

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**MODELO CONCEPTUAL DE LOS APORTES DE MATERIA ORGÁNICA EN EL
FIORDO AYSÉN BAJO UN ENFOQUE ECOSISTÉMICO**

DIEGO ORELLANA MONTECINO

Santiago, Chile. 2006

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

**MODELO CONCEPTUAL DE LOS APORTES DE MATERIA ORGÁNICA EN EL
FIORDO AYSÉN BAJO UN ENFOQUE ECOSISTÉMICO**

Memoria para optar al Título Profesional de
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

Diego Orellana Montecino

Profesor Guía

Calificaciones

Sra. Vivian Montecino Banderet
Prof. de Biología y Ciencias Naturales

6.5

Profesores Consejeros

Sr. Fernando Santibáñez Quezada.
Ingeniero Agrónomo
Dr. En Climatología, PhD

5.5

Sr. Roberto Neira Roa.
Ingeniero Agrónomo
PhD en Genética

6.0

Santiago, Chile

2006

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todos aquellos que me han ayudado durante mis estudios y a quienes han contribuido de alguna u otra forma a la realización de la presente memoria:

A mis padres, hermanos y al resto de mi familia que me ha apoyado.

A mi profesora guía Vivian Montecino por su ayuda, su paciencia y por la oportunidad de desarrollar esta memoria en su laboratorio en el departamento de ciencias ecológicas.

A mis profesores consejeros Fernando Santibáñez y Roberto Neira por sus observaciones y correcciones.

Al profesor Luís Morales por su ayuda y supervisión en el desarrollo del modelo Stella.

Al profesor Víctor Marín por ayuda, sus seminarios y sus aportes en material bibliográfico.

A mi amigo Manuel Vial por su constante ayuda y por prestarme la impresora, hubiera sido imposible darle punto final a esta memoria sin sus consejos.

A mis amigos con los que he compartido estos años de estudio.

A la Universidad de Chile y al Departamento de Ciencias Ambientales.

Finalmente al Comité Oceanográfico Nacional por haberme otorgado la beca que me permitió desarrollar este trabajo y por permitir el acceso a la base de datos CIMAR-fiordos.

Índice

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	1
3. INTRODUCCIÓN	2
4. OBJETIVOS	4
4.1 <i>OBJETIVO GENERAL</i>	5
4.2 <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	5
5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
5.1 PROBLEMÁTICA GENERAL.....	6
5.2 ENFOQUE DE SISTEMAS.....	6
5.3 EL CONCEPTO DE ECOSISTEMA.....	8
5.4 ECOLOGÍA DE ECOSISTEMAS.....	8
5.5 LA APROXIMACIÓN PROCESO FUNCIONAL AL ESTUDIO ECOSISTÉMICO.....	9
5.6 LA MATERIA ORGÁNICA, DEFINICIÓN E IMPORTANCIA.....	9
5.7 EL ECOSISTEMA FIORDO AYSÉN Y SU ENTORNO.....	11
5.8 ENTIDAD DE ESTUDIO Y SU DELIMITACIÓN.....	12
5.9 MODELOS CONCEPTUALES Y DINÁMICOS.....	12
5.10 USO DE LOS MODELOS ECOSISTÉMICOS.....	14
6. MATERIALES Y MÉTODO	14
6.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	15
6.2 MATERIALES.....	17
6.3 METODOLOGÍA.....	17
<i>Delimitación del “ecosistema fiordo Aysén”</i>	17
<i>Selección de los principales tipos de componentes: silvestres, antrópicos, geomorfológicos y geográficos del “ecosistema fiordo Aysén”</i>	18
<i>Caracterizar y dimensionar las principales interacciones entre los componentes seleccionados tanto acuáticos como terrestres</i>	19
<i>Diagrama y representación de los aportes de materia orgánica entre los principales reservorios</i>	20
7. RESULTADOS	21
7.1 DELIMITACIÓN.....	21
7.2 PRINCIPALES COMPONENTES SILVESTRES, ANTRÓPICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y GEOGRÁFICOS.....	23
<i>Componentes Silvestres</i>	24
<i>Componentes Antrópicos</i>	25
<i>Componentes Geomorfológicos y Geográficos</i>	26
7.3 EL MODELO CONCEPTUAL.....	27
7.4 PRINCIPALES INTERACCIONES ENTRE LOS COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES DEL ECOSISTEMA FIORDO AYSÉN PROPUESTOS EN EL MODELO CONCEPTUAL TANTO EN AMBIENTES ACUÁTICOS COMO TERRESTRES.....	28
7.5 REPRESENTACIÓN DINÁMICA DEL “ECOSISTEMA FIORDO AYSÉN”.....	30
8. DISCUSIÓN	33
8.1 DISCUSIÓN DE LAS BASES TEÓRICAS.....	33
8.2 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	35

9. CONCLUSIONES.....	39
10. BIBLIOGRAFÍA.....	40
11. ANEXOS Y FIGURAS	45
ANEXO 1	45
ANEXO 2	47
ANEXO 3	47
ANEXO 4	49
ANEXO 5	49
ANEXO 6	50
ANEXO 7	50

1. RESUMEN

Se propone un modelo conceptual centrado en los flujos acuáticos transportadores de materia orgánica al fiordo Aysén, aplicando el enfoque ecosistémico, el cual simplifica su inherente complejidad. Para la delimitación del “ecosistema fiordo-Aysén” se generó en primer lugar la pregunta ¿Cómo se producen los aportes de materia orgánica (variable de estado)? Así los límites tangibles del ecosistema se establecieron básicamente por los flujos de agua, los procesos y los mecanismos de transporte de la materia orgánica utilizando los siguientes criterios: cuenca hidrográfica, batimetría y oceanografía del fiordo.

Para definir los componentes y las interacciones entre ellos, se realizó una revisión bibliográfica y una visita al sector. Los componentes fueron seleccionados por su importancia cuantitativa en los aportes de materia orgánica y las interacciones fueron establecidas según los principales procesos a los cuales se ve sometida la materia orgánica en los ingresos, egresos y transformaciones en el “ecosistema fiordo-Aysén”.

En el modelo del “ecosistema fiordo Aysén” los aportes directos mas importantes a la columna de agua fueron el fitoplancton, los ríos que traen todo el material de los suelos-bosques, el material desaguado por las ciudades y los centros de cultivos. Aún cuando los componentes antropogénicos en el fiordo Aysén aportarían menor cantidad de materia orgánica en comparación con los componentes silvestres (fitoplancton y suelo-bosques), tienen su mayor influencia en la cabeza del fiordo (bahía de Chacabuco).

Aún cuando esta aproximación incluyó al hombre en su interacción con la naturaleza como parte esencial, los usuarios no fueron directamente involucrados. Esto es necesario para que los modelos ecosistémicos sean relevantes y respetados por los entes sociales. El modelo conceptual desarrollado es la base para diseñar un próximo estudio, ahora de manera cuantitativa, siendo para ello necesario contar con las tasas de aportes de la variable de estado.

2. ABSTRACT

A conceptual model about the organic matter transport to the Aysen fiord is proposed. An ecosystem approach was applied to simplify the inherent complexity of the bio-physic processes on the aquatic fluxes. To determine the boundary of the "ecosystem fiord-Aysen" the question how do the organic matter (variable of state) contributions take place? was generated in the first place. Thus the tangible limits of the ecosystem settled down basically by the water flows, the processes and the organic matter transport mechanisms using the following criteria: hydro graphic river basin, bathymetry and oceanography of the fiord.

In order to define the components and the interactions among them, a bibliographical review and a field visit were made. The components were selected by the importance of their quantitative contribution of organic matter, and the interactions were established according to the main processes in which the organic matter participates in the inputs, outputs and transformations in the "ecosystem fiord-Aysen".

In the model "ecosystem Aysen fiord" the most important direct contributions to the water column were phytoplankton, rivers that bring material of the ground-forests, the material drained by the cities and the aquiculture centers. Even though the anthropogenic components in the Aysen fiord would contribute to minor amount of organic matter in comparison with the wild components (phytoplankton and ground-forests), they have their greater influence in the head of the fiord (bay of Chacabuco).

Even though this approach included man in its interaction with the nature like essential part, the users directly were not involved. This is necessary so that the ecosystem models are relevant and respected by the social beings. The developed conceptual model is the base to design a next study, now in a quantitative way, being it necessary to count on the rates of contributions of the state variable.

3. INTRODUCCIÓN

Por su naturaleza los estudios al nivel de ecosistema son complejos. Esta característica dificulta la descripción de sus interacciones, ciclos biogeoquímicos y procesos, por lo que es indispensable su simplificación para su estudio. El esfuerzo en esa dirección comienza con la visión de los naturalistas y la definición de ecosistema en el sentido físico que le da Tansley en 1935. Como resultado de este nuevo concepto, muchos investigadores abordan la definición de ecosistema y realizan proposiciones para su estudio. En general, la ciencia ha tenido una visión reduccionista al abordar estos estudios y es aquí que es aconsejable mirar de otra forma la naturaleza considerando la unidad del todo que se quiere analizar y no definirlo desde cada una de las partes que lo compone.

El presente trabajo consiste en describir y aplicar el enfoque ecosistémico que sigue las bases del análisis de sistemas. Para delimitar un ecosistema de forma holística e integral, lo que interesa es seleccionar los criterios para abordar el problema y la pregunta planteada. En consecuencia el primer proceso a realizar es una buena descripción cualitativa del ecosistema que permita seleccionar los componentes más importantes y así observar, describir y analizar de qué forma interactúan.

Otro factor de interés en esta memoria, es la creciente importancia de la influencia antrópica en los sistemas naturales en todo el planeta. La forma correcta de incorporar esta perspectiva es considerar al hombre como un elemento constitutivo, como es el caso de los estudios de ecología de ecosistemas. Este ensayo es un ejemplo concreto de cómo es posible abordar este tema.

Para esto se definió un área de estudio, correspondiente al sector del fiordo Aysén. Esto debido a que la zona se ha mantenido relativamente prístina y recién en los últimos 30-40 años la actividad antrópica se ha incrementado y diversificado. Entre otras, comenzó una fuerte actividad acuícola en el sector y se originó el problema con la planta de aluminio ALUMISA. La participación ciudadana arrojó como resultado que la ciudadanía prefería el crecimiento económico a la conservación. Es así como la ciudad de Puerto Aysén ha crecido desde 1990 y Puerto Chacabuco tiene una creciente actividad industrial. Anteriormente en esta zona eran la actividad pesquera y la actividad silvo-agropecuaria las

más importantes para la población (CONAMA 2001). Este memorista corroboró directamente, durante su estadía en terreno, las apreciaciones anteriores por parte de trabajadores locales con respecto a esta preferencia por el desarrollo económico.

Con todos estos elementos se propone un enfoque ecosistémico que incluye explícitamente el componente antrópico en su interacción con este ambiente, centrando este estudio en los flujos hídricos transportadores de materia orgánica como el foco de interés. Se toma en cuenta la materia orgánica como variable de estado ya que tanto el ser humano como el medio la producen y es una forma de unión entre todos los componentes.

4. OBJETIVOS

4.1 *Objetivo general*

Diseño de un modelo conceptual sobre los componentes, sus interacciones y los flujos de la materia orgánica en el fiordo Aysén utilizando un enfoque ecosistémico.

4.2 *Objetivos específicos*

El cumplimiento del objetivo general requiere de los siguientes objetivos específicos:

- Delimitar el “ecosistema fiordo Aysén”.
- Seleccionar los principales tipos de componentes: silvestres, antrópicos, geomorfológicos y geográficos del “fiordo Aysén”.
- Desarrollar un modelo conceptual para el “ecosistema fiordo Aysén”.
- Caracterizar y dimensionar las principales interacciones entre los componentes seleccionados tanto acuáticos como terrestres.

5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

5.1 *Problemática general.*

En los tiempos actuales, la influencia antrópica en los sistemas naturales es evidente en todo el planeta. Las relaciones entre sociedad y naturaleza son complejas y están caracterizadas por dinámicas e interacciones que no permiten una separación clara entre los fenómenos sociales y biogeofísicos involucrados, por lo que se requiere la conjunción del conocimiento de variadas disciplinas para la comprensión y solución de los problemas ambientales (Kinzig, 2001).

Se conoce hoy que el 75% de los ecosistemas acuáticos, descontando las áreas no habitadas, están bajo perturbación (Mac Mahon, 1998). En este contexto, sería importante evaluar si los fiordos y canales australes constituyen ambientes prístinos, alterados o en peligro de eutrofización (Ryding y Rast, 1989).

Un modelo conceptual permite organizar la información y es una simplificación de la realidad.

5.2 *Enfoque de sistemas.*

Durante muchas décadas el hombre ha intentado resolver estos problemas con una visión reduccionista, es decir, aproximarse a la naturaleza y sus fenómenos a través de separar el sistema en sus varios componentes y analizarlos por parte (Ureta, 2004). La intención de este trabajo es introducir otra forma de realizar estos estudios, mirando un lugar de interés como un todo, de forma holística y sistémica, analizando las relaciones e interacciones entre los componentes biológicos y no biológicos lo que llevará al enfoque ecosistémico (Maass y Martínez, 1990). El estudio de los ecosistemas requiere de distintas herramientas usadas en estudios de sistemas complejos (Termodinámica, Biogeoquímica, Teoría de sistemas, etc.) (Serey y Montecino, 2004).

En primer lugar es necesario analizar cuáles son los atributos de un ecosistema: un ecosistema es un sistema abierto (con entradas y salidas), el cual posee componentes bióticos y abióticos. Estos componentes poseen interacciones de una manera compleja, las cuáles se pueden simplificar observando las influencias (positivas o negativas) de unos sobre otros (Ford, 1999). Los componentes bióticos y abióticos interactúan intrínsecamente entre si. Sus componentes se autorregulan para mantener cierta estructura y organización que permita su existencia. Esto se refiere a que posee una retroalimentación desde el punto de vista termodinámico. Un ecosistema es un sistema funcional biológico, es decir que los componentes bióticos (organismos) y los componentes abióticos (agua, gases, etc.) interactúan entre si a través de un intercambio de materia y energía. Por lo tanto un ecosistema es una unidad o sistema biótico y funcional, que es capaz de sostener vida e incluye variables bióticas y abióticas de esta unidad (Jorgensen, 1992). Por otra parte, existe controversia entre ecólogos si es que el ecosistema posee o no propiedades emergentes. Este término aparece para suplir deficiencias del conocimiento sobre el comportamiento de los sistemas. Si sabemos suficiente sobre un sistema, seríamos capaces de predecir todas sus propiedades y comportamiento de una manera estrictamente reduccionista. Albert Einstein, en uno de sus estudios, dijo que si uno sabia suficiente sobre el estado de cada molécula en el sistema, podemos predecir el estado del sistema. Sin embargo en una nota escribe: “querido lector, no crea que esto es de alguna forma posible” (Pomeroy y Alberts, 1988). Desde este punto de vista realista, siempre habría propiedades en el ecosistema que parecen ser emergentes.

Siendo el ecosistema un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente, que interactúan como una unidad funcional, este puede ser referido a cualquier unidad en funcionamiento a cualquier escala. La escala de análisis y de acción se debe determinar en función del problema de que se trate. Por lo tanto los sistemas ecológicos no tienen una sola escala característica, y si se realizara un experimento ecosistémico, éste será generalmente escala dependiente (Levin, 1992).

El enfoque sistémico por su carácter holístico, multidimensional e integrado, es una estrategia para la gestión integrada de tierras, extensiones de agua y recursos vivos. Esto se

debe a que el enfoque ecosistémico tiene como parte esencial al hombre en su interacción con la naturaleza y al hombre en su propio desarrollo; de ahí su valor, a los efectos de la concurrencia de las dimensiones social, económica y ambiental (Levin, 1992). Esto facilita la aproximación a lo concreto que está ocurriendo en el ecosistema, así como también la proyección de acciones futuras, necesarias, a fin de encauzar su sustentabilidad. En síntesis este enfoque constituye un marco apropiado para el análisis amplio e inclusivo de las actividades humanas ya que permite evaluar la manera en que el funcionamiento y la productividad de un determinado ecosistema se ve afectado por la forma en que la gente lo utiliza.

5.3 El concepto de ecosistema

Tansley (1935) define al ecosistema como una entidad física correspondiente a un sistema dinámico formado por un componente biológico, típicamente una biota (comunidad), y por el ambiente abiótico. Este concepto no explicita una escala espacial o temporal determinada. La idea central es que el ecosistema como entidad física es un sistema dinámico sujeto a leyes físicas relevantes. Para este concepto es fundamental la idea de entidad biológico-ambiental. Para Tansley los ecosistemas son más que flujos de energía y materiales, mallas tróficas o comunidades en competencia. Hay una multitud de interrelaciones entre organismos vivos y su medio no vivo.

5.4 Ecología de ecosistemas.

Por lo anteriormente expuesto la ecología de ecosistemas incluye explícitamente el componente antrópico en interacción con el ambiente. Se consideran de manera amplia e inclusiva todos los agentes contribuyentes en los aportes y perturbación del sistema acuífero en observación. Considerando que en la aproximación ecosistémica los límites y componentes no son fijos, sino que el observador (en este caso el memorista) los establece en relación a lo que interesa para el estudio. Se buscó por lo tanto reducir la complejidad del “ecosistema del fiordo Aysén” mediante una abstracción que permita su análisis a través de los reservorios y flujos de la variable de estado: materia orgánica particulada viva (biomasa), muerta (detritus) y disuelta.

5.5 La aproximación proceso funcional al estudio ecosistémico

La aproximación proceso funcional considera flujos de energía y materiales, y los componentes pueden o no ser especies. De esta forma se pueden ver los fiordos no solamente desde la perspectiva de los organismos que allí habitan sino que de los flujos de materiales entre los componentes principales. Estos serían los productores y los consumidores de materia orgánica, que de esta manera permiten identificar las interacciones entre los componentes que interesan a este estudio. Varela (2004) sugiere como buena opción metodológica, identificar las relaciones y no las propiedades de los componentes para estudiar sistemas.

5.6 La materia orgánica, definición e importancia

La materia orgánica comprende a las moléculas naturales y artificiales que contienen carbono, oxígeno e hidrógeno como: alimentos, heces, material vegetal, jabones y otros diversos materiales. Estas moléculas se separan en materia orgánica disuelta y materia orgánica particulada según sus distintos tamaños, como se muestra en la **Figura 1** que representa la gradiente de tamaños de la materia orgánica en agua de mar.

En los ecosistemas acuáticos la materia orgánica es un recurso fundamental, ya que producida por los autótrofos (fitoplancton, macrófitas y macroalgas) se transfieren a través de la cadena trófica. Al mismo tiempo, los organismos que se alimentan de ellas como invertebrados, peces, etc. excretan sustancias orgánicas especialmente de tipo fecal y los exudados de carbono orgánico del conjunto de organismos autótrofos son sustrato para las bacterias.

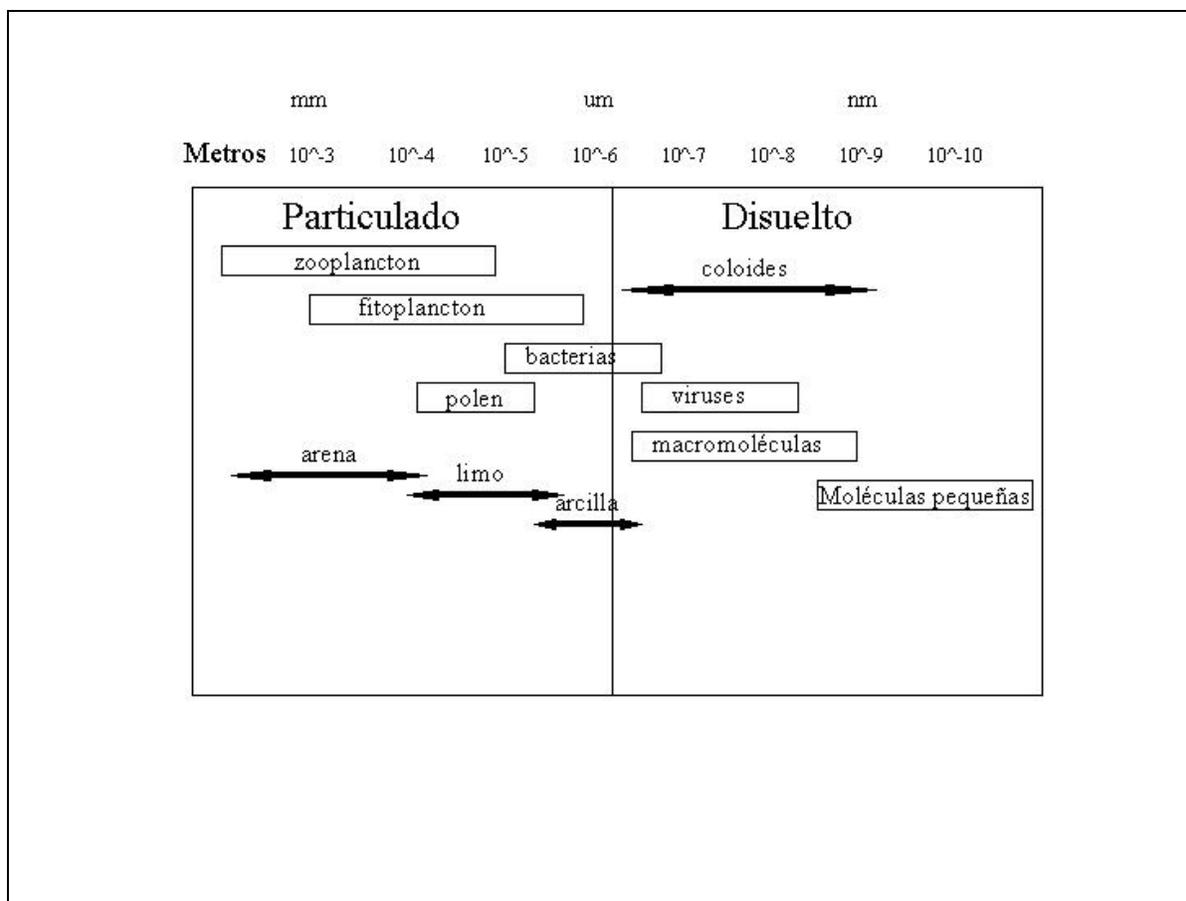


Figura 1. Definición operacional de los gradientes de tamaño de la materia orgánica en agua de mar, estos tamaños se comparan con otros materiales.

(Modificado de T.I Hedges en Hansell & Carlson 2002)

La materia orgánica participa también en el ciclo de los nutrientes. Su degradación comienza al ser desmenuzada y fraccionada por animales y luego descompuestos por bacterias y hongos. La vegetación terrestre y acuática incorpora los nutrientes disponibles en el suelo y el agua y los almacenan en sus tejidos. La descomposición bacteriana y fúngica reduce los compuestos orgánicos complejos a compuestos inorgánicos sencillos que quedan a disposición de las plantas.

A pesar de lo anterior, los aportes de materia orgánica a los sistemas acuáticos a través de las aguas residuales pueden sobrepasar las cantidades que pueden ser asimiladas por los sistemas acuáticos ya que simultáneamente, la biodegradación y descomposición de la materia orgánica produce la desoxigenación del agua causando la muerte de muchos

organismos y la alteración de los ecosistemas que dependen de ellos (Ryding & Rast, 1989). Por esto el conocimiento sobre los flujos o interacciones de la materia orgánica con otros componentes resulta relevante para establecer impactos o variaciones producidas por episodios de contaminación que aún cuando no se altere la cantidad de materia orgánica que entra al ecosistema se pueden alterar directa o indirectamente sus flujos.

El presente trabajo desarrolla un modelo conceptual del “ecosistema fiordo Aysén” y un diagrama de conexiones causales, de modo de proponer el comportamiento de los flujos de materia orgánica entre los componentes seleccionados en este ecosistema acuático.

5.7 El ecosistema fiordo Aysén y su entorno

El ecosistema seleccionado es el fiordo Aysén y las interacciones que se producen con su entorno. Este es un sistema interesante y complejo por sus características oceanográficas y sociales. Muestra un alto valor económico dado por la gran cantidad y diversidad de recursos naturales que posee. Además, en los últimos 10 años se ha producido un crecimiento en las áreas urbanas asociadas al establecimiento de múltiples salmoneras y cultivos marinos (Proyecto INCO, 2004).

Un fiordo es una ensenada estrecha y profunda de la costa debida al hundimiento paulatino de un valle fluvial, o bien, tiene su origen en la erosión glacial. Es semejante a una ría, pero más estrecha y profunda, con laderas abruptas (Glosario de términos geográficos, 2004). Cada componente al interior de un ecosistema acuático influye en los otros. Sin embargo, para un fiordo se pueden seleccionar componentes más allá del sistema acuático. Por ejemplo hay interacción entre la deforestación y la producción de salmones: la disminución de los bosques y por ende los cambios de los caudales de los ríos podrían afectar significativamente las características del agua del fiordo y por lo tanto la capacidad de carga de los fiordos para la acuicultura. Según científicos y académicos nacionales, uno de los factores limitantes para la producción industrial de salmones en los mares interiores de la Décima Región, es el aumento de la salinidad en los fiordos donde se encuentran los centros de cultivo. Esto se debe a la disminución de la esorrentía. La cantidad de agua dulce que controla la salinidad de los fiordos es aportada fundamentalmente por los ríos

provenientes de cuencas tributarias. La cobertura de bosques nativos en buen estado de conservación en dichas cuencas es clave para mantener una salinidad baja en los períodos críticos de marzo y abril, cuando los caudales de los ríos son mínimos. El deterioro de estos bosques por mal manejo, o su conversión a praderas o plantaciones forestales es una grave amenaza para la industria salmonera (FORECOS, 2004).

5.8 Entidad de estudio y su delimitación

Una manera de integración para un sistema costero es incluir el entorno inmediato dado que no se puede separar lo que pasa adentro del fiordo con lo que pasa en el sistema terrestre y también en la atmósfera (interacción entre espacios).

Uno de los problemas más frecuentes en el inicio de una investigación o de una aplicación a nivel de ecosistemas, es la dificultad para delimitar la unidad de estudio ya que los criterios para la delimitación espacial y temporal del ecosistema están en función de la pregunta y los objetivos. Es decir, la pregunta define a los componentes. La definición del ecosistema y de sus componentes se realiza de acuerdo con un sistema en particular y el problema que en este caso son los aportes de materia orgánica al fiordo Aysén.

5.9 Modelos conceptuales y dinámicos

Los modelos son una abstracción y una simplificación de la realidad. Likens (1992) considera que la elaboración de los modelos conceptuales es el punto de partida para el manejo de la información. Por lo tanto un modelo conceptual permite organizar la información y de esta manera simplificar la realidad. Una región puede ser representada empleando modelos cada vez más abstractos. El método que aquí se utiliza es de diagramas de flujos que enfoquen la atención en los componentes y las interacciones claves para el desarrollo de un modelo conceptual que propondrá la forma o de qué manera se relacionan los componentes seleccionados en la cabeza o parte superior del fiordo Aysén. Marín et al. (2006) se refieren a que para algunos investigadores un ecosistema es solo un área geográfica que sirve como marco de referencia para el manejo de recursos, la cuenca hidrográfica como unidad de análisis. Para otros como Forrester (1968) es un sistema auto-

organizado y autocatalítico. Los sistemas dinámicos ayudan a analizar sistemas complejos con un énfasis especial en la retroalimentación (Ford, 1999). Un modelo de dinámica de sistema es un modelo de simulación continua, o de ecuaciones diferenciales simultáneas y no lineales, que permite la identificación de estructuras de causalidad circular (retroalimentación) que expliquen los patrones del comportamiento del sistema observado (Forrester, 1968).

Al hablar de la dinámica de un sistema nos referimos a que las distintas variables que podemos asociar a sus componentes sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellos.

El análisis de un sistema consiste en su disección, al menos conceptual, para establecer inicialmente las partes que lo forman. Sin embargo, esto no es suficiente; no basta con saber cuáles son sus partes. Para comprender su comportamiento necesitamos saber cómo se integran; cuáles son los mecanismos mediante los que se produce su coordinación. Necesitamos saber cómo se produce la síntesis de las partes en el sistema.

A mediados de los 60, Forrester propone la aplicación de la técnica que había desarrollado originalmente para los estudios industriales, a sistemas urbanos. Surge así lo que se denominó la dinámica urbana en la que las variables consideradas son los habitantes en un área urbana, las viviendas, las empresas, etc. (Aracil, 1995) Es así como la teoría de sistemas resultó útil para una serie de estudios y esto dio paso para que se ocuparan en estudios ambientales y enfoques ecosistémicos. Los campos de aplicación de la dinámica de sistemas son muy variados. Durante sus más de 30 años de existencia se ha empleado para construir modelos de simulación informática en casi todas las ciencias. Pero el interés principal es que un área en la que se han desarrollado importantes aplicaciones es la de los sistemas ecológicos y medioambientales, en donde se han estudiado, tanto problemas de dinámica de poblaciones, como de difusión de la contaminación (Aracil, 1995). La difusión de estas técnicas ha sido muy amplia, y en nuestros días se puede decir que constituye una de las herramientas sistémicas más sólidamente desarrolladas y que mayor grado de aceptación e implementación han alcanzado.

5.10 Uso de los Modelos Ecosistémicos

En este caso como es un sistema acuático el estudiado se habla de una cuantificación energética y presupuesto material. Esto se refiere principalmente a que el presupuesto de materia orgánica y de los nutrientes ha llevado a entender restauración, sucesión y sensibilidad de ecosistemas (Muller y Leupelt, 1998). También estos modelos pueden facilitar la comunicación entre científicos dentro de una disciplina. Los modelos esclarecen las estructuras y los supuestos que un individuo o un grupo de ellos tienen sobre un sistema de interés. Cuando los modelos son utilizados en una investigación interdisciplinaria, revelan cual de estos supuestos y estructuras son compartidas por esas disciplinas y cuales son contradictorias. Por lo tanto, comunicación inter científica puede resultar en nuevos modelos, supuestos de disciplinas cruzadas apropiadas, y claridad en la terminología y los parámetros.

6. MATERIALES Y MÉTODO

Este capítulo describe los materiales y la metodología de trabajo utilizada para el cumplimiento de los objetivos planteados. Fue necesario realizar una descripción del área de estudio, la cual se entrega a continuación.

6.1 Área de Estudio

El fiordo Aysén está ubicado entre los 45.3°- 45.5° latitud sur y los 72.8°-73.8° longitud oeste con un largo de 73 km., una profundidad promedio de 142 m y un área de 470 km².

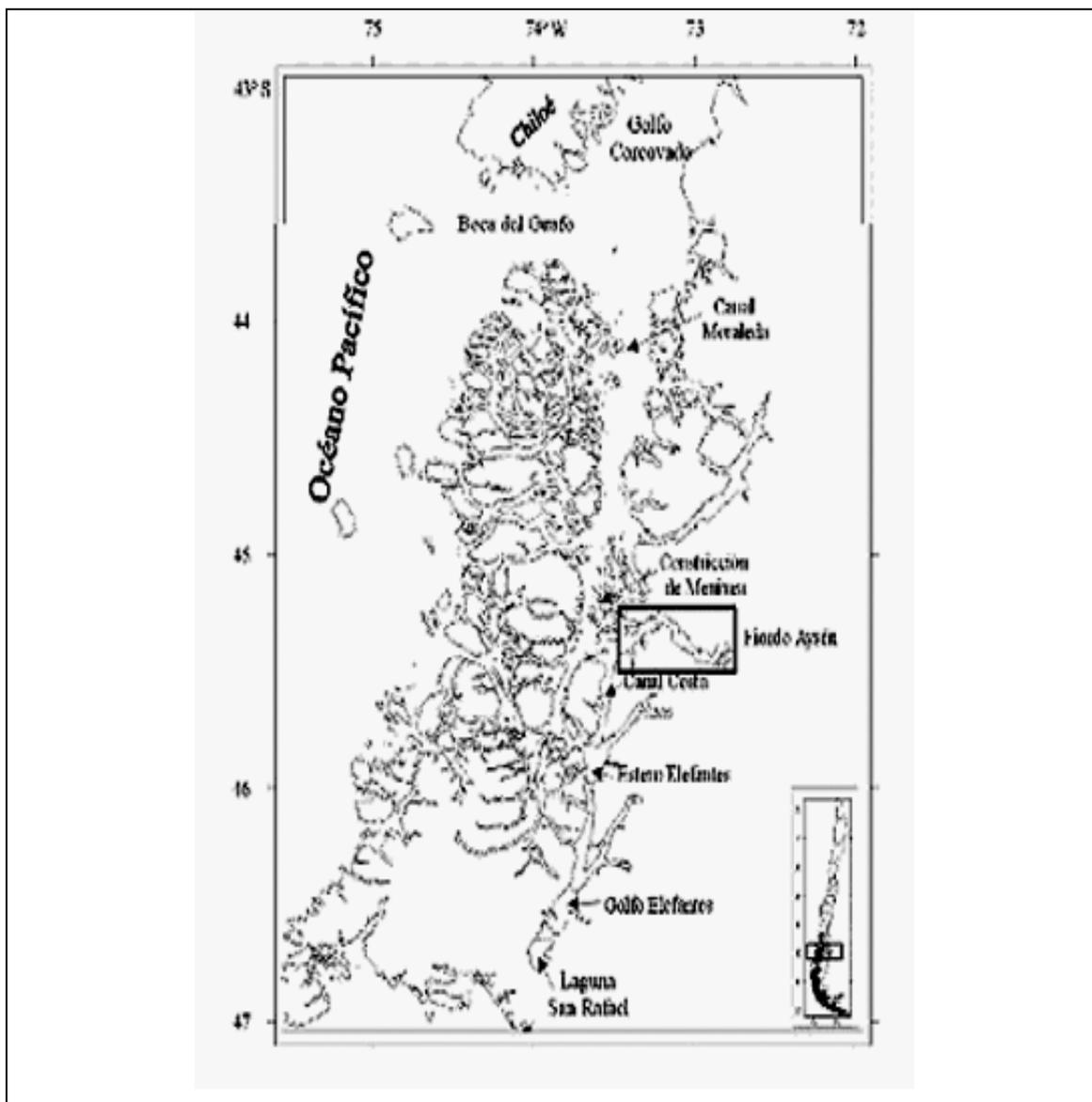


Figura 2. Área de estudio: Ubicación del fiordo Aysén en la XI Región Chile, zona de los canales australes. Tiene una orientación general este-oeste, y una extensión de 31 millas náuticas (» 57 km). La boca está conectada con la constricción de Menineas que es el extremo sur del canal

Moraleda y este está conectado con el mar en su extremo norte, por la Boca del Guafo (Proyecto INCO, 2004) (**Figura 2**).

Este fiordo al igual que la mayoría de los existentes en la zona de los canales del sur de Chile, fue formado principalmente en el Holoceno, debido al retroceso de hielos que socavaron la zona interior de los canales, dejando escombros o morrenas en la parte de la boca de estos (Pickard, 1971).

El fiordo Aysén presenta un valle en forma de U en su sección transversal y la longitud es mayor que su ancho medio. La característica batimétrica más importante de esta zona es la presencia de un umbral de baja profundidad (< 100 m), frente a las islas Cinco Hermanos ($45^{\circ}16' S$ y $72^{\circ}47' W$), que se ubica en el primer tercio del fiordo. Este umbral separa la parte profunda del fiordo Aysén en dos microcuencas (una ubicada al Oeste de las Islas Cinco Hermanos y la otra al Este de ésta).

La porción Oeste del fiordo presenta un ensanchamiento hacia la boca y se conecta a los canales Costa y Moraleda, teniendo una profundidad media de 250 m. La porción Este se encuentra aislado de la influencia de la microcuenca. La Oeste es de características más oceánica, debida al efecto que ejerce el umbral (Islas Cinco Hermanos) (Guzmán, 2004).

Como se aprecia en el Anexo 1a “Hoya hidrográfica del fiordo Aysén”, la influencia fluvial esta determinada por la desembocadura de los principales ríos que se encuentran en este fiordo (ríos Cuervo, Cóndor y Aysén). La circulación en el fiordo Aysén esta modulada por el efecto de los caudales de los ríos, la marea, el viento y la topografía. Si se analiza por secciones a lo largo del eje del fiordo Aysén, desde la boca (conexión hacia el canal Moraleda y Costa), al oeste de la isla Cinco Hermanos, éste se comporta como un estuario parcialmente mezclado, debido a su conexión con el canal Moraleda, que aportan aguas de origen oceánico (Guzmán, 2004). Entre la isla Cinco Hermanos, y la cabeza del fiordo (desembocadura del río Aysén) el sistema se comportó como un estuario altamente estratificado, sistemas que tienen una alta descarga de agua dulce (río) (Sievers & Prado, 1994). La capa de agua de baja salinidad se propaga hacia fuera del fiordo por la capa

superficial y el agua salina ingresa en una capa inmediatamente inferior adelgazando la capa de agua dulce superficial de 8 a 5 m hacia la boca del fiordo, por efecto de la mezcla (Olivares, 2002).

6.2 *Materiales*

Para el desarrollo del modelo los materiales corresponden fundamentalmente a información bibliográfica y bases de datos del CONA.

- Antecedentes bibliográficos en revistas científicas, informes técnicos y bases de datos como: Programa CIMAR-fiordos desde 1995 (Cruceros Cimar 1, 4, 7, 8 y 9) del CENDOC; del proyecto INCO "Ecomanage" a cargo del Laboratorio de Modelación Ecológica de la Universidad de Chile y datos climáticos del Proyecto Hidrometeorológico.
- Informe ejecutado por el Centro Universitario de la Trapananda que identifica criterios de calidad ambiental e instrumentos de gestión ambiental específicos para la región.
- Antecedentes geográficos tales como planos, fotos aéreas e imágenes satelitales.
- Se usaron además fuentes secundarias de información como publicaciones en Internet y otros medios de difusión escrita.
- Computador y software (Programa de Stella 7.0.1.).

6.3 *Metodología*

La metodología caracteriza los pasos para establecer los alcances del modelo y la identificación de componentes y sus interacciones. Esta presenta cuatro etapas. La primera consiste en delimitar el ecosistema objeto del estudio. La segunda es la selección de sus principales componentes de acuerdo a su aporte de materia orgánica para desarrollar un modelo conceptual del ecosistema. En la tercera se caracterizaron y dimensionaron las relaciones entre estos componentes para en la última etapa diagramar y representar detalladamente los principales reservorios e interacciones de la materia orgánica.

Delimitación del “ecosistema fiordo Aysén”.

Todos los ecosistemas tienen límites arbitrarios. Sin embargo, el principio de los niveles de integración indica que para comprender un sistema se debe analizar de la forma más amplia posible para así comprender las interacciones internas. Con el fin de reconocer el sector y para definir el ecosistema que constituye la unidad de estudio, se realizó una visita de terreno en febrero 2005, correspondiente a la estación seca en el fiordo Aysén. En el sector se procedió a delimitar el área de estudio considerando las discontinuidades espaciales de este ecosistema para el cual se formuló posteriormente el modelo. Esta delimitación consideró la distribución espacial de la cuenca hidrográfica ya que los flujos de agua se seleccionaron como la variable fundamental para el modelo. Para deslindar geográficamente el ecosistema se utilizaron imágenes satelitales y mapas geográficos incluyendo además antecedentes batimétricos.

Seleccionar los principales tipos de componentes: silvestres, antrópicos, geomorfológicos y geográficos del “ecosistema fiordo Aysén”.

Para reconocer los distintos componentes se utilizaron varios criterios. El primero fue la existencia física de los componentes (tangibilidad) y el segundo los procesos físicos y biológicos en relación a los aportes de materia orgánica al fiordo. Los componentes fueron seleccionados también de acuerdo con el análisis de antecedentes cuantitativos sobre la variable de estado: la materia orgánica. Algunos valores se obtuvieron de los resultados de los cruceros CIMAR-fiordos (1, 4, 7, 8 y 9, entre los años 1995 - 2003). Otros antecedentes se obtuvieron con los especialistas en el tema adscritos e instituciones universitarias (científicos y técnicos) de la Dirección Territorio Marítimo, SERNAPESCA, CONAF, DGA, CONAMA.

A continuación se describe el aporte de materia orgánica de las actividades humanas al fiordo. Se analizaron las actividades antrópicas más importantes del sector ya sea por número de exportaciones o por extensión en el uso de suelo, relacionándolas directamente con los aportes de materia orgánica. Para las actividades acuícola y portuarias se recopiló información de los informes de la Subsecretaría de Pesca, Proyectos FIP, proyecto Chile Austral, proyecto MINVU y Capitanía de puerto. Para las actividades turísticas del sector

se realizó una recopilación de información a través de los proyectos señalados en el plan maestro de SERNATUR. Las actividades forestales y ganaderas fueron consideradas por aportes de materiales erosionados a las aguas debido al arrastre de los ríos, producto de la tala de bosques. Se obtuvieron datos del proyecto MINVU, catastro de bosque nativo y antecedentes de la CONAF XI Región de Aysén. Para las actividades industriales se obtuvieron datos de estudios en riles y empresas sanitarias, al igual que el área residencial de las ciudades de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco.

Caracterizar y dimensionar las principales interacciones entre los componentes seleccionados tanto acuáticos como terrestres.

El análisis se centra en las interacciones de los componentes vivos y no vivos principalmente modulados por los flujos de agua, ya que el agua es la vía de transporte de la materia orgánica. La información existente acerca de las interacciones que generaron intercambios de materia orgánica en o hacia el fiordo fueron analizados desde los distintos componentes. Cada componente interactúa con otro a través de un proceso o de alguna tasa de entrega de materia orgánica, todas estas interacciones se utilizaron y se representaron en un modelo conceptual de la información que represente el ecosistema. De esta forma se ampliaron a un diagrama de causalidad para observar que componente afecta positiva o negativamente a otro, con el objeto de hacer indagaciones en la literatura que permitiera evaluarlas. Entre las interacciones positivas entre los componentes podemos mencionar, por ejemplo, los intercambios de materia orgánica entre vegetación terrestre y los cultivos marinos o de los asentamientos humanos con las aguas costeras. Se caracterizó y evaluó la importancia de los distintos componentes del sector silvo-agropecuario, cultivos marinos, transportes terrestres y marítimos, asentamientos humanos, borde costero y también factores ambientales como precipitaciones, escurrimientos superficiales y subterráneos, etc. Esto último se desarrolló con bases de datos de la Dirección General de aguas (DGA). También se revisaron algunas propiedades de los componentes, por ejemplo para bosques su cobertura, distribución y composición. Se consideran como interacciones negativas (remoción) el consumo, la sedimentación y la exportación o advección principalmente. Para separar estas relaciones o interacciones entre componentes en niveles de importancia

es posible utilizar una aproximación jerárquica (Jorgensen, 1992). Esta permite separar distintos niveles de subordinación en que el nivel jerárquico superior corresponde a procesos más extensos y de menor variabilidad, que en este estudio corresponde al clima. Este impone restricciones al nivel en que se focaliza el estudio, en este caso el “ecosistema fiordo Aysén” donde se hace la pregunta sobre los aportes de materia orgánica. La respuesta se construye desde el nivel jerárquico inferior donde residen los distintos procesos que operan a diferentes tasas, como por ejemplo los procesos sedimentarios en la columna de agua.

Diagrama y representación de los aportes de materia orgánica entre los principales reservorios.

Para este objetivo se representó toda la información obtenida de materia orgánica en los puntos anteriores, es decir reservorios e interacciones en el fiordo Aysén mediante un diagrama causal y un modelo desarrollado en Stella. Este es un software de interfase gráfica de uso intuitivo basado en íconos que facilita el modelamiento donde es posible analizar el ecosistema de una manera dinámica. Tras el oportuno estudio y análisis mencionado se construye el modelo del aspecto de la realidad que resulta problemático. Este proceso, consiste, en esencia, en analizar toda la información de la que se dispone con relación al proceso, depurarla hasta reducirla a sus aspectos esenciales, y reelaborarla de modo que pueda ser transcrita al lenguaje sistémico (Aracil, 1995). Para realizar el diagrama causal primero se consideró almacenamiento o reservorios (stock) de materia orgánica y luego se relacionaron componentes y/o reservorios a través de procesos, es así como, por ejemplo, los restos vegetales y los descomponedores se unen a través del proceso de descomposición. Tanto reservorios (stocks) como procesos se pueden relacionar a través de vectores que indican la dirección de aporte de materia orgánica dependiendo de la conexión causal (Forrester, 1968). Es decir, cada componente aporta materia orgánica a través de distintos procesos y tasas, y el vector indicaría el aporte entre componentes que para el programa Stella utilizado se denominan niveles. No siempre entre el reservorio y el proceso, o entre reservorios hay un vector en una sola dirección. También existen los enlaces cerrado (dos vectores, una de ida y otra de vuelta), lo que implicaría

retroalimentación o esta no es de importancia, de esta manera se establecen las conexiones y causalidades de todos los componentes del diagrama causal del ecosistema.

Con respecto a la formulación del modelo causal, no hay una expresión numérica sino que el desarrollo de un diagrama de flujo que representen los aportes y transporte de la materia orgánica. Así como producción de biomasa y consumo biológico como procesos que deben ser reflejados en el modelo y el balance del sistema. Este modelo no será cuantitativo sino que indicará las relaciones o interacciones entre las variables del sistema. Estudios o evaluaciones posteriores, que incorporen mediciones podrán calibrar parámetros para validar empíricamente el modelo.

7. RESULTADOS

7.1 *Delimitación*

Para la delimitación geográfica del “ecosistema fiordo Aysén”, se consideró primero el criterio de distribución espacial de los flujos hídricos (Anexo 1a). Esto para abarcar todos los ingresos alóctonos al fiordo. De esta manera el ecosistema queda comprendido desde el

fiordo mismo hasta las cumbres más altas de las quebradas principales de tres cuencas hidrográficas (ríos Aysén, Cóndor y Cuervo) seleccionados por presentar las mayores descargas al fiordo Aysén (Anexo 1b), siendo el río Aysén el más importante en lo que a caudal se refiere (Anexo 1c). Esta explicación es relevante ya que nos interesa la variable de estado, es decir la materia orgánica, la que se transporta al fiordo (alóctona) y la que se encuentra ya en él (autóctona).

La delimitación de todo el sistema (**Figura 3**), incluye la dimensión vertical, es decir la columna de agua. Aquí se reconoce una capa superficial de 0-50 m donde existe la mayor abundancia de organismos planctónicos (Montecino et al, 2004; Castro y Landaeta, 2004; Palma et al, 2004), importantes cambios químicos (Guerra y Silva 2004) e hidrodinámicos (Cáceres et al, 2002). Para poder dimensionar lo referente a los aportes autóctonos se utilizó un segundo criterio basado en antecedentes batimétricos y criterios oceanográficos como es la profundidad. Esta es la tercera dimensión del fiordo, es decir, la columna de agua que va desde la superficie hasta el fondo. Esta se separó longitudinalmente en dos. La primera división es la cabeza (incluyendo ciudades y puerto) que comprende la parte oligohalina o superior donde existe un gran aporte de agua dulce y que abarca alrededor del 11% del fiordo y la cual es una zona heterotrófica. Es decir, en donde la producción es menor que la respiración ($P/R < 1$). Aquí el sistema no se auto sustenta por lo tanto los aportes de carbono orgánico vienen de otros sectores. La segunda división de la columna de agua comprende desde la parte media del fiordo hasta la isla Cinco Hermanos. A esta parte se le denomina sector mesohalino con 36% del total del fiordo y con comportamiento mixto, es decir heterotrófico y autotrófico, y todavía con algunos aportes de agua dulce.

El resto o la zona exterior del fiordo o polihalina de un 53% del total y de comportamiento autotrófico no se incluye por ser considerado de alta mar (Kemp et al, 1997). Además a la máxima profundidad (isóbata 300 m) se permite obtener una visión de todo el espectro de variabilidad posible. Otro limite en la columna de agua es la interfase agua sedimentos que constituye una salida a un reservorio (Sepúlveda et al, 2004) y una nueva entrada de carbono cuando hay resuspensión de la materia orgánica.

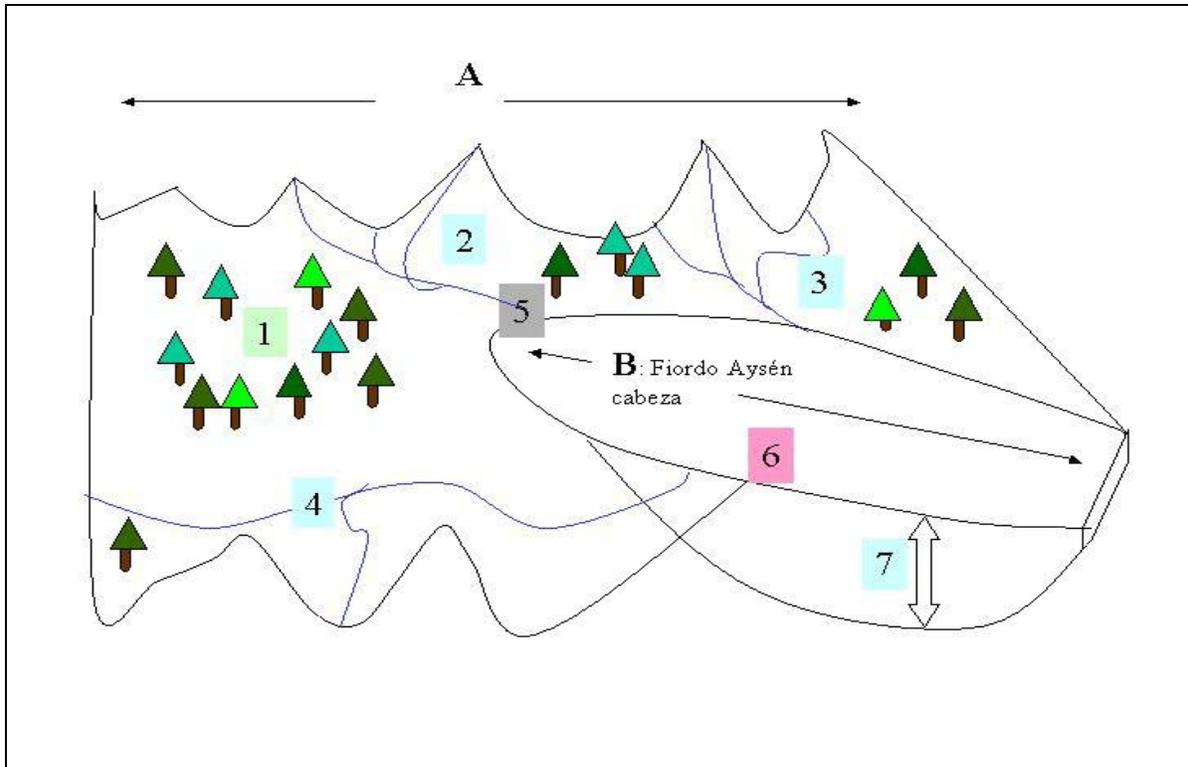


Figura 3. Delimitación del “ecosistema fiordo Aysén” que queda conformado geográficamente por A: la cuenca hidrográfica incluyendo los tres ríos principales Aysén (2), Cóndor (3) y Cuervo (4); las ciudades de Chacabuco y Puerto Aysén (5) y B: los ambientes pelágicos del fiordo. Los componentes principales para A son el suelo-bosques (1) a través de los flujos hídricos y para B los centros de cultivo (6) y la columna de agua (7).

7.2 Principales componentes Silvestres, Antrópicos, Geomorfológicos y geográficos.

Como se deduce de la delimitación del “ecosistema fiordo Aysén”, la selección de los componentes y las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos se componen dos subsistemas geomorfológicos de acuerdo con los aportes alóctonos y autóctonos de la materia orgánica. Estos vienen de la cuenca hidrográfica y la columna de agua del fiordo respectivamente donde se incluyen las variables abióticas (nutrientes, luz, etc.). Además como factores abióticos determinantes de la producción de materia orgánica en el componente biótico terrestre fue primordial considerar el clima como componente, por sus efectos directos vía precipitaciones y de la luz, los cuales cambian a lo largo del año y hacen variar la producción entre invierno y verano.

Componentes Silvestres

Luego de la presente evaluación (publicaciones de Montecino et al, 2004; Castro y Landaeta, 2004; Palma et al, 2004; Guerra y Silva, 2004; Cáceres y Valle, 2002) se propone que los componentes silvestres más trascendentes en el ecosistema son el fitoplancton, el suelo en conjunto con el bosque nativo y las bacterias. Estas últimas reciclan el material orgánico autotrófico y mineralizan o biodegradan el detrito de toda la malla trófica. La malla trófica no se detalla por sus menores aportes cuantitativos en relación a la variable de estado (fide Vargas & González 2004).

Utilizando el sistema básico de clasificación realizada por Gajardo (1994), el bosque (**Figura 4**) o comunidades vegetales en las cuencas de estos ríos corresponden a cuatro formaciones vegetacionales con sus respectivas comunidades. Estas formaciones son el Bosque Andino patagónico, el Bosque Siempre verde y de Turberas y la Estepa Patagónica (Anexo 2), estos son reservorios de materia orgánica por su cobertura y permanencia, y constituyen un componente inherente del sistema.

En el subsistema cuerpo de agua del fiordo Aysén la producción primaria acuática de perifiton, macrófitas y fitoplancton, mayor en este último componente por sus elevadas tasas de fijación de carbono y duplicación celular, se selecciona como el principal responsable de los aportes autóctonos de materia orgánica al fiordo. La abundancia del fitoplancton estimada como clorofila a se observa en los gráficos del Anexo 3 en distintas estaciones oceanográficas y a distintas profundidades en los meses de Julio, Agosto y Noviembre. Los perfiles muestran una mayor abundancia en la superficie y una mayor abundancia en los



Figura 4. Imagen representativa de la cobertura vegetal que existe en el ecosistema fiordo Aysén. La imagen corresponde a Google Earth 2005.

meses primaverales. Para el gráfico (Anexo 3c) con los valores integrados se puede observar que es similar a lo largo del fiordo con un probable aumento hacia la boca excepto en Noviembre en la estación 19 con valores entre 6 y 28 mgCl-a/m² que equivale a valores entre 0.24 y 1.12 gr C/m². La razón Clorofila:Carbono utilizada es 0.02 aunque esta razón es muy variable dependiendo del estado fisiológico de los autótrofos (Geider 1987).

Componentes Antrópicos

Los componentes antrópicos se seleccionaron de acuerdo a su importancia en distintos procesos. Estos son las descargas directas de materia orgánica al río y al fiordo, la extensión en el uso del suelo de actividades silvo-agropecuarias, y las actividades que tiene alto impacto económico. Esta selección resultó en los componentes siguientes. En primer lugar la actividad de la industria de alimentos derivada de la acuicultura de salmones y otros productos marinos y la actividad industrial en general que incluye la pesca industrial, artesanal y mataderos tanto en Puerto Aysén como en Puerto Chacabuco (Anexo 4). En

segundo lugar, se encuentran la actividad minera seguida por la actividad forestal (Las cuales no se consideran por sus bajas relevancias cuantitativas) (Anexo 5). Las ciudades de Coyhaique, Puerto Aysén y Puerto Chacabuco constituyen otro componente por las descargas de agua servidas de uso doméstico tratadas y no tratadas y otros aportes atribuibles a la actividad portuaria y a los terminales de descarga de petróleo en Puerto Chacabuco. También fue importante considerar la actividad turística pero esta funciona más bien como un convertidor en cierta épocas del año, como el verano, donde aumenta la población de las ciudades o poblados y de esta forma aumentan a su vez las descargas a los ríos y al fiordo (separados en turismo carretera para definir el aporte a ríos desde ciudades y turismo acuático para aquellos aportes al fiordo a través de embarcaciones turísticas tales como cruceros y lanchas). Un componente antrópico en expansión está constituido por los centros de cultivo de salmónes y moluscos, el que aún cuando se encuentra inserto en la columna de agua, se considera como aporte alóctono de materia orgánica. Esto debido a que el aporte de los cultivos, principalmente en heces y alimento, no es originario o autóctono del fiordo.

Componentes Geomorfológicos y Geográficos

De acuerdo con la magnitud de las descargas de los principales afluentes, se estableció la importancia relativa para estos componentes de la hoya hidrográfica: río Aysén con un 75% del caudal de entrada, río Cuervo con un 15% y el Cóndor con un 10% de las descargas liquidadas al fiordo. El más importante es el río Aysén cuyos caudales medios mensuales durante los años 2002, 2003 y 2004 fluctuaron entre los 274,97 m³/s en Julio del 2002 hasta los 1.147,1 m³/s en Octubre del 2004 (Anexo 1c). Ecológicamente estos ríos corresponden a los denominados ritrónicos, por cuanto las aguas son frías, turbulentas y con un elevado nivel de oxigenación. Para los ríos Cóndor y Cuervo estas condiciones asociadas a una cuenca de avenamiento cubierta en toda su extensión con vegetación arbórea hacen que los aportes terrestres de materia orgánica sean en su mayoría de origen silvestre. Es decir estas dos cuencas hidrográficas proporcionan aportes alóctonos de parte del componente suelo-bosques (CONAMA, 2001). La transparencia de las aguas es un indicativo de la presencia de bajas cantidades de materia orgánica disuelta ya que existe una variación conjunta entre

la materia orgánica disuelta y el color (Pace y Cole, 2002). Para el caso particular del río Aysén, además de los aportes silvestres (bosque), tiene una serie de componentes que aportan materia orgánica de origen antrópico debido a los asentamientos humanos de la ciudad de Aysén y por los distintos usos del suelo que se han dado en la zona (Anexo 6). Los usos principales de la superficie de la cuenca del río Aysén son pradera, bosque nativo, bosque mixto y otros, como la rotación de cultivo, humedales y glaciares. Por otro lado la ciudad de Puerto Chacabuco y las actividades desarrolladas en esta, principalmente industrial pesquera; descargan en la bahía Chacabuco, es decir directamente al fiordo.

7.3 El Modelo Conceptual

La materia orgánica en el modelo “ecosistema fiordo Aysén” incluye dos subsistemas, uno terrestre y otro acuático. Esta es aportada por los ríos de la cuenca hidrográfica y a la columna de agua del fiordo por los componentes suelo-bosques y fitoplancton respectivamente. Las salidas son la exportación hacia el mar, la biodegradación por respiración de las bacterias que liberan CO₂ a la atmósfera. **Figura 5.**

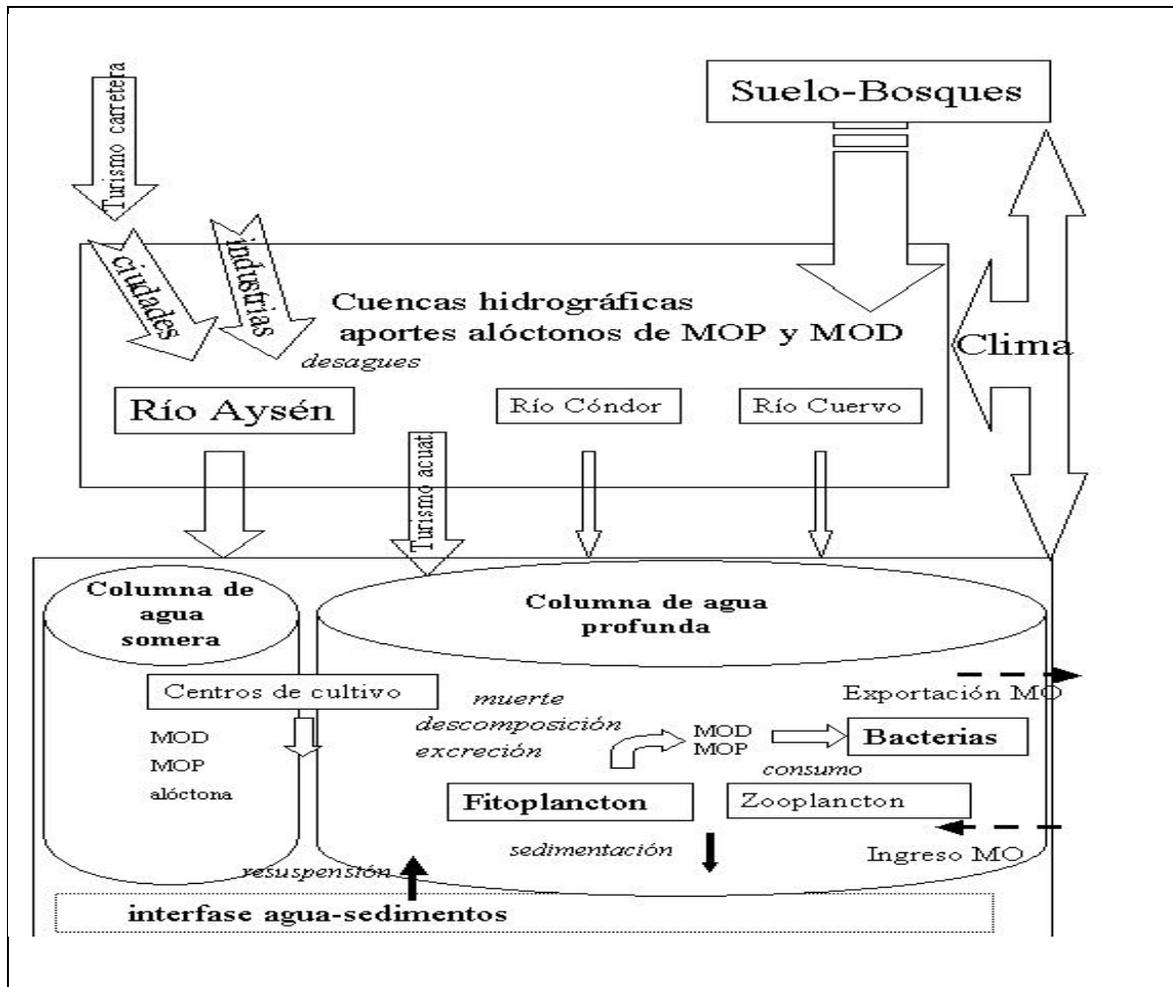


Figura 5. Modelo conceptual de los aportes de materia orgánica alóctona y autóctona al “ecosistema fiordo Aysén” con selección de los componentes relevantes. En la cuenca hidrográfica la flecha con bandas corresponde a aportes silvestres, las flechas con muesca son aportes antrópicos. El fiordo se separa en dos columnas de agua, los procesos se encuentran en letras cursivas. Para destacar la importancia de cada uno de los flujos se utilizan diferentes tipos de flechas incluyendo flechas cortadas para salidas y entradas por la boca del fiordo producto de la circulación.

7.4 Principales interacciones entre los componentes y subcomponentes del ecosistema fiordo Aysén propuestos en el modelo conceptual tanto en ambientes acuáticos como terrestres.

Las interacciones corresponden a todos los procesos propios del ciclo de la materia orgánica que involucra flujos entre los componentes de los subsistemas cuenca hidrográfica y fiordo Aysén (Fig. 5). Para el subsistema cuenca hidrográfica tenemos mayoritariamente todo el material que se ha producido en ella autotróficamente por la vegetación, a través del componente “Bosque”. El proceso biológico en este caso sería la **producción primaria** o síntesis de materia orgánica. En este proceso las plantas convierten el dióxido de carbono y

el agua en componentes orgánicos utilizando la energía de la luz, con liberación de oxígeno (fotosíntesis) y así, junto con la incorporación de nutrientes, producen la materia orgánica. Este es un proceso biológico pero al mismo tiempo es un proceso físico (ya que la materia cambia de estado) y químico (porque se altera la composición química de los elementos involucrados). Esta interacción de flujo de energía se produce entre atmósfera y clima y las comunidades vegetales que en el presente trabajo toman el nombre de componente bosque. El siguiente proceso a considerar es la **caída** de hojas y ramas que es un proceso físico y biológico al igual que la degradación que va sufriendo la materia vegetal. De esta forma interactúa el componente “Bosque” con los ríos ya que el **transporte** o **arrastre** de la materia orgánica en degradación o ya degradada se realiza por aguas lluvias o riachuelos y escorrentías varias hasta los ríos y así entra en función el agente transportador (el agua) hasta depositar la materia al fiordo. La degradación de la materia orgánica ocurre por la acción de microorganismos, por lo que es también un proceso biológico. Este proceso lo realizan tanto hongos como bacterias. La **descomposición** de los restos vegetales se considera como la lisis de complejas sustancias químicas en dos o más sustancias más simples. La materia orgánica disuelta (definida como aquella fracción $< 0.2 \mu\text{m}$) puede constituirse en aportes terrestres importantes a las aguas costeras. Tanto la materia orgánica particulada como disuelta que ingresa a la columna de agua lo hacen por los afluentes (Aysén, Condor y Cuervo). Esto genera la interacción Bosque-columna de agua, con lo que además se incluyen componentes antrópicos como por ejemplo los centros de cultivos. Por otra parte hay interacción también entre las ciudades e industrias y las condiciones climáticas, principalmente afectadas en esta zona por las elevadas precipitaciones y bajas temperaturas.

La ciudad de Coyhaique desagua en distintos ríos que son afluentes del río Aysén, tales como el Simpson y el Blanco. La ciudad de Aysén desagua en el río del mismo nombre y por ende deposita toda su materia orgánica en él y este a su vez interactúa con el fiordo por el proceso de arrastre. Se le denomina **desagües** al proceso a considerar entre las ciudades y sus respectivos receptores, ya que en el caso de Puerto Chacabuco se deposita o desagua la materia en la bahía Chacabuco es decir en el fiordo mismo.

La materia orgánica que ingresa a los ríos pasa por procesos de **depredación** incluyendo la **herbivoría** (flujo de transferencia de materia orgánica a los animales, en este caso peces, etc.), de degradación o descomposición, de **sedimentación** que es considerada como el proceso que causa el decantamiento de la materia orgánica una vez que esta se encuentra en el río o en el fiordo (por escorrentía). Por lo tanto es un proceso físico que depende del tamaño de las partículas y de la turbulencia. También existe la **resuspensión** como proceso en donde se levanta la materia orgánica (detritus) depositada en el fondo o sedimentada (Hansell y Carlsson, 2002).

Estos procesos ocurren nuevamente en el subsistema fiordo o columna de agua pero ahora con nuevos y máximos aportes del fitoplancton. Además hay otros aportes proveniente de aves, macrófitas y de los centros de cultivo. Los procesos considerados para la salida de materia orgánica del sistema son la **reminerización** o **biodegradación** en donde el 90% del carbono orgánico es respirado por las bacterias para liberarlo como CO₂ (Vargas y Gonzales, 2004), es una importante salida de carbono hacia la atmósfera. La **exportación** fuera del sistema fiordo por transporte, esto es por corrientes, y mareas que expulsan la materia orgánica hacia el mar.

7.5 Representación dinámica del “ecosistema fiordo Aysén”

En este capítulo se intenta representar la forma y la dinámica que tiene la materia orgánica en el ecosistema fiordo Aysén. Aquí, utilizando el software “Stella” se representaron todos los componentes a través de cajas. Estos son los reservorios de materia orgánica (stocks) que fueron considerados significativos. Las relaciones entre componentes son principalmente los procesos a los cuales se ve sometida la materia orgánica, los cuales son representados por cañerías de flujo (proceso temporal o transferencia de material). Estos son la producción de materia orgánica, los aportes, el transporte, los desagües, la sedimentación, la resuspensión y la exportación fuera del sistema, los cuales serían medidos a través de tasas. Para la creación del modelo causal en “Stella” se siguió el modelo conceptual desarrollado anteriormente y se le incluyeron las conexiones y procesos entre componentes recién mencionados. Además se incluyeron las variables auxiliares que influyen en los procesos o relaciones (**Fig. 6**).

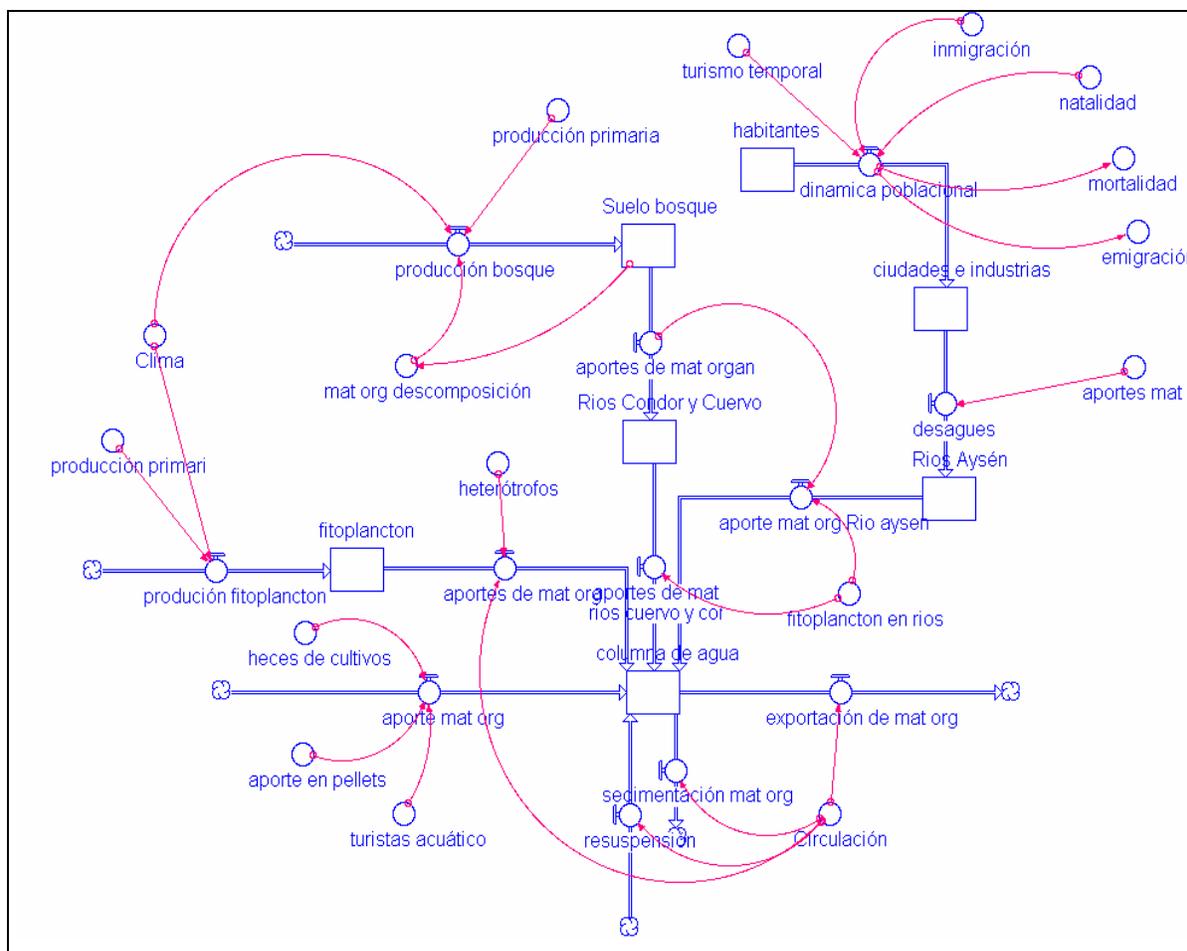


Figura 6. Modelo causal que especifica y sistematiza todos los aportes de materia orgánica que llegan a la columna de agua y como se mueven en el “ecosistema fiordo Aysén”.

Algunos de estas variables auxiliares son la producción primaria del fitoplancton y del bosque, la de aporte o producción de materia orgánica por parte de las ciudades e industrias, el clima que representa fundamentalmente a las precipitaciones y a la radiación solar, heces de los cultivos acuícola y los pellets (alimento para salmones). Todos ellos influyen en los aportes de materia orgánica de manera constante o estacional. También fueron importantes los aportes de MO por parte de los heterótrofos, el promedio de visitas en el caso del turismo acuático y la circulación que incluye la mezcla, las corrientes y la advección. Por último también es significativo el aporte de materia orgánica por parte del fitoplancton de los ríos. Todos estas variables auxiliares son representadas en el modelo por círculos. El modelo finalmente es una visión completa de los flujos de la materia orgánica

con todos los factores que hacen relevantes sus aportes distribución y salidas del “ecosistema fiordo Aysén”.

El modelo es mas bien una representación cualitativa y es previo a la obtención de información específica sobre las tasas de aportes de la variable de estado y sirve para diseñar un siguiente estudio que tenga como objetivo obtener dicha información. Este modelo se puede utilizar entonces como un modelo de simulación.

8. DISCUSIÓN

A continuación se presenta la discusión de las bases teóricas de la construcción del modelo “ecosistema fiordo Aysén” y de los resultados obtenidos por su configuración.

8.1 Discusión de las bases teóricas.

La ciencia ecosistémica, empezando con la definición básica de Tansley, se ha expandido enormemente. El concepto en la actualidad se utiliza en estudios que incorporan a los humanos no solamente localizados como agentes externos, conductores negativos sino que también como agentes integrales que afectan y son recíprocamente afectados por los otros componentes del ecosistema. Disciplinariamente el concepto de ecosistema ha promovido la síntesis en ideas sobre ecología. Estudios ecosistémicos de población, comunidad, y biogeoquímica han sido los más comunes. Esta expansión de la ciencia ecosistémica es enteramente consistente con las ideas formuladas por Tansley.

Una de las más recientes y completas definiciones es la desarrollada por Pickett y Cadenasso (2001). Estos autores proponen al ecosistema como un concepto multidimensional el cual tiene tres formas en las que puede ser utilizado: “significado”, “modelo” y “metáfora”. Con significado se refieren a la definición técnica que puede ser utilizada en variadas situaciones. Sin embargo, para lograr esto, la definición debe estar colocada en una situación, en un dominio y una variedad de características que deben ser especificadas (Jax et al, 1992). Significado deriva directamente de la definición básica que le dio Tansley a ecosistema en 1935 anteriormente descrita en este trabajo y en la cual intenta enfatizar en la unión entre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema, y escogió un termino físico “sistema” que destaca las interacciones. Tansley también puso énfasis en que los ecólogos deberían estudiar ecosistemas que incorporan humanos y estructuras generadas por humanos así como procesos bioquímicos y geoquímicos (evaporación, lixiviación, precipitación, fijación de N, etc.).

En síntesis el uso del concepto ecosistema tiene una amplia variedad de formas de abordarlo: desde instantáneos a históricos y desde microbianos a biosféricos (Jones y Lawton, 1995).

La definición general puede ser usada efectivamente siempre que exista un marco o una forma de organizar las maneras de abordar los distintos casos. Por lo tanto es requerida una segunda dimensión del concepto de ecosistema para poder especificar el caso o el rango del caso (Jax et al, 1992). Esto es el “modelo”. A pesar de la variedad de modelos ecosistémicos, estos comparten algunas figuras claves. Primero la definición conceptual del ecosistema esta expresada en todos estos diferentes modelos. Cada uno incluye algún tipo de complejo biótico y abiótico, y las interacciones que los conectan internamente y así también cada modelo se encuentra en un área espacial identificada y delimitada.

Las dos dimensiones de ecosistema ya discutidas que son significado y modelo requieren de metodologías precisas. Sin embargo, el ecosistema también tiene un uso informal y simbólico. En este sentido metafórico, el ecosistema puede representar distintos conceptos o valores. Una metáfora particular es estimulada por los ecologistas por ejemplo al extender las barreras espaciales de ecosistemas urbanos que permitan incorporar las áreas remotas que entreguen los recursos y procesen los desechos (Pickett y Cadenasso, 2001).

La teoría de ecosistemas y su aplicación en el estudio de ecosistemas, ha sido recientemente revisado, sistematizado y cuestionado entre otros por O'Neill (2000) y Pickett & Cadenasso (2001). De hecho O'Neill titula su trabajo: “¿es ya momento de enterrar el concepto de ecosistema?” Si el concepto de ecosistema ha ocupado un lugar tan importante en la ecología y ha sido tan productivo en nuevas ideas, ¿porque cuestionarlo? El concepto de ecosistema es un paradigma, una estructura intelectual a priori, una forma específica de mirar la naturaleza, no es una observación empírica a posteriori. El paradigma enfatiza y focaliza en algunas propiedades de la naturaleza, mientras ignora y re-enfatiza en otras. Sin embargo, después de medio siglo de aplicación, como es usual en ciencias los paradigmas son sometidos a revisión debido a que algunas limitaciones en el concepto se están mostrando cada vez mas obvias (O'Neill 2000). Así entonces la flexibilidad del concepto ecosistema ya no se sabe si es una virtud o un defecto. Por otra parte se ha argumentado que el concepto de ecosistema no es una teoría científica, sino simplemente una declaración sobre relaciones y/o restricciones físicas a las cosas vivas (O'Neill, 2000).

Conceptos tales como estabilidad y ecosistema son ambiguos y se han definido en forma contradictoria. De hecho según Soule y Lease (1995) no existe un ecosistema integrado, equilibrado y homeostático. Por otra parte se han propuesto numerosas definiciones para ecosistema sin que una definición exacta y única del concepto se haya consensuado. Esta voz de cautela respecto del concepto en que se funda el modelamiento realizado en esta memoria de título deja en claro que el resultado de este esfuerzo es una interpretación de las relaciones entre procesos bióticos y abióticos que explican el transporte de materia orgánica en el sector.

8.2 *Discusión de los resultados.*

Este proyecto de título sobre aportes de materia orgánica al fiordo Aysén corresponde a esta dimensión donde conveniencia y bordes físicos son la motivación más común para establecer en primer lugar los límites al ecosistema.

Para este trabajo con respecto a establecer los límites del ecosistema cuando se requiere estudiar flujos en áreas extensas de elementos que se encuentran disueltos en agua, resultó útil el criterio que implica definir los límites de un ecosistema en función de la propiedad de ser transportados por el agua. Al definir así los límites, no es por las propiedades del elemento estudiado, sino que es el agente que transporta al elemento el que determina los bordes físicos. El agua líquida tiene la propiedad de fluir en forma superficial o por el interior del suelo, y con ello define un patrón de circulación de los elementos disueltos o particulados (en este caso la materia orgánica particulada y disuelta). Lo que se propone es que todos los flujos convergen en la entrada de los tres sistemas que son, las cuencas de los ríos Aysén, Condor y Cuervo. No se considera si existe o no homogeneidad interna en la cuenca respecto de los valores de los flujos. En consecuencia, lo observado en el punto de salida de la cuenca es la integración de estas diferencias en un único valor y en este caso de tres cuencas. Este es un criterio funcional, donde la dirección de los flujos del agua hacia la cuenca es el criterio para establecer los límites del ecosistema. El criterio de cuenca, es un criterio basado en la hidrología y determina límites que son apropiados para determinados tipos de preguntas, por ejemplo, el ingreso de nutrientes o de materia orgánica desde el ecosistema terrestre. De este modo no se consideraron otras variables para definir los

límites del ecosistema pero si se acoplan una serie de nuevos criterios para continuar con una delimitación con respecto al fiordo mismo. Esta es una delimitación de multicriterio que define al ecosistema en términos de procesos.

Con respecto a si la delimitación se desarrolló correctamente o en realidad se estaba en la presencia de mas de un ecosistema, surgieron también dudas. Basado en estudios de ecología de paisajes es posible respaldar lo propuesto: que en este tipo de fiordos la zona de transición bosque - columna de agua no existe o es mínima, es decir las configuraciones espaciales determinan los aportes (Gergel, 2005) o las tasas de los flujos.

Para el fiordo Aysén se identificaron los componentes que debían ser incluidos y especificados para el modelo y a que nivel de agregación deberían ser evaluados, considerando que los principales componentes son entidades biológicas, sociales o geofísicas. Se conoce además que los principales aportes de material particulado provienen de la productividad biológica en las aguas superficiales, el torrente fluvial y la erosión costera. En base a lo anterior, está investigación buscó específicamente identificar cuales eran y de donde venían los principales aportes de materia orgánica, para posteriormente integrar en el modelo aquellos indispensables o simplemente los mayores. En un comienzo se realizaron comparaciones entre el fiordo Aysén y otros fiordos, como aquellos de altas latitudes, donde existen datos cuantitativos aún cuando estos presentaban diferencias morfológicas importantes. Tal es el caso de las rías Gallegas que son relativamente someras ($\gg 30$ m) y de rápida renovación ($\gg 3$ días) (Prego, 1982) y los fiordos noruegos que son mas profundos ($\gg 1000$ m), y de baja renovación ($\gg 2$ años) (Wulff, 2001). Por estas diferencias, el trabajo se basó posteriormente en estudios locales que señalan que la materia orgánica terrestre que ingresa a los fiordos australes chilenos se origina de los bosques nativos existentes en los alrededores (Silva y Prego 2002), lo que permite respaldar la selección de componentes realizada. La construcción del modelo conceptual generó un proceso largo de simplificación, reduciendo al mínimo posible el número de componentes, de variables de entrada y de interacciones. Así se estableció la importancia relativa de las bacterias y del fitoplancton, que generan las mayores abundancias de la materia orgánica viva (Hansell y Carlson, 2002), como aquellos los componentes mayores del fiordo. En

zonas costeras generalmente hay una relación directa entre las concentraciones de materia orgánica particulada depositada en el sedimento y la intensidad de producción biológica que ocurre en la columna de agua. Alrededor del 25 al 50% de la producción primaria de la superficie llega al fondo después de caer por la columna de agua (Nixon, 1995; Farías, et al., 1996). En consecuencia la situación más común es encontrar zonas de alta producción primaria asociada a sedimentos con altas concentraciones de reservas orgánicas. Por lo tanto, el contenido orgánico de los sedimentos superficiales o SOC (Organic carbon in surface sediment), permiten describir la productividad del fiordo. Más aún según datos del crucero CIMAR 4, donde se analizaron fiordos y canales de Aysén, demostraron que la mayor presencia de carbono orgánico en la región fue de $> 2.4 \%$ en los fiordos **Aysén** y Ventisquero y en los canales Moraleda, King, Darwin, Puyuhuapi y canal Costa (Silva y Prego, 2002). Esto nos indica una alta producción de fitoplancton o producción primaria en toda esta zona. Específicamente en el fiordo Aysén las profundidades del sedimento varían y la materia orgánica en sedimentos osciló entre 4 y 9 %, siendo poco variable longitudinalmente (Anexo 7). Por lo tanto también en este fiordo habría una alta producción o aportes importantes de materia orgánica. Como se explicó para la delimitación del ecosistema, en este trabajo se extendieron las barreras espaciales más allá de la superficie del fiordo mismo y se incorporaron áreas contiguas que entregan recursos por los componentes silvestres involucrados que son principalmente los bosques. A estos se les denominó aportes alóctonos por venir desde fuera de la columna de agua. De esta forma se incorporan ingresos antropogénicos de materia orgánica provenientes principalmente de las ciudades, aún cuando la densidad poblacional aquí es bastante baja, siendo una de las más bajas de Chile. Puerto Aysén tiene 15865 hab. y Puerto Chacabuco 1442 hab., donde destacan los usos del suelo residencial e industrial (DGA, 2004). Otros ingresos antropogénicos que resultaron relevantes fueron los aportes provenientes de la industria pesquera (mariscos y peces), y el incremento de la acuicultura de esta zona. En el caso de la cabeza del fiordo, zona en donde desemboca la mayoría de los aportes recién comentados, existe una baja tasa de renovación (3 años) que se refleja en la presencia de bajos valores de oxígeno disuelto en la zona profunda y los valores relativamente altos de nutrientes y materia orgánica en este mismo sector (Guzmán, 2004). Debido a la baja circulación de la cuenca, la respiración de la materia orgánica suspendida favorece la disminución de

oxígeno disuelto y aumenta la concentración de nutrientes. Además el aporte de materia orgánica total en los sedimentos transportados por los ríos al sistema contribuye a esta situación. Maturana (1997), determinó concentraciones de MOT > 10% en sedimentos de la cabeza del fiordo.

Recientemente el estudio de Rebolledo et al (2005) mostró que también hay aporte de las aguas de los ríos en materia orgánica autóctona en cierto porcentaje, es decir, la contribución del fitoplancton de los ríos es significativa al fiordo. Las tasas de acumulación y la concentración de diatomeas y silicoflagelados, carbono orgánico y sílice biogénico son utilizadas como indicadores en la producción exportada y las fluctuaciones de diatomeas en agua dulce como indicadores de la precipitación y descargas de los ríos. Además se encontró con que los grandes incendios que existieron a mediados de 1800 (indio talador Pichi Juan contratado para que quemar toda la zona de Coyhaique para abrir terreno para la agricultura) generaron que todo el material fuera drenado por la cuenca. Esto debiere ser un componente importante a considerar con relación a la materia orgánica existente en el fiordo. También existen antecedentes en donde algunos de los componentes seleccionados pueden ser despreciables. Por ejemplo, un trabajo realizado en la bahía de Concepción demostró que alrededor del 96% de la materia orgánica en ese lugar proviene de la fotosíntesis realizada por macroalgas y fitoplancton (Rudolph et al, 2002). Luego, esta materia orgánica es incorporada por heterótrofos que son transformadores de ella. Estos son principalmente bacterias, zooplancton, organismos del macrobentos y peces. Aquí el componente alóctono no es relevante como si lo es para el caso ecosistema fiordo Aysén. De esta forma se observaron grandes diferencias en ciertos ecosistemas aparentemente parecidos.

Después de establecer la escala espacial y temporal del modelo y de encontrar los principales componentes se buscó articular las conexiones entre estos. El modelo permitió hacer estas conexiones explícitas. Demostró cuales son los componentes y entidades que están conectadas entre sí, cuales están unidas indirectamente o si tienen escasa interacción. Si hay una estructura jerárquica de componentes funcionales en un sistema basado en la fuerza de las conexiones. Esa fue la pregunta principal que hubo que responder para

describir como los componentes de un modelo ecosistémico están conectados. La aplicación de la teoría jerárquica como un marco conceptual para sistemas complejos, se utilizó aquí como criterio para estudiar las interacciones de los procesos que ocurren en el fiordo a distintas escalas. Esta aproximación permitió separar distintos niveles. Por ejemplo se consideró que el nivel jerárquico superior más lento que restringe, serían las interacciones que ocurren entre el clima y la cuenca hidrográfica y todos los procesos hidrológicos e hidrográficos del fiordo. Luego viene el nivel focal o materia orgánica en el fiordo mismo y se refiere a todos los procesos o interacciones que se producen entre los distintos componentes vivos de la columna de agua incluyendo la MOD. Luego la escala disminuye y se encuentran las explicaciones en un nivel inferior o de menor escala como sería el proceso de herbivoría que remueve materia orgánica particulada y la sedimentación donde la materia orgánica decanta hacia el fondo.

Un factor importante que de cierta forma se soslayó en esta memoria fueron los entes sociales involucrados. Existen estudios (Proyecto INCO) que sugieren utilizar estos modelos ecosistémicos como una manera muy útil de comunicación con el público y los que toman decisiones. El interés de los afectados, participantes o usuarios (stakeholders) en el uso de un modelo ecosistémico puede ser instrumental en la actual construcción de él (Constanza y Jorgensen, 2002). Involucrando a los “stakeholders” o usuarios durante el proceso de modelación mediada puede ayudar a asegurar que los modelos construidos sean relevantes y respetados. Esto corresponde a una dimensión de la idea de ecosistema, que rebasa los objetivos de este trabajo.

Todas estas aproximaciones pueden guiar a nuevos investigadores o nuevas investigaciones ecosistémicas como también ayudan al público en general a entender el valor del comportamiento de lo que se considera ecosistémico.

9. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas en el presente trabajo fueron las siguientes:

- La amplitud del enfoque ecosistémico permitió delimitar el “ecosistema fiordo Aysén” mas allá del cuerpo de agua, considerando como constitutivo del sistema los componentes asociados a las cuencas hidrográficas.
- El número de componentes mínimo para el “ecosistema fiordo Aysén” fue de seis, separados en aportes alóctonos y autóctonos de la materia orgánica. Estos componentes o aportes directos son el fitoplancton, los ríos que traen todo el material de los suelos-bosques, el material desaguado por las ciudades y los centros de cultivos.
- Las interacciones entre componentes, establecida a través de los distintos procesos por los cuales pasa la materia orgánica es decir producción, descomposición, resuspensión, etc. convergen en un nivel principal que corresponde a la columna de agua y los sedimentos.
- Los componentes antropogénicos en el fiordo Aysén tendrían menores aportes en materia orgánica en comparación con los componentes silvestres (fitoplancton y suelo-bosques), sin embargo tienen su mayor influencia en la cabeza del fiordo (bahía de Chacabuco).

10. BIBLIOGRAFÍA

Aracil, Javier. 1995. Dinámica de sistemas. Serie de Monografías de Ingeniería de sistemas. Isdefe. Madrid, España. 87 pp.

Cáceres, M., Valle-Levinson, A., Sepúlveda, H. H. & Holderied, K., 2002. Transverse variability of flow and density in Chilean fjord, *Continental Shelf Research*, 22: 1683-1698.

Castro, C. & Landaeta, M., 2004. Variaciones diarias de la distribución vertical de estadios tempranos de peces, con especial referencia a la merluza de cola *Macruronus magellanicus*, en la zona de los canales, XI Región. Informes preliminares, Cimar 9 Fiordos. Comité Oceanográfico Nacional. 71-85 pp.

Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2001. Estudio de impacto ambiental del proyecto ALUMISA. Gobierno de Chile.

Constanza, R. & Jorgensen, S. E. (eds), 2002. Understanding and solving Environmental Problems in the 21st Century: Toward a new integrated hard problem science. Elsevier, Amsterdam, Boston, London, New York, Oxford, Paris. 256 pp.

Dirección General de Aguas, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Aysén. Gobierno de Chile. Cade-Idepe consultores. 130 pp.

Farías, L., Chuecas, L., Salamanca, M. A., 1996. Effect of coastal upwelling on nitrogen regeneration from sediments and supply of ammonium to water column Concepción Bay. Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*: 43: 137-155.

Ford, A. 1999. An Introduction to system dynamics modeling of environment systems. En: *Modeling the Environment*. Island Press, Washington D.C. 7: 69-87.

Forecos, 2004. ¿El bosque produce salmones? [En línea] Disponible en el WWW: http://www.bioplanet.net/magazine/bio_sepoct_2002/bio_2002_sepoct_desarrollo1.htm (consulta: 17 Mayo de 2004).

Forrester, J. W., 1971. Principles of Systems, (2nd ed.). Pegasus Communications. Waltham, M.A. USA: 387 pp.

Gajardo, R., 1994. La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica. CONAF. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 165 pp.

Geider, R., 1987. Light and temperature dependence of the carbon to chlorophyll a ratio in microalgae and cyanobacteria: Implication for physiology and growth of phytoplankton. *New Phytologist*. 106: 1-34.

Gergel, S. E., 2005. Spatial and non-spatial factors: When do they affect landscape indicators of watershed loading? *Landscape Ecology* (2005). Springer. Vancouver, Canada. 20: 177-189.

Glosario de términos geográficos, 2004. Fiordo [En línea] Disponible en WWW: www.bcn.cl/pags/info_regional/glosario.htm (Consulta: 28 de Mayo)

Guerra, D. & Silva, N., 2004. Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes entre la Boca del Guafo y el Fiordo Aysén. Informes Preliminares, Cimar 9 Fiordos. Comité Oceanográfico Nacional. 15-24 pp.

Guzmán, D., 2004. Caracterización hidrográfica, oceanográfica y balance de nitrógeno y fósforo del fiordo Aysén. Tesis de magíster en oceanografía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile. 74 pp.

Hansell, D. & Carlson, C., 2002. Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter. Academic Press. San Diego, California, Estados Unidos. 755 pp.

Jax, K., Zauke, G. & Vareschi, E., 1992. Remarks on terminology and the description of ecological systems. En: Ecological modeling. Elsevier Science Publishers. Amsterdam, Holanda. 63: 133-141.

Jones, G. & Lawton, J.H., 1995. Linking species and ecosystems. Chapman & Hall, Inc. Nueva York, Estados Unidos. 387 pp.

Jorgensen, S. E., 1992. Integration of ecosystem theories: A pattern. En: Ecology and environment (Volum 1). Kluwer Academy Publishers. Dordrecht/ Boston/ Londres. 383 pp.

Kemp, W. M., Smith, E. M., Marvin-DiPasquale, M. & Boyton, W. R., 1997. Organic carbon balance and net ecosystem metabolism in Chesapeake Bay. Marine Ecology Progress Series 150: 229-248.

Kinzig, A., 2001. Bridging disciplinary divides to address environmental challenges. Ecosystems, 4: 709 – 715.

Levin, S.A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. Ecology 73: 1943-1967.

Likens, G. E., 1992. The ecosystem approach: Its use and abuse. En: Excellence in ecology (O. Kinne). Ecology Institute, New York Botanical Garden. 15-38 pp.

Maass, J.M. & Martínez, A. 1990. Los Ecosistemas: Definición, Origen e Importancia del Concepto. Ciencias, (especial 4). Centro de Ecología UNAM. 10-19 pp.

MacMahon, J.A. 1998. Empirical and Theoretical Ecology as a Basis for Restoration: An Ecological Success Story. En: Success, Limitations, and Frontiers in Ecosystemic Science (Michael L. Pace & Peter M. Groffman), Springer, New York. 9: 220-246.

Marín, V., Delgado, L. & Vila, I., 2006. Sistemas, ecosistemas y cuenca hidrográficas. En: Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. (Eds.) Vila, I., Veloso, A., Schlatter, R. & Ramirez, C. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. Cap. 1: 5-15.

Maturana, J. 1997. Distribución de materia orgánica, carbono total, carbono orgánico, carbono inorgánico, nitrógeno orgánico y fósforo total en los sedimentos superficiales de la zona de canales australes, entre Puerto Montt y Laguna San Rafael. Tesis para optar al Título de Oceanógrafo. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso.

Montecino, V., Paredes, A., Vargas, C., Uribe, P., Giglio, S., Manley, M. & Pizarro, G., 2004. Características bio-ópticas asociadas con productividad biológica en la Región de Aysén: Absorción *in vivo* y abundancia de las fracciones de tamaños del fitoplancton en agosto y noviembre 2003. Informes Preliminares, Cimar 9 Fiordos. Comité Oceanográfico Nacional. 89-101 pp.

Muller & Leupelt, 1998. Ecotargets, Goalfunctions and Orientors. Springer-Verlag. Heidelberg, Germany. 619 pp.

Nixon, S. W., 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41: 199-219.

Olivares, J. P. 2002. Clasificación de fiordos y canales del sur de Chile (43,5° - 46,5° Sur) de acuerdo a la estratificación de la columna de agua. Trabajo de titulación para optar al Título de especialidad de Ingeniero Naval Hidrográfico y Oceanógrafo. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de Chile (SHOA). 77 pp.

O'Neill, R. V., 2000. Is it time to bury the ecosystem concept? *Ecology*, 82 (12), 3275-3284.

Pace M. L. & Cole C. J., 2002. Synchronous variation of dissolved organic carbon and color in lakes. *Limnology and Oceanography*. 47 (2): 333-334.

Palma, S., Apablaza, P. & Soto, D., 2004. Áreas de agregación de organismos gelatinosos en canales australes. Informes Preliminares, Cimar 9 Fiordos. Comité Oceanográfico Nacional. 121-134 pp.

Pickard, G. 1971. Some physical oceanographic features of inlets of Chile. *Journal Fishery Research Board of Canada* 28 (8): 1077-1106.

Picket, S. T. A. & Cadenasso, M. L., 2001. The ecosystem as a multidimensional concept: Meaning, Model, and Metaphor. *Ecosystems* (2002). New York, USA. 5: 1-10.

Pomeroy, L. R. & Alberts (ed), J. J., 1988. *Concepts of Ecosystem Ecology*. Springer-Verlag. New York. 5-27 pp.

Prego, R. 1982. Intercambio de sales nutrientes entre cuerpos de agua oceánicos, seguido por métodos químicos. Memoria para optar al grado de Doctor en Química. Universidad de Santiago Compostela. España. 281 pp.

Proyecto INCO, 2004. Integrate ecological coastal zone management system (ECOMANAGE) 2004. Portugal, Holanda, Italia, Brasil, Argentina, Chile y la comunidad económica europea. (www.ecomanage.info).

Rebolledo, L., Lange, C. B., Figueroa, D., Pantoja, S., Muños, P. & Castro, R., 2005. 20th century fluctuations in the abundance of siliceous micro organisms preserved in the sediments of the Puyuhuapi channel (44°S) Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 469-488.

Rudolph, A., Franco, C., Becerra, J., Barros, A. & Ahumada, R., 2002. Evaluación Materia Orgánica e Hidrocarburos Poli cíclicos en sedimentos de la bahía de Concepción. *Boletín Sociedad Chilena Química*. Vol. 47 número 4. Concepción.

Ryding, S.O. & Rast, W. 1989. El control de la Eutrofización en lagos y pantanos. Unesco y Ediciones Pirámide, Madrid. 106 pp.

Sepúlveda, J., S. Pantoja & K. Hughen. 2004. Diagénesis temprana en sedimentos de Canal Puyuhuapi, XI región (44° S). Libro de Resúmenes. XXIV Congreso de Ciencias del Mar. Coquimbo. 117 pp.

Serey, I. & V. Montecino. 2004. Apuntes de clases del curso Ecología de Paisaje. Universidad de Chile.

Sievers, H. & R. Prado. 1994. Contraste de las características oceanográficas del Seno Aysén, Chile, entre invierno y verano (Lat. 45° 20' S). *Revista de Biología Marina*, 29(2): 167-209.

Silva, N. & R. Prego. 2002. Carbon and nitrogen spatial segregation and stoichiometry in the surface sediments of southern Chilean inlets (41° - 56° S). *Estuarine and Continental Shelf Science*. 55: 763 – 775.

Soule, M. & Lease, G., 1995. Reinventing Nature? En: Reinvention of nature. Island Press. Washington, D.C.

Tansley, A.G. 1935. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms, En: *Foundations of Ecology*. The University of Chicago Press. Chicago y Londres. 16: 284 – 307.

Ureta, T. 2004. En el filo de la Navaja de Occam. Editorial Universitaria, Santiago.

Varela, F., 2004. Biología del conocimiento. París luce legado de Francisco Varela. El Mercurio, Cuerpo A, pagina 11. Lunes 22 de Junio de 2004.

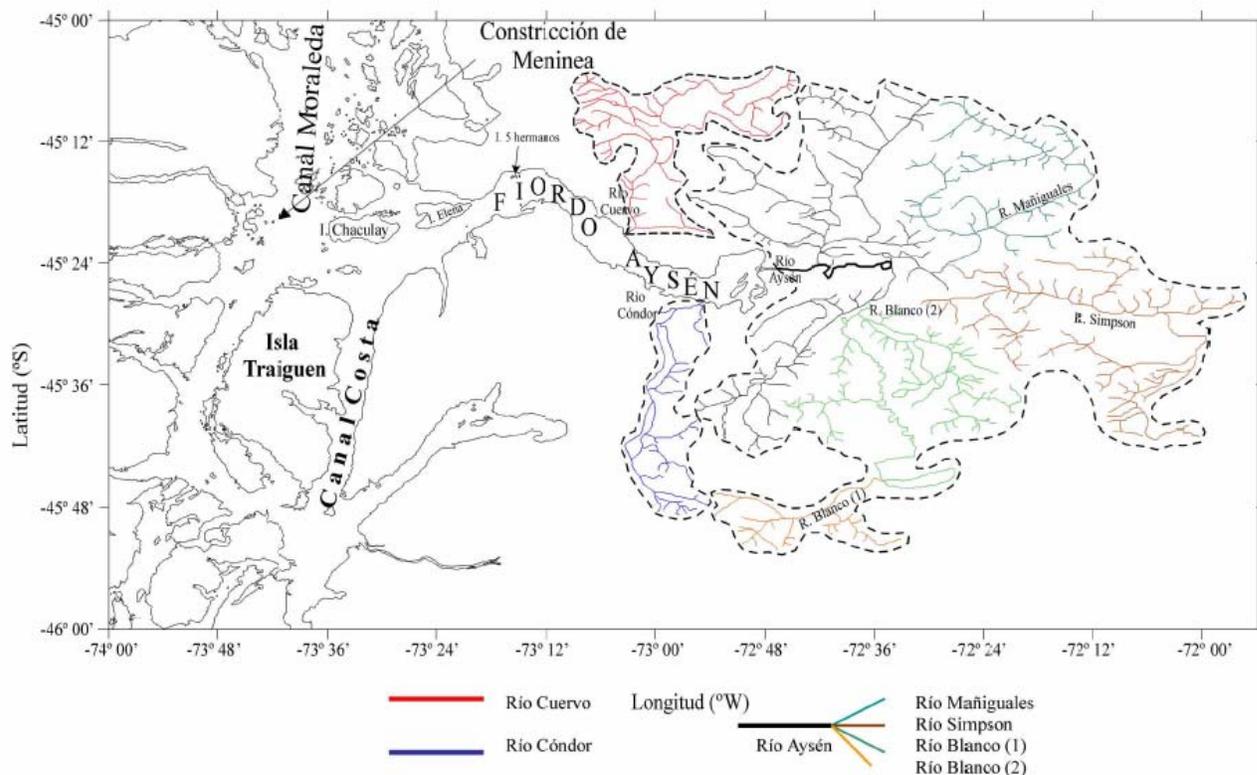
Vargas, C. & Gonzáles, H., 2004. Plankton community structure and carbon cycling in the coastal upwelling system. II. Microheterotrophic pathway. *Aquatic Microbial Ecology* Vol. 34: 165-180.

Wulff, F., L. Rahm & D. Swaney. 2001. The Baltic Sea: Nutrient budgets of the sub-basins of an estuarine sea. Página www. [http://data.ecology.su.se/MNODE/Europe/BalticRegion/Baltic2001/baltic_seabud.htm]. (Revisado en Junio del 2005).

11. ANEXOS Y FIGURAS

Anexo 1

a) Hoya hidrográfica del fiordo Aysén (D. Guzmán, 2004)



b) Promedio 10 años caudales principales afluentes del fiordo Aysén (Ministerio Obras Públicas, Dirección General de Aguas).

Ríos afluentes	Caudal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Aysén	515
Cuervo	99
Condor	49

c) Caudales medios mensuales del río Aysén (m^3/s)

(Ministerio Obras Públicas, Dirección General de Aguas).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2002	378.0	286,79	637,61	644,30	611,00	274,97	765,47	591,29	526,13	1126,45	809.97	799.90
2003	643.8	490,82	329,07	196,87	333,03	857,30	461,93	559,00	562,67	1147,10	980.11	
2004	587.6	285,28	331,23	782,57	326,71	818,70	685,10	400,45	659,90	659,55	598.57	

Lugar de Medición de Caudales Río Aysén:

Latitud Sur: 45 24 00

Longitud O: 72 42 00

SubCuenca: Río Aysén entre Río Riesco y Desembocadura

Anexo 2

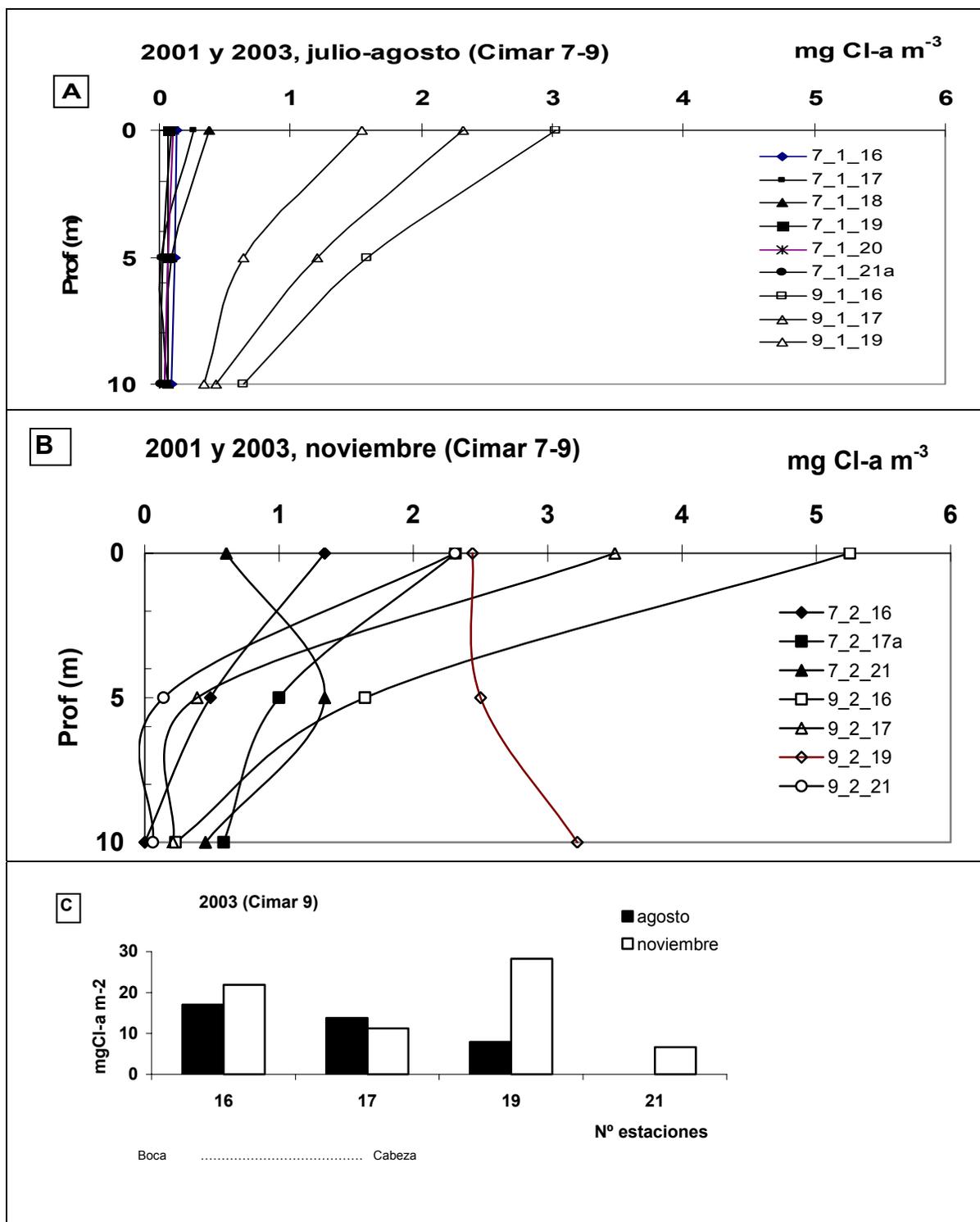
Clasificación Vegetacional de la Cuenca del río Aysén

Región	Subregión	Formación
Bosque andino patagónico	Cordilleras Patagónicas	Bosque caducifolio de Aysén
Bosque siempreverde de turberas	Bosque siempreverde con coníferas	Bosque Siempreverde de Puyuhuapi
	Bosque siempreverde micrófilo	Bosque Siempreverde Montano
Estepa patagónica de Aysén	Matorral y de la estepa patagónica de Aysén	Estepa patagónica

(Gajardo, 1994. Vegetación natural de Chile)

Anexo 3

Abundancia de la materia orgánica en biomasa del fitoplancton, medida como clorofila a (Cl-a), durante los cruceros CIMAR 7 y CIMAR 9 en el fiordo Aysén.



Los resultados para diferentes profundidades en la columna de agua son de julio 2001 y agosto 2003 (A) y noviembre 2001 y 2003 (B). A lo largo del fiordo en las mismas estaciones de muestreo se muestran los valores integrados entre 0-10 m para agosto y noviembre 2003 (C). (V. Montecino, datos no publicados).

Anexo 4

Riles de industrias de alimento con Mayor Impacto 1999 por medición de DBO (Molinet y col. 1999)

Pto. Chacabuco	Industria	Caudal l L/seg.	T^a	O.D (mg/l)	% O.D	PH	Redox (mv)	SAL (%)	Prof. (m)	Sol.Sed (ml/l)	DBO5 (mg/l)
RIL 1	Friosur	5,5	14,9	6,23	66,5	7,66	74	13,6	0,3	0,5	621
RIL 2	Pesca Chile	14,6	13,7	5,1	56,2	7,65	69	22,3	0,3	1,5	321
RIL 3	Comtesa	4,2	8,4	8,51	73	7,65	86	0,22	0,4	2,1	321
Puerto Aysén											
RIL 4	Salmones Antártica	22,9	15	8,66	91,6	7,02	58	0,43	0,4	0,8	537
RIL 5	Matadero Soc. Rio Pangal	0,02	15,7	7,11	71,9	7,43	70	0,23	0,3	0,9	237

Anexo 5

Exportaciones por sector (miles de dolares FOB)

Sector	XI	%
Agricultura	8	0
Ganadería	801	0,5
Madera en Pie	2	0
Resto de Min. Metálica	24.758	15,2
Ind. Alimentos	128.378	78,9
Alimentos Forrajeros	0	0
Textiles	27	0
Forestales	8.720	5,4
Ref. Petróleo y Prod. Deriv.	19	0
Vidrio y Manuf. De Vidrio	2	0
Material Eléctrico	6	0
Material Transporte	2	0
Total	162.723	100

(CONAMA y DGA, 1999)

Anexo 6

Clasificación Usos del Suelo Cuenca del Río Aysén

Cuenca del río Aysén(Ha)	Usos del Suelo	Sup. (Hec.)	Sup. de la cuenca destinada para cada uso(%)
	Praderas	190.404	17
	Terrenos agrícolas	1.607	0,1
	Plantaciones forestales	6.121	1
1.145.600	Áreas urbanas e industriales	1.232	0,1
	Minería Industrial	60	0,01
	Bosque nativo y bosque mixto	482.014	42
	Otros Usos*	382.080	33
	Áreas sin vegetación	83.689	7

* Referidos a los siguientes usos: matorrales, matorral – pradera, rotación cultivo – pradera, áreas no reconocidas, cuerpos de agua, nieves – glaciares y humedales.

(CONAMA y DGA, 1999)

Anexo 7

Materia Orgánica en sedimento en distintas estaciones en el fiordo Aysén. Intervalo de la menor y la mayor muestra obtenida en porcentaje en cada estación y a las distintas profundidades indicadas en cada caso (Silva, 1998).

Estaciones	17	17a	19	21	22
prof. col H2O	222	339	192	160	304
prof. col sed.cm	20	9	29	20	23
Intervalos de % M. O.	6.8-7.9	4.9-7.5	6.5-9.3	4.3-7.5	6.2-7.1

(Cimar 4, Fiordos).

