleinfische in Boddengewässern der südlichen Ostsee. *Arbeiten des Deutschen Fischereiverbands* 52: 45-60.
- Thiel, R., A. Sepúlveda, R. Kafemann and W. Nellen. 1995. Environmental factors as forces structuring the fish community of the Elbe Estuary. *J. Fish. Biol.* 46: 47-69.
- Utermöhl, H. 1958. Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Verhandlungen der internationalen vereinigung für theoretische und angewandte limnologie*, 9:1-38.
- Vollenweider, R. A. 1968. *Fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication*. Tech. Rep. DAS/CSE/68.27, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 250 pp.