

UCH-FC  
B. Ambiental  
098  
C.2



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA CARGA DE NUTRIENTES EN LA  
CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO AYSEN**

Seminario de Título  
Entregado a la  
Universidad de Chile  
en Cumplimiento parcial de los Requisitos  
para optar al Título de  
Biólogo con Mención en Medio Ambiente

Por  
Paula Alejandra Oyarzo Cuche

Agosto, 2006  
Santiago – Chile

Director de Seminario de Título: Prof. Irma Vila Pinto.



**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CARGA DE NUTRIENTES EN  
LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO AYSÉN”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los  
requisitos para optar al Título de Biólogo con mención en Medio Ambiente.

***PAULA ALEJANDRA OYARZO CUCHE***

Prof. Irma Vila Pinto.  
Directora Seminario de Título

Firma manuscrita de Irma Vila Pinto en tinta azul sobre una línea horizontal.

**Comisión de Evaluación Seminario de Título**

Dr. Víctor Marín Briano  
Presidente Comisión

Firma manuscrita de Víctor Marín Briano en tinta azul sobre una línea horizontal.

Ms. Luisa Delgado Isasi

Firma manuscrita de Luisa Delgado Isasi en tinta azul sobre una línea horizontal.

Santiago de Chile, 8 Diciembre 2006



Siento una gran necesidad de entregarme a mi país; trabajar para construir una nación más solidaria entre nosotros y nuestro medio natural. A su vez quiero hacer crecer, en forma progresiva, la conciencia ambiental en los ciudadanos y ciudadanas de este país.

Estoy convencida que todo aporte es significativo cuando alguien es capaz de recibirlo.

Para mi amado Dios Santísimo, que me ilumina cada día y  
que sembró en mi corazón el amor a mi patria, Chile.

Te pido, Dios mío, que éste sea sólo el comienzo de una  
gran entrega hacia mi País.

## AGRADECIMIENTOS

Este seminario de título es la culminación de varios años de estudio. Durante este proceso tan importante en mi vida, estuvieron presentes las siguientes personas:

La profesora Irma Vila, mi tutora y amiga, a quien agradezco enormemente su apoyo incondicional durante toda esta última etapa. Además de entregarme palabras de aliento en los momentos difíciles.

Mis correctores, profesor Victor Marín y profesora Luisa Delgado, a quienes agradezco por su paciencia y apoyo, además de animarme a ser siempre una mejor profesional.

A los laboratorios de Limnología y de Modelación Ecológica, por facilitarme su infraestructura para desempeñar mi trabajo. Por supuesto que agradezco también a todos mis compañeros de laboratorio: Antonio T, Alejandro R, Pamela B, Tania A, Mathew Y, Patricio A, Catalina S, Adriana, por compartir las ganas de creer en un mejor país, además de su alegría que siempre alentó mi trabajo.

Quiero agradecer también a Rodrigo Pardo, por su generosidad y tiempo en responder a todas mis dudas estadísticas. Por ser una persona que siempre me animó a perseverar.

Agradezco también a Francisco Riestra, representante DGA XI región, por facilitar todos los datos utilizados en este trabajo.

Finalmente, en forma muy especial quiero expresar toda mi gratitud y amor hacia mi esposo Cristian, quien me apoyó incondicionalmente durante toda esta carrera. También les agradezco enormemente a mis cuñadas, Yanina, Gloria y Verónica, por su gran ayuda y paciencia durante todo este proceso en el cual me acompañaron.

A mis padres, Germán y Ana María, por ser un apoyo constante en todo el transcurso de mi vida. A mis hermanos, David, Juan, Hugo, José y Any, les regalo este trabajo por su paciencia y comprensión al entender mi ausencia durante todos estos años. Que este pequeño y gran regalo les sirva como impulso para lanzarse a la vida, y demostrarse a sí mismos que está dentro de uno la capacidad de llegar cada vez más lejos...

Este seminario de título forma parte de las actividades del Proyecto ECOManage en Chile, el cual recibió fondos de investigación del Sexto Programa Marco de la Comisión Europea (Nº de Contrato INCO-CT-2004-003715), así como fondos complementarios de CONICYT/Banco Mundial a través del Programa de Apoyo a proyectos con la Unión Europea (Programa Bicentenario en Ciencia y Tecnología). Agradezco también el financiamiento de la exposición de este trabajo en el II Congreso Sociedad Chilena de Limnología.

## INDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1. Introducción.....	3
1.1 Caracterización de Zonas Hidrográficas de Chile .....	3
1.2 Concepto de Cuenca Hidrográfica. ....	4
1.3 Identificación de las Principales Fuentes de Nutrientes que afectan a una cuenca y su dinámica .....	6
1.4 Planteamiento del Problema .....	8
1.5 Objetivos del Seminario de Título .....	9
2. Materiales y Métodos .....	10
2.1 Descripción del Área de Estudio .....	10
2.1.1 Localización .....	10
2.1.2 Clima .....	11
2.1.3 Hidrografía.....	12
2.1.4 Suelos .....	14
2.1.5 Vegetación .....	14
2.2 Descripción de la Base de Datos de Calidad de Aguas .....	15
2.2.1 Evaluación de los Datos Disponibles y Selección de la Información .....	16
2.3 Metodología Estadística para el Análisis del Flujo de Nutrientes .....	18
3. Resultados .....	19
3.1 Diferencias Estacionales para las concentraciones de nutrientes y caudales en las subcuencas Simpson y Mañihuales .....	19
3.2 Diferencias entre las estaciones de muestreo, en relación a la concentración de nutrientes para cada una de las subcuencas .....	23
3.3 Flujo de Nutrientes en subcuenca Mañihuales y Simpson. Comparación con Flujo estimado de nutrientes en condición de cabecera .....	24
3.4 Promedio Interanual de las concentraciones de $N-NO_3^-$ y $P-PO_4^{-3}$ , para las estaciones de las subcuencas Mañihuales y Simpson.....	31

3.5 Diferencias Interanuales para caudales, precipitaciones, y flujo de nutrientes en subcuencas Mañihuales y Simpson .....	34
3.6 Estimación del Flujo de Nutrientes en la estación Río Aysén, a partir de los Flujos de las estaciones Simpson y Mañihuales. Equivalencia entre Flujo estimado y Flujo de nutrientes “in situ” para la estación Río Aysén .....	42
4. Discusión .....	44
5. Conclusiones .....	48
6. Bibliografía .....	49
7. Anexos (Tablas) .....	51

## RESUMEN

La región de Aysén experimentó grandes incendios a comienzos del siglo XX, debido a actividades relacionadas con su colonización. Esto trajo como consecuencia la erosión de los suelos deforestados, el arrastre de sedimentos y materia muerta hacia el fiordo Aysén hasta el punto de embancar los ríos, en especial Puerto Aysén. Después de 50 años de transcurrido este episodio, el presente seminario de título abordó la pregunta: ¿las actividades antropocéntricas, están afectando la calidad del agua de la cuenca, en relación a la carga de nutrientes?, y de esta forma contribuir a identificar y analizar la carga de nutrientes como un indicador de la calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica del río Aysén. Los resultados obtenidos muestran que: acorde con la clasificación internacional de calidad trófica de los sistemas acuáticos, el sistema de la cuenca hidrológica de Aysén es oligotrófico, sobre la base del análisis de datos de la Dirección General de Agua (1997-2001). Sólo los años 1998 y 1999 se mostraron con características eutróficas, en relación a las concentraciones y flujos de fosfato. En este trabajo se postula que dicha eutrofización se debió principalmente a la disminución de las precipitaciones en la cuenca, y consecuentemente a la disminución de los caudales. Por tanto, es posible concluir que las variables climáticas juegan un rol fundamental en el reciclaje y variación de las especies químicas en los afluentes de la cuenca hidrográfica del Río Aysén.



## ABSTRACT

The big fires at the beginning of the XXth century in the Aysén region produced the following consequences: erosion of the deforested soils, dragging of sediments and dead matter towards the Aysén's fiord. These consequences lead to damm up the rivers, mainly Aysén's Port. After 50 years, the question is: have anthropocentric activities affected the quality of the water of this basin, respect to its load of nutrients?. The present work identified and analyzed the load of nutrients as indicators of water quality in the hydrographic basin of the Aysén's river. The results compared with the international classification of trophic quality of the aquatic systems, were: the rivers of Aysén's basin are oligotrophic. Values of nitrate and phosphate concentration between the years 1997 - 2001, are in the range of oligotrophy. Only the years 1998 and 1999 showed eutrophic characteristics. This seems to be related to the decrease of rainfalls and caudals in the basin. At the same time, the atmospheric temperature had maximum values in these years. All these reasons let us to conclude that the climatic variables play a fundamental role in the variation and cycling of the chemical species in the affluents of the hydrographic basin of the Aysén's river.

## 1- INTRODUCCION

### 1.1 Caracterización de Zonas Hidrográficas de Chile.

Chile, con una longitud de más de 4000 km, con latitudes desde los 17° 30'S a los 56° 30'S, presenta gran diversidad de climas, morfologías y litologías, que determinan distintos comportamientos del escurrimiento de los afluentes. Sin embargo, similitudes en los caudales y en los regímenes de escurrimientos, del tipo de la red de drenaje y situación de las cuencas con respecto a las unidades morfológicas fundamentales o de su base de equilibrio, permiten agruparlas en distintas zonas hidrográficas. Se distingue una primera zona hidrográfica, el Norte Árido, con ríos de régimen esporádico. Hacia el sur sigue la zona semiárida, de ríos en torrente de régimen mixto y, donde los ríos con cabecera en la alta cordillera tienen régimen permanente (Niemeyer y Cereceda, 1984).

La Zona Central de Chile queda fundamentalmente definida por un relieve tripartito, en el cual la unidad más importante es la depresión intermedia, también llamada Valle Central. Desde el punto de vista hidrográfico, la zona central ha quedado dividida en: zona centro norte, de ríos en torrente de régimen mixto y otra centro sur de ríos tranquilos con regulación lacustre, en respuesta principalmente al tipo de escurrimiento de los ríos y su régimen.

En la Patagonia chilena, se diferencia un sector archipelágico de un sector continental norpatagónico. Aquí los ríos en su mayoría tienen nacimiento en una faja subandina oriental y, cortan la cordillera de los Andes para vaciarse al Pacífico, con caudales altos, regímenes principalmente pluviales y escurrimientos relativamente tranquilos; y una subzona surpatagónica, donde el rasgo más característico es la existencia de grandes campos de hielo en los cuales se generan glaciares de valle que alimentan a los ríos interiores o a corrientes breves casi al nivel del mar. (Niemeyer y Cereceda, 1984).

Los distintos factores que determinan el escurrimiento de los afluentes en las cuencas hidrográficas, son:

- a. **El clima**, con sus variables más importantes como temperatura, precipitación y viento, es determinante en el comportamiento hidrológico de los escurrimientos superficiales y subterráneos. En la Patagonia chilena, las mayores precipitaciones se producen en la faja archipelágica y en la faja costera del sector continental, de modo que los escurrimientos son permanentes. Las precipitaciones son interceptadas por el cordón andino, de tal

modo que hacia la vertiente oriental el agua caída disminuye y, por lo tanto, las cabeceras de los ríos que nacen al oriente de esa cordillera, contribuyen menos al escurrimiento que los tributarios que desarrollan su curso en el cordón andino occidental. Accidentalmente, el régimen natural del escurrimiento de estos ríos puede verse violentamente alterado por fenómenos locales como erupción volcánica, que produce derretimiento repentino de las nieves y hielos, provocando avalanchas insospechadas. También, fenómenos tectónicos como terremotos, apuntan también en este sentido.

- b. **El relieve** es otro determinante de los regímenes de escurrimiento, pues éstos están íntimamente relacionados con la orografía y topografía de la cuenca y, con su orientación. El desarrollo del relieve y las formas de las redes de drenaje, han sido acondicionados fundamentalmente por la historia tectónica del área en que se desarrollan. La cordillera andina de la Patagonia, provoca la precipitación en su vertiente occidental y es la causa de la existencia del desierto patagónico situado en la faja subandina oriental.
- c. **La vegetación**, es un factor determinante como regulador del escurrimiento, pues permite un almacenamiento transitorio del agua caída, de modo que esta cubierta vegetal impide la erosión del suelo y lavado de materiales de éste. El daño causado por el roce indiscriminado en las cuencas patagónicas, como la de Aysén, ha destruido la cubierta vegetal favoreciendo la erosión y el arrastre de los materiales térreos hasta el punto de embancar los ríos dejando de ser navegables. El caso más típico es Puerto Aysén, que en parte por esta causa antrópica debió ser reemplazado por Puerto Chacabuco.
- d. **La litología** y los tipos de formaciones geológicas, presentan una gran influencia en los escurrimientos, pues no sólo intervienen en las reservas de aguas subterráneas, donde los espesores de sedimentos no consolidados son suficientemente potentes, sino también en la calidad química de las aguas. (Niemeyer y Cereceda, 1984).

## **1.2 Concepto de Cuenca Hidrográfica.**

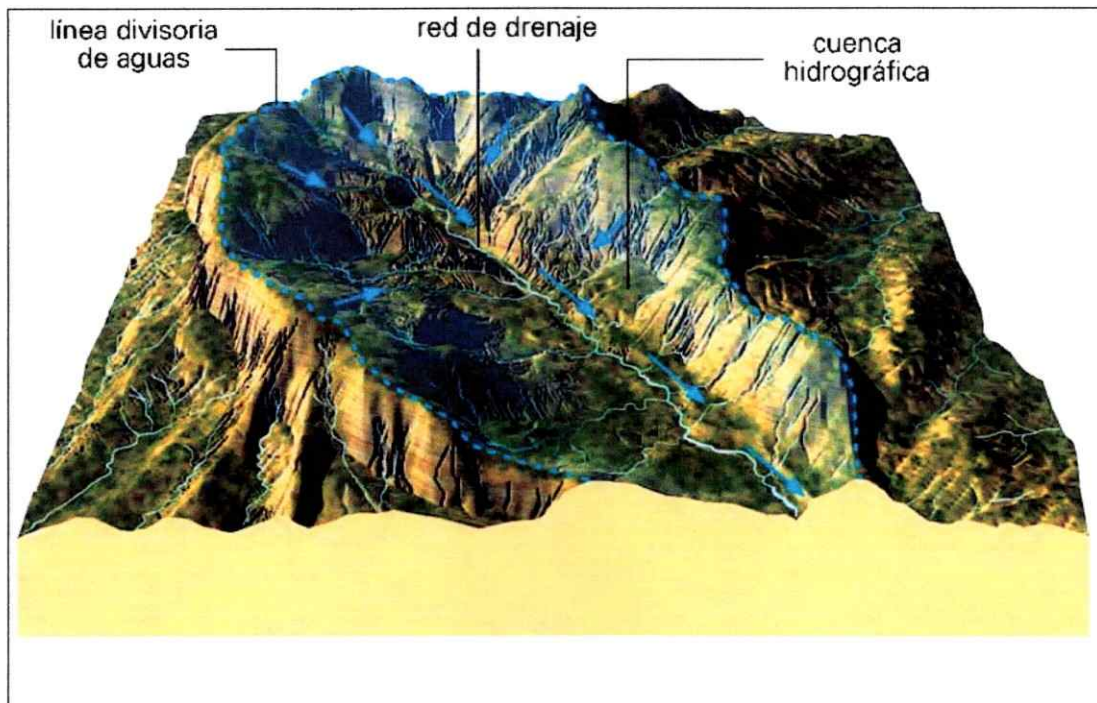
El concepto operacional de cuenca hidrográfica que se utiliza en forma clásica, la define como el área geográfica que drena sus aguas de escorrentía hacia un canal principal, donde las cadenas montañosas corresponden necesariamente con las líneas de división de las aguas. Al interior de esta área geográfica, se pueden delimitar también subcuencas o cuencas de orden

inferior. En la Figura 1 se muestra el área geográfica que corresponde a una cuenca hidrográfica y cómo los distintos afluentes drenan hacia un canal principal.

Desde otra visión, el concepto de cuenca hidrográfica contempla: “Desde una perspectiva natural éstas se consideran como áreas geográficas, constituidas por recursos naturales que interactúan entre sí, delimitadas por elevaciones naturales (normalmente sierras) y donde en particular el agua converge hacia un cauce principal. Sus límites tienen una dimensión vertical, que se extiende en sentido descendente hacia lo acuíferos y ascendente hacia las cuencas atmosféricas. Por otra parte, desde una perspectiva funcional las cuencas hidrográficas se definen como la Unidad de planificación territorial sectorizada en unidades de manejo menores denominadas subcuencas y microcuencas.”

(<http://www.imades.org/entorno/entorno08/articulo05.htm>)

**Figura 1.** Delimitación de una Cuenca Hidrográfica.



Fuente: <http://www.albertmartinez.com/BRYCE01.htm>

Varios autores señalan la interdependencia existente entre los distintos elementos que conforman el ecosistema delimitado, como cuenca hidrográfica, especialmente en los recursos hídricos ya que éstos incluyen el agua en todas las etapas del ciclo hidrológico, y con la biodiversidad que ésta soporta (peces, anfibios, microorganismos, flora, etc). La interdependencia de estos elementos, y los componentes del ciclo hidrológico, tales como la evaporación, transpiración, humedad del suelo, el agua superficial y freática, el agua costera y marítima, dentro de una perspectiva integral, sustentada por las unidades hidrológicas básicas: las cuencas y los acuíferos, definen el potencial hídrico de una región. (Garcés, 2005; Andrade, 2004). Este enfoque holista muestra una visión integrada de la cuenca hidrográfica, es decir una visión ecosistémica, que permite gestionar los recursos hídricos desde la perspectiva del manejo integrado de éstos (Marín et al 2006).

### **1.3 Identificación de las Principales Fuentes de Nutrientes que afectan a una cuenca y su dinámica.**

Los principales nutrientes que se encuentran dentro de una cuenca son, el nitrógeno en forma de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) y amonio ( $N-NH_4^+$ ), y el fósforo en forma de ortofosfato ( $P-PO_4^{3-}$ ) los cuales son compuestos constituyentes de los organismos tanto animales, como vegetales.

El fósforo es un elemento menos abundante en la tierra que el nitrógeno, y es comúnmente el más limitante de la productividad biológica en los sistemas acuáticos continentales. La mayoría del fósforo existente (más del 90 %) en estos sistemas acuáticos, se encuentra retenido como fosfatos orgánicos y constituyentes celulares en la biota, adsorbidos a materiales particulados inorgánicos y materiales orgánicos muertos. De esta forma sólo se encuentra disponible menos del 10 % de compuestos de fósforo, de los cuales sólo la forma de fosfato soluble, ortofosfato, ( $P-PO_4^{3-}$ ) puede ser usado por el fitoplancton para su crecimiento y productividad primaria. (Horne y Goldman, 1994).

Los nutrientes, son depositados naturalmente mediante aportes atmosféricos directamente a la superficie de lagos, ríos y pantanos, por precipitación y material particulado. El depósito de nutrientes atmosféricos puede incluir tanto las formas de nutrientes particulados como solubles, siendo esta última forma la dominante. La importancia relativa de los aportes de nutrientes atmosféricos dependerá de la magnitud de los aportes procedentes de otras fuentes externas a la cuenca de drenaje. Pues se ha demostrado que muchas fuentes localizadas tanto de fósforo como de nitrógeno en la cuenca, han sido importantes para estimular la eutrofización en los sistemas acuáticos. Un ejemplo de esto, son las fuentes rurales de fósforo y nitrógeno que incluyen el

desagüe terrestre desde áreas agrícolas y forestales, este impacto se debe principalmente a la distribución de abono inorgánico y estiércol animal. El empleo de abonos en los cultivos (con su alto contenido en fósforo y nitrógeno) puede aumentar las cargas de nutrientes en las escorrentías del terreno, en comparación con suelos no abonados. Otros factores que inciden en la pérdida de nutrientes son el cultivo intensivo en áreas rurales o zonas de construcción en áreas urbanas, y las prácticas de deforestación intensiva (tala de árboles y escarificación); este uso intensivo de la tierra expone al suelo a un mayor grado de erosión, y por tanto a una mayor pérdida de nutrientes. En algunas regiones con cultivos intensivos existen drenajes artificiales del suelo, éstos generalmente disminuyen la pérdida del suelo y la contaminación por fósforo, pero puede aumentar las pérdidas de nitrógeno. Esto se debe a que la capacidad de retención del suelo para el nitrógeno es menor que para el fósforo. (Ryding y Rast, 1992).

La dinámica que siguen los nutrientes en sistemas fluviales, da lugar a importantes reacciones biogeoquímicas que transforman las distintas formas de nutrientes durante su transporte río abajo; éstos son transferidos desde la columna de agua al lecho del río, allí algunos de estos nutrientes son retenidos y utilizados al ser incorporados a organismos vivos, potencialmente transferidos a otros organismos, y subsecuentemente liberados por excreciones o descomposición a la columna de agua.

Newbold et al, en el año 1981 diseñó un modelo para explicar la dinámica y reciclado de los nutrientes en sistemas fluviales, al cual llamó "Espiral del nutriente". Esta teoría demuestra cómo un átomo de nutriente puede ser usado repetidamente río abajo, recorriendo con un ciclo de tres componentes que son: a) el agua en que el átomo nutriente va disuelto; b) la fase de partícula en que el átomo va absorbido en la materia de la partícula; c) la fase de consumidor, en que el átomo es incorporado a una materia viva. Durante esta fase puede pasar directamente a través de una serie de organismos antes de volver a la fase hídrica (Welcomme, 1992). La tasa de utilización y liberación depende en gran parte de la retención física y biológica por la microbiota asociada al lecho del río, esto quiere decir que el alcance del transporte de nutrientes río abajo, es relativamente retardado al transporte del agua. La distancia total viajada entre una vuelta al agua y la siguiente se denomina longitud del espiral (S), (Newbold et al, 1981). La longitud del espiral de un nutriente sugiere el grado de disponibilidad y tasa de utilización (Wetzel, 2001). Welcomme (1992) señala también que esta distancia mide la eficiencia con que se utilizan los nutrientes en un sistema fluvial, pues cuanto más corta es la longitud del espiral, más eficiente es su uso

#### 1.4 Planteamiento del Problema.

A principios del siglo XX se inició la colonización en la región de Aysén, habilitando terrenos para el asentamiento de la población y terrenos de pastoreo, esto se realizó a través de incendios masivos que devastaron grandes extensiones de bosques en la cuenca. El impacto causado por aquellos incendios entre 1920 y 1950 fue de gran envergadura, puesto que el 60% de los bosques originales de la región fueron destruidos ([www.inia.cl/geam/Proyectos/Biodiversidad.pdf](http://www.inia.cl/geam/Proyectos/Biodiversidad.pdf)). Esto trajo como consecuencia: la erosión de los suelos deforestados, el arrastre de sedimentos y materia muerta hacia el fiordo Aysén hasta el punto de embancar los ríos, en especial Puerto Aysén, poniendo fin a su actividad portuaria y desembarque al dejar de ser navegable. Con el paso del tiempo, los terrenos deforestados fueron utilizados para prácticas agrícolas y ganaderas, lo cual tendría un impacto potencial como fuente de contaminación difusa hacia las aguas de esa zona.

Después de 50 años transcurridos del masivo incendio que deforestó gran parte de la cuenca de Aysén; y en conocimiento del desarrollo y crecimiento que ha experimentado esta región, este Seminario de Título abordó la pregunta: ¿las actividades antropocéntricas, están afectando la calidad del agua de la cuenca, en relación a la carga de nutrientes?

Es relevante saber que el transporte de nutrientes está principalmente influenciado por la cantidad de agua en la cuenca. Es decir, a mayor caudal generalmente corresponde una mayor cantidad de nutrientes transportados. (Ryding y Rast, 1992). Varias técnicas de cálculo diferentes se utilizan tradicionalmente para calcular los aportes de nutrientes anuales y se basan en una serie de mediciones del caudal y concentración realizada a lo largo de un año (Ryding y Rast, 1992). Estas técnicas incluyen:

- La carga promedio a corto plazo.
- El producto del caudal promedio a corto plazo y de la concentración media a corto plazo.
- El producto de la concentración media en peso y el caudal anual.

Cada una de estas técnicas es útil, dependiendo de la disponibilidad de datos sobre el caudal y la concentración de nutrientes.

## **1.5 Objetivos del Seminario de Título.**

### **Objetivo General.**

Determinar la carga de nutrientes (  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ) en la cuenca hidrográfica del río Aysén, relacionándola con distintas variables ambientales (variables hidrológicas y climáticas).

### **Objetivos Específicos.**

- i). Analizar la tendencia espacial y temporal de los nutrientes  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , en las subcuencas Mañihuales y Simpson, en el período 1997 – 2001.
  
- ii). Analizar la tendencia espacial y temporal de las variables climatológicas: precipitaciones y temperaturas atmosféricas en la cuenca hidrográfica del río Aysén.
  
- iii). Caracterizar la hidrología existente, relacionándola con la carga de nutrientes.



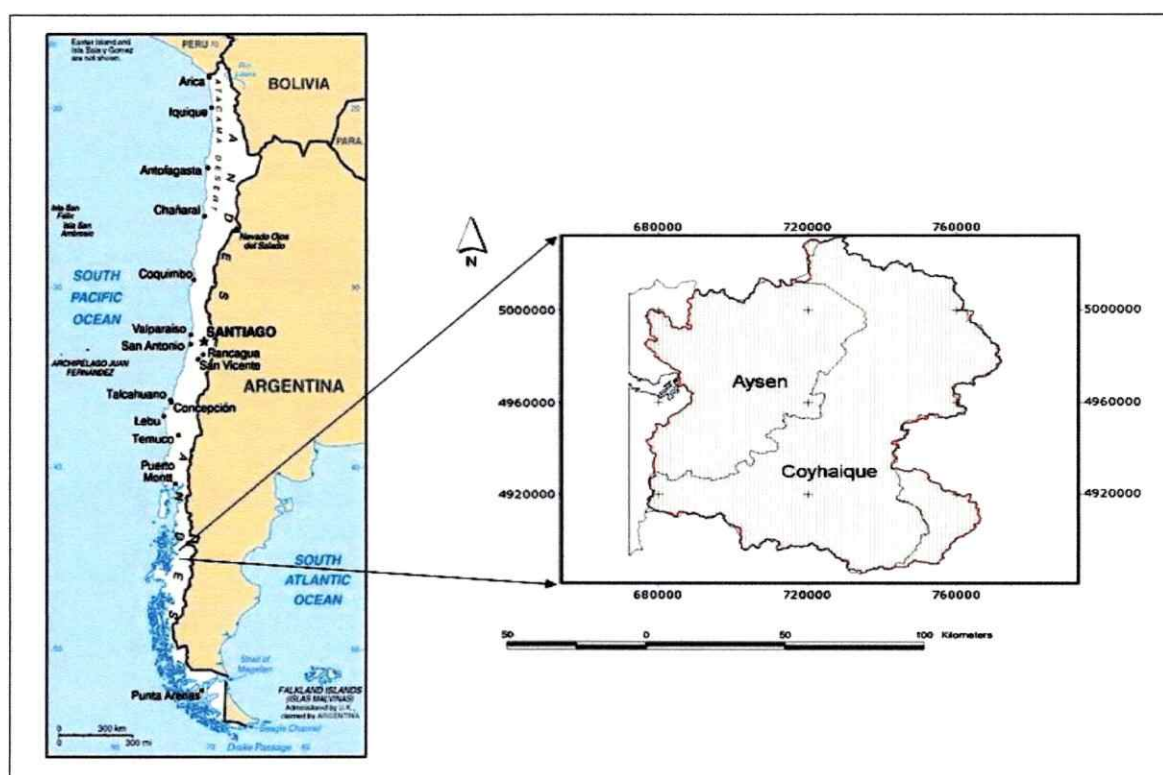
## 2- MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Descripción del Área de Estudio.

#### 2.1.1 Localización.

La cuenca hidrográfica del Río Aysén pertenece a la XI Región y se extiende entre los paralelos 45° y 46°16'S y meridianos 71°20' y 73°W, abarcando una superficie de 11.456 Km<sup>2</sup> y una altitud máxima de 2227 m, y una longitud máxima del río de 224 kilómetros (según lo calculado por un modelo de elevación de Digital (Proyecto Ecomanage, <http://antar.uchile.cl>) La cuenca cubre parcialmente el territorio de las Provincias de Aysén y Coyhaique, Fig. 2.

**Figura 2.** Cuenca Hidrográfica de Aysén.

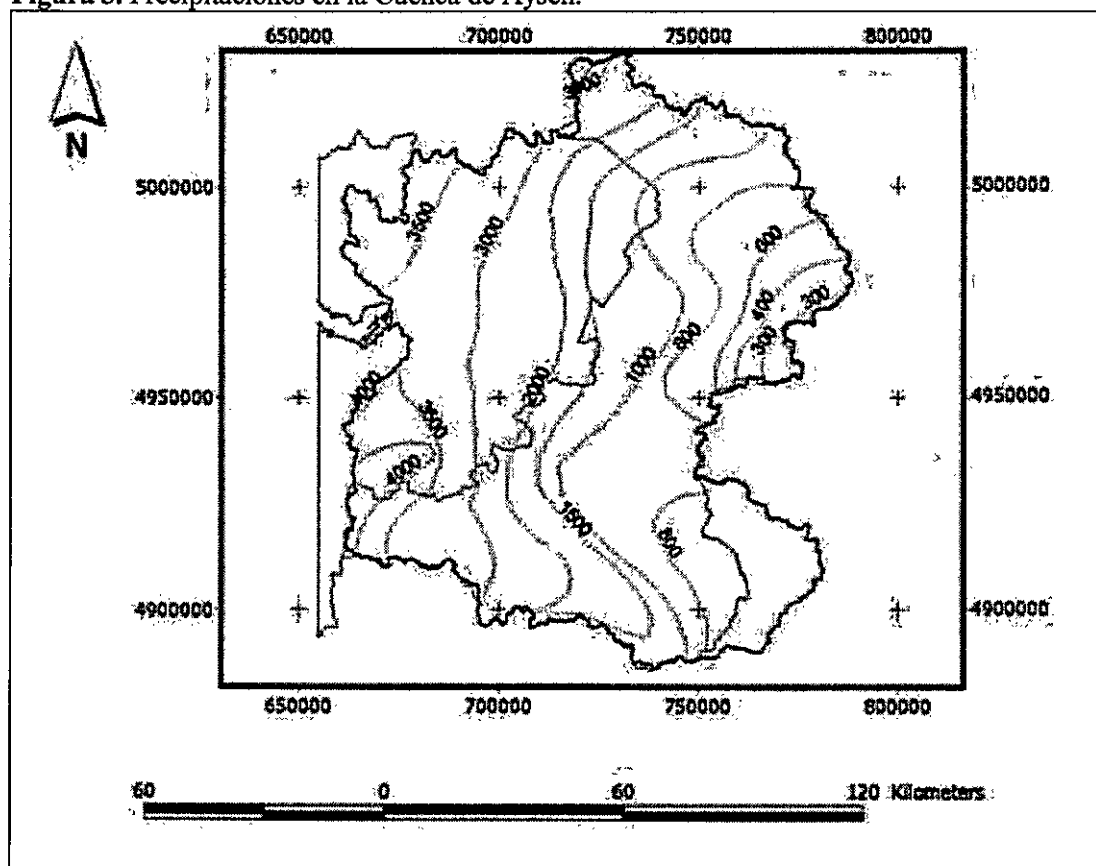


### 2.1.2 Clima.

El clima característico de la cuenca, es el clima frío oceánico de bajas temperaturas, con abundantes precipitaciones, fuertes vientos y mucha humedad. El sector costero de la cuenca, está influenciado por el clima frío oceánico del sector de archipiélagos e islas y vertiente Occidental de los Andes Patagónicos. Los promedios de agua caída anuales fluctúan entre los 3.000 y 4.000 mm. Puerto Aysén tiene una precipitación de 2.940 mm anuales. Las temperaturas son bajas con un promedio anual de 8 a 9°C, con valores máximos durante Enero. El sector centro de la cuenca se ve influenciado por el clima de estepa fría el que se presenta en la vertiente oriental de los Andes Patagónicos o transandinos. Esta zona se diferencia de la anterior porque está protegida por el cordón montañoso de la Cordillera, la que permite una disminución notable de las precipitaciones, en comparación con el sector de archipiélagos que se encuentran en la misma latitud. (Di Castri, y Hajek, 1976). En el lado Oriental los valores de las precipitaciones bajan hasta 621 mm anuales en Balmaceda, en la ciudad de Coyhaique la precipitación es de 1.385 mm anuales. La Figura 3 muestra la distribución de las precipitaciones en mm, en la cuenca de Aysén.

La escorrentía superficial en la cuenca muestra los mayores valores en el sector de río Blanco después de la junta con río Riesco (3.006 mm/año). El sector comprendido entre río Simpson antes de la junta con río Mañihuales, alcanza valores de escorrentía no superiores a 900 mm/año. Entre el río Mañihuales antes de la junta con río Simpson, los valores registrados de escorrentía son de 1.383 mm/año. Las mayores pérdidas de la cuenca como producto de la evaporación, registradas anualmente, se presentan en el sector río Oscuro, localidad de Balmaceda con 1500 mm/año. El sector que comprende el río Simpson antes de la junta con río Mañihuales, la evaporación registrada es de 1.000 mm/año. (MOP, Dirección General de Aguas. Balance Hídrico de Chile, 1987).

Figura 3. Precipitaciones en la Cuenca de Aysén.

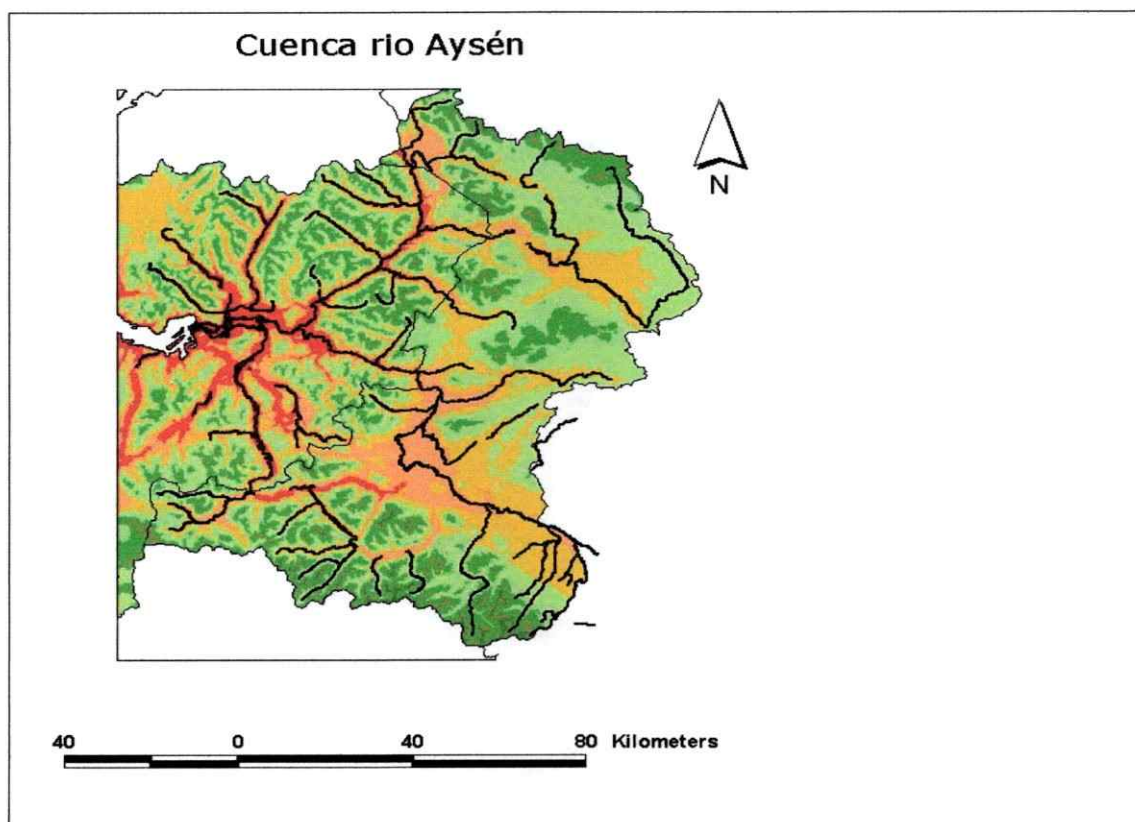


### 2.1.3 Hidrografía.

El sistema hidrográfico de Aysén está conformado por cuatro grandes subcuencas: la subcuenca del río Blanco, la del río Simpson, la del río Mañihuales y, la del río los Palos. Estas constituyen básicamente la cuenca exorreica de Aysén. En la Figura 4 se aprecia el sistema hidrográfico de Aysén, donde los ríos desembocan directamente en el fiordo hacia el mar. La subcuenca del río Mañihuales se localiza en el lado norte de la cuenca de Aysén, constituyendo el 35% de la superficie total de la cuenca, con un área de 4122 km<sup>2</sup>. El río Mañihuales recibe como afluentes principales a los ríos Ñirehuao y Emperador Guillermo, presentando en su primer tramo un escurrimiento norte-sur y luego virando hacia el poniente. La subcuenca del río Simpson se encuentra en la parte central de la cuenca hidrológica de Aysén, constituyendo el 32% de ésta con una superficie de 3.712 km<sup>2</sup>. El río Simpson drena desde la zona sur de la cuenca, en dirección nor-oeste. En su nacimiento, éste recibe tres afluentes principales: río Oscuro, río Blanco Chico y río Blanco Este, y más hacia el norte, el río Simpson recibe como afluentes al río Claro y al río Coyhaique. Por último, la subcuenca del río Blanco se sitúa en la parte sur de la cuenca hidrológica de Aysén, representando el 26% de ésta con una superficie de 3.034 km<sup>2</sup>. El

río Blanco drena de sur a norte, incorporando una cadena de lagos (Niemeyer y Cereceda, 1984). De la confluencia del río Simpson con el río Mañihuales, nace el río Aysén que desemboca en el mar. Antes de su desembocadura, el río Aysén recibe como afluente al río Blanco Oeste, el cual desagua el lago Caro.

**Figura 4.** Sistema Hidrográfico de Aysén.



Fuente: <http://antar.uchile.cl>

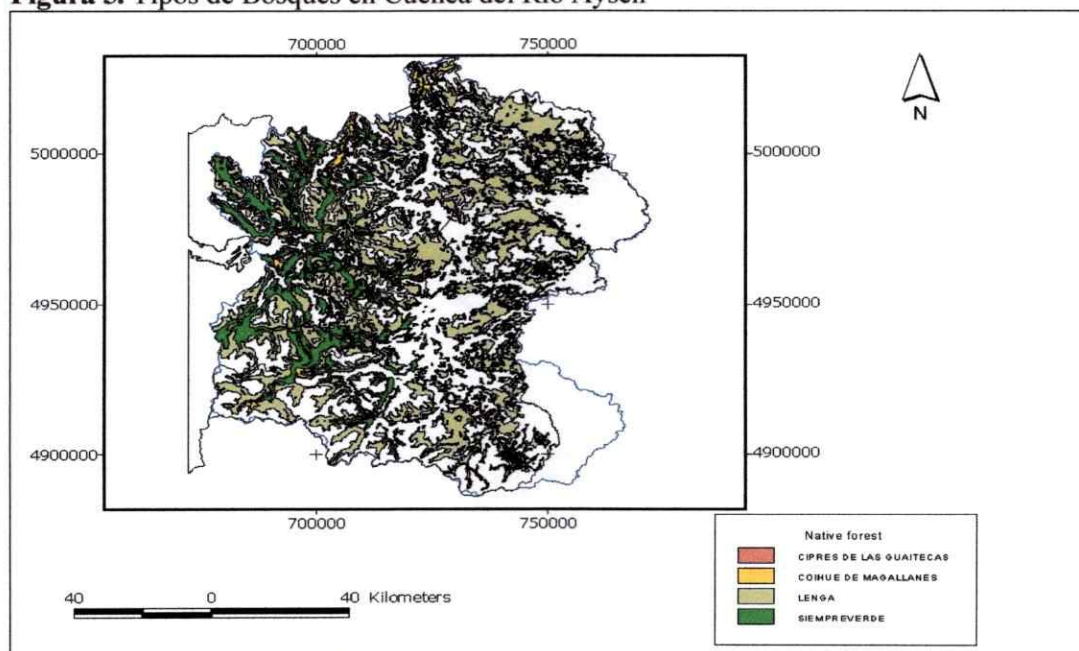
### 2.1.4 Suelos.

Los suelos más representativos de la cuenca, son de tipo volcánico. Estos suelos se ubican en las áreas más escarpadas del paisaje y se caracterizan por tener una textura gruesa (arenosa franca a muy arenosa), ser marcadamente estratificados, con bajos niveles de fertilidad y baja retención de humedad. Dentro de estos suelos de origen volcánico, uno de los grupos más representativos en el área son los “trumaos” (pertenecientes a los inceptisoles en la taxonomía de suelos), formados sobre cenizas volcánicas, en condiciones de drenaje moderadamente bueno a excelente, de topografía plana a ligeramente ondulada. Poseen estructuras bien desarrolladas, alta capacidad de retención de humedad, un pH ligeramente ácido y altos contenidos de materia orgánica. ([www.conama.cl/portal/1255/articles-31018\\_Aysen.pdf](http://www.conama.cl/portal/1255/articles-31018_Aysen.pdf))

### 2.1.5 Vegetación.

Los bosques de la Región de Aysén son aproximadamente un 99% endémicos, lo que influye positivamente sobre la calidad del agua de la cuenca, mencionándose como ejemplo los distintos tipos de bosques de coigües (*Notofagus* spp). Otra característica es la composición de las comunidades vegetales que incluyen bosques perennifolios o siempreverdes, bosques caducifolios y mixtos. En general, estos bosques corresponden a bosques templados fríos donde se encuentran representados básicamente cuatro de los doce tipos de bosque que se han identificado para Chile. La Figura 5 muestra los tipos de bosques nativos que existen en la cuenca.

**Figura 5.** Tipos de Bosques en Cuenca del Río Aysén



Fuente: <http://antar.uchile.cl>

## **2.2 Descripción de la Base de Datos de Calidad de Aguas.**

Para la realización de este estudio, los datos fueron obtenidos en formato digital de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas, a través del sistema llamado Banco Nacional de Aguas (BNA). Dicha entidad realiza un seguimiento de variables físicas, químicas y, de nutrientes en diferentes lagos y ríos de Chile desde 1990. Este seguimiento forma parte del Programa de la Red Hidrométrica de Control de Calidad de Agua, del Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos. Para la XI región, esta base de datos consta de 14 estaciones de muestreo de calidad de agua para la cuenca hidrológica de Aysén, las que se muestran en la Figura 6 y Tabla 1. De estas 14 estaciones, sólo 9 presentaron datos de medición de caudales. También se tuvo acceso a la base de datos de medición de precipitaciones en la cuenca de Aysén.

### **2.2.1 Evaluación de los Datos Disponibles y Selección de la Información.**

Se evaluó la base de datos en relación a continuidad temporal y fidelidad de éstos, considerando sólo los caudales y las concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , por ser necesarias para estimar flujos de nutrientes en la cuenca.

Los criterios de selección se especifican a continuación:

1.- *Periodos de tiempo*: Los períodos de registro de la base de datos de calidad de agua, se encuentran desde 1983 hasta 2002, existiendo un vacío en los años 1987 – 1988, y entre 1994 – 1996. Las campañas realizadas se hicieron estacionalmente: otoño, invierno, primavera, verano. Para la base de datos de medición de caudales, se encontraron registros mensuales desde 1980 hasta 2001.

2.- *Estaciones de muestreo*: Sólo algunas estaciones de muestreo presentaban los datos requeridos. La Tabla 2 muestra los períodos de registro existentes en cada una de las estaciones y para cada una de las variables estudiadas. Las estaciones de muestreo se muestran en la Figura 6, Tabla 1. Se consideraron aquellas estaciones con información de nutrientes y datos de caudal, para estimar la carga de nutrientes.

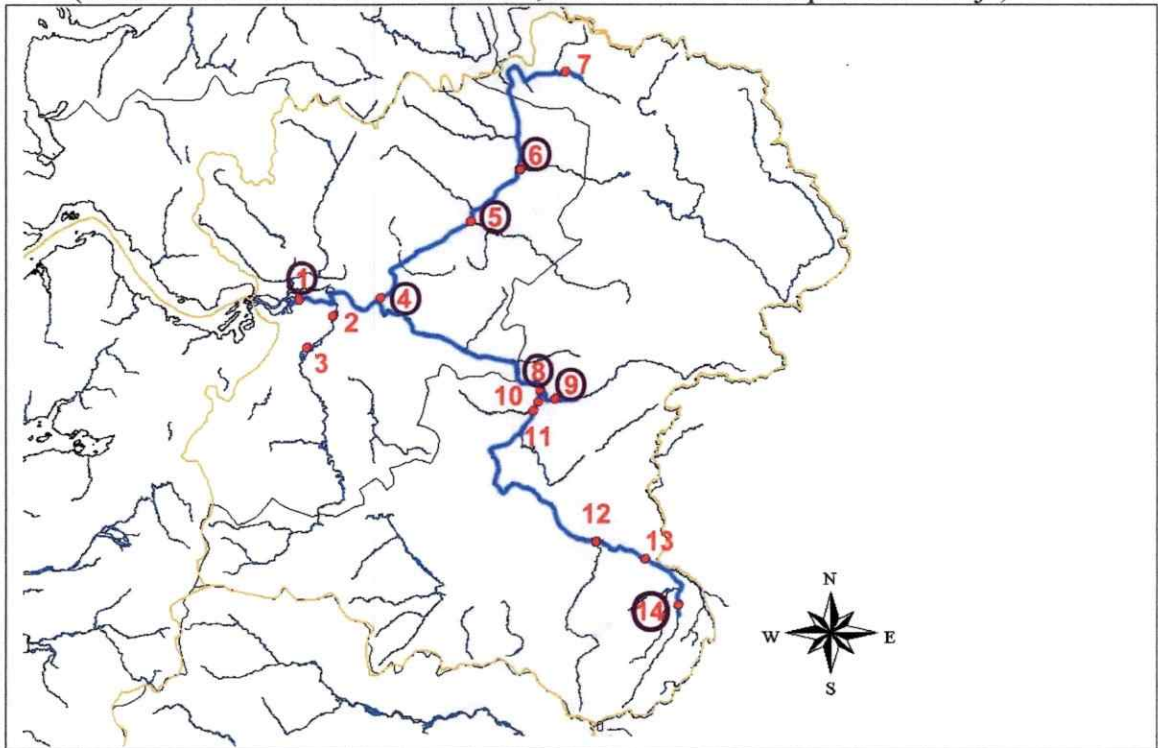


**Tabla 1.** Nombre de las Estaciones de Muestreo en la Cuenca Aysén.

<b>NOMBRE DE LA ESTACION</b>	<b>CODIGO</b>
Río Aysén en Puente Presidente Ibáñez	1
Río Blanco en Desembocadura o antes Junta Río Aysén	2*
Desagüe Lago Riesco	3*
Río Mañihuales antes Junta Río Simpson	4
Río Emperador Guillermo antes Junta Río Mañihuales	5
Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	6
Río Toqui en B.T. Central Hidroeléctrica	7*
Río Simpson en Puente Entel aguas abajo Coyhaique	8
Río Coyhaique en Tejas Verdes	9
Río Claro en Piscicultura	10*
Río Simpson en Puente Mondaca	11*
Río Blanco antes Río Huemules	12
Río Huemules frente a Cerro Galera	13
Río Oscuro en Camino a Portezuelo	14

\*Estaciones sin datos de caudales.

**Figura 6.** Estaciones de Muestreo en la Cuenca del Río Aysén.  
(las estaciones encerradas en un círculo, son las seleccionadas para este trabajo)



**Tabla 2.** Período de Registro existente para las Variables de Interés.

<b>Nombre de la Estación</b>	<b>Período Registro Nutrientes</b>	<b>Periodo Registro Caudal</b>
Río Aysén en Puente presidente Ibáñez	1989 – 2002	1996 – 2001
Río Blanco en desembocadura antes junta Río Aysén.	1991 – 2002	-----
Desagüe Lago Riesco	1997 – 2002	-----
Río Mañihuales antes junta río Simpson	1989 – 1993	1996 – 2001
Río Emperador Guillermo antes junta Mañihuales.	1989 – 2002	1996 – 2001
Río Nirehuao en villa Mañihuales.	1989 – 2002	1996 – 2001
Río Toqui en BT central hidroeléctrica.	1989 – 2002	-----
Río Simpson en puente Entel, aguas abajo Coyhaique.	1989 – 2002	1996 – 2001
Río Coyhaique en Tejas Verdes.	1989 – 2002	1996 – 2001
Río Claro en Piscicultura.	1989 – 2002	-----
Río Simpson en puente Mondaca.	1989 – 2002	-----
Río Blanco antes río Huemules.	1989 – 1993	1996 – 2001
Río Huemules frente a cerro Galera.	1989 – 1993	1996 – 2001
Río Oscuro en camino a Portezuelo.	1989 – 2002	1996 – 2001

Luego de la evaluación de los datos, se seleccionó un período de tiempo de 5 años. Este fue desde 1997 hasta 2001 dado que estos datos presentaban mayor confiabilidad y continuidad en el tiempo. A la vez, en este período se identificaron 7 estaciones de muestreo que presentaban datos tanto de nutrientes como de caudales. Dichas estaciones fueron seleccionadas por cumplir



con las características requeridas para realizar el cálculo de flujo de nutrientes, y así lograr el objetivo principal de este seminario de Título.

El flujo de nutrientes fue calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$F = [N-NO_3^-] \times Q \quad \text{donde } [N-NO_3^-] : \text{Concentración de } N-NO_3^-$$
$$F = [P-PO_4^{3-}] \times Q \quad [P-PO_4^{3-}] : \text{Concentración de } P-PO_4^{3-}$$

Q : Caudal.

En la Figura 6, se señalan las estaciones que dan cuenta de dos subcuencas principales: la subcuenca Mañihuales, representada por las estaciones 6, 5 y 4; y la subcuenca Simpson, representada por las estaciones 14, 9 y 8. Ambas se encuentran demarcadas en la Figura 6 por una línea gruesa azul que confluyen en la estación 1 de Aysén.

### 2.3 Metodología Estadística para el Análisis del Flujo de Nutrientes.

Para los efectos de cada uno de los análisis que se mencionan a continuación, se utilizó ANOVA paramétrico (SYSTAT 8.0). Las variables estudiadas fueron graficadas con la opción box plot. El nivel de significancia usado para estos análisis fue de  $p \leq 0,10$

Las concentraciones de  $N-NO_3^-$ ,  $P-PO_4^{3-}$  y caudales fueron analizadas de manera estacional. Luego se compararon las estaciones de muestreo entre ellas en relación a su altura con la concentración de nutrientes para cada una de las subcuencas elegidas. Dado que los datos de caudales mostraron diferencias estacionales significativas, se realizó el cálculo de flujo de  $N-NO_3^-$  y  $P-PO_4^{3-}$  con la fórmula descrita anteriormente considerando la estacionalidad de los caudales diferenciado en dos grupos: invierno- primavera y, verano- otoño. Para esto se tomaron los promedios anuales de las concentraciones de nutrientes y caudales con sus respectivas desviaciones estándar, para cada una de las estaciones ya seleccionadas en ambas subcuencas (Mañihuales y Simpson). Luego de esto, se contrastaron los flujos de nutrientes calculados "in situ" en cada una de las estaciones con la condición de cabecera de las mismas estaciones. Para los efectos de este análisis, la condición de cabecera correspondió a la estimación del flujo de nutrientes considerando sólo las concentraciones de  $N-NO_3^-$  y  $P-PO_4^{3-}$  de la estación de cabecera de cada subcuenca y, el caudal de la estación río abajo. Por tanto es un valor teórico en el flujo de nutrientes, pues ignora todas las entradas de nutrientes a lo largo de la subcuenca, exceptuando la entrada en la cabecera de dicha subcuenca.

El análisis de la variabilidad espacial, se realizó por medio del cálculo de un promedio interanual de las concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , para cada una de las estaciones por subcuencas. Se graficaron las diferencias en el período 1997- 2001 para los caudales y las precipitaciones en todas las estaciones de muestreo. Las diferencias para el flujo de nutrientes “in situ” en este período, se graficaron solamente para la estación de Aysén; por ser la última estación de medición en la cuenca. Finalmente se estimó el flujo de nutrientes en la estación de Aysén, sumando los flujos de nutrientes de las estaciones más próximas a ésta, es decir, se sumaron los flujos de nutrientes de las estaciones Mañihuales y Simpson. Este flujo estimado correspondió al valor estimado teórico en la estación de Aysén, y fue comparado con el valor de flujo de nutrientes “in situ” calculado en la misma estación de Aysén.

### 3- RESULTADOS

#### 3.1 Diferencias Estacionales para las concentraciones de nutrientes y caudales en las subcuencas Simpson y Mañihuales.

Las concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$  no mostraron diferencias estacionales significativas, en cambio los valores de caudales sí. La Tabla 3 muestra los resultados del ANOVA realizado.

**TABLA 3-A.** Análisis de Varianza de una vía para las diferencias estacionales encontradas en los caudales de la subcuenca Mañihuales.

##### A.- Estación Río Ñirehuao

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Estación del Año	1,10E+10	3	3,66E+09	10,45	0,000
Error	1,96E+10	56	3,50E+08		

##### B.- Estación Río Emperador Guillermo

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Estación del Año	1,22E+09	3	4,07E+08	3,47	0,022
Error	6,56E+09	56	1,17E+08		

##### C.- Estación Río Mañihuales.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Estación del Año	7,60E+10	3	2,53E+10	2,71	0,054
Error	5,24E+11	56	9,36E+09		

##### D.- Estación Río Aysén.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Estación del Año	4,68E+11	3	1,56E+11	3,44	0,023
Error	2,54E+12	56	4,53E+10		

**TABLA 3-B.** Análisis de Varianza de una vía para las diferencias estacionales encontradas en los caudales de la subcuenca Simpson.

**E.- Estación Río Coyhaique en Tejas Verdes.**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Estación del Año	9,25E+08	3	3,08E+08	12,12	0,000
Error	1,42E+09	56	2,54E+07		

**F.- Estación Río Simpson en puente Entel.**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Estación del Año	2,80E+10	3	9,34E+09	14,09	0,000
Error	3,71E+10	56	6,63E+08		

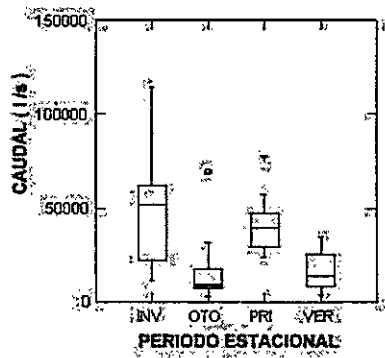
**G.- Estación Río Oscuro.**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Estación del Año	1,95E+07	3	6,50E+06	2,75	0,051
Error	1,32E+08	56	2,36E+06		

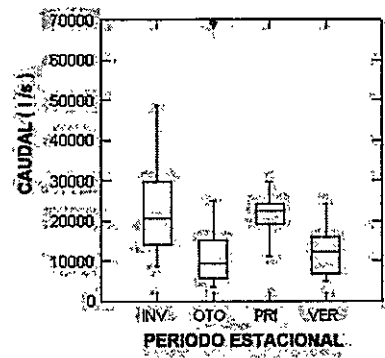
La Figura 7, muestra que las estaciones de ambas subcuencas presentan marcada estacionalidad, agrupándose en dos períodos durante el año: invierno- primavera y, verano-otoño; donde el primero presenta los valores de caudales más altos, y en el segundo se observan los caudales menores. El primer período sólo muestra una excepción, la estación río Oscuro que se agrupa en: otoño- invierno y primavera- verano.

Figura 7-A. Diferencias Estacionales en los Caudales, para la Subcuenca Mañihuales.

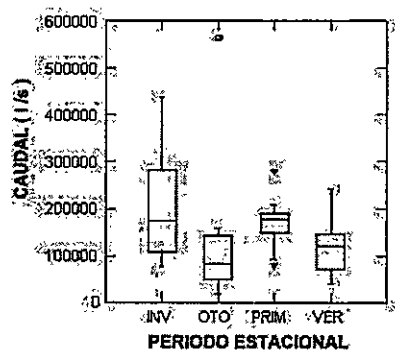
a. Estación Río Ñirehuao.



b. Estación Río Emperador Guillermo



c. Estación Río Mañihuales



d. Estación Río Aysén

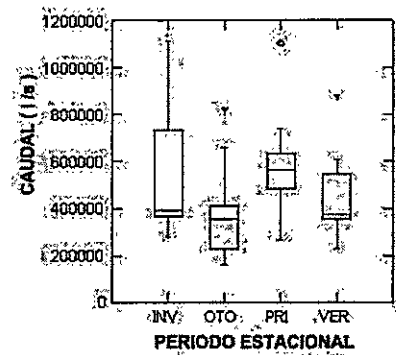
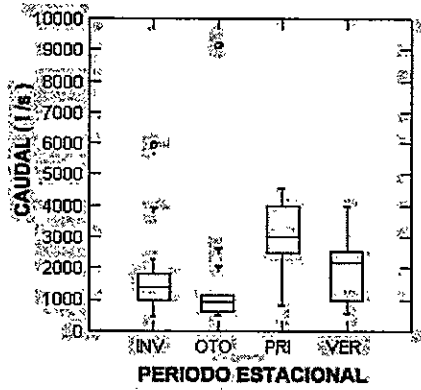
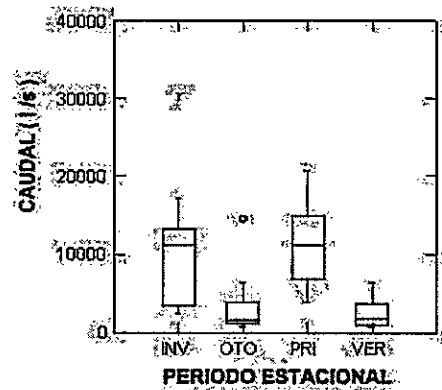


Figura 7-B. Diferencias Estacionales en los Caudales, para la Subcuenca Simpson.

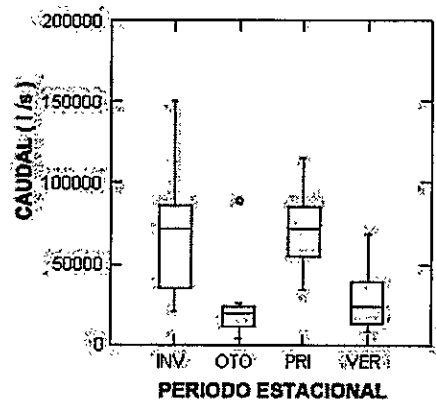
a. Estación Río Oscuro.



b. Estación Río Coyhaique.



c. Estación Río Simpson.



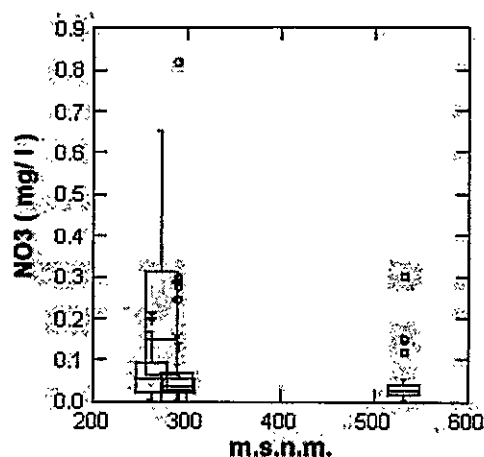
### 3.2 Diferencias entre las estaciones de muestreo, en relación a la concentración de nutrientes para cada una de las subcuencas.

No se observaron diferencias significativas entre las estaciones en relación a la concentración de nutrientes para cada una de las dos subcuencas. Salvo la subcuenca Simpson que mostró diferencias significativas en la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  entre las distintas estaciones de muestreo, con un  $p = 0.001$ . La Tabla 4 muestra los resultados entregados por el ANOVA para la subcuenca Simpson. En la Figura 8 el gráfico muestra las diferencias en la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  entre las distintas estaciones de muestreo. Se observa una alta variabilidad en las concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$ . A medida que la altitud disminuye, la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  aumenta.

**TABLA 4.** Análisis de Varianza de una vía para la subcuenca Simpson, en relación a la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Metros sobre el nivel del mar. (MSNM)	0,26	4	0,07	4,86	0,001
Error	1,45	109	0,01		

**Figura 8.** Concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  (mg/l) para cada una de las estaciones de la subcuenca Simpson, en relación a la altura (m.s.n.m) de éstas.

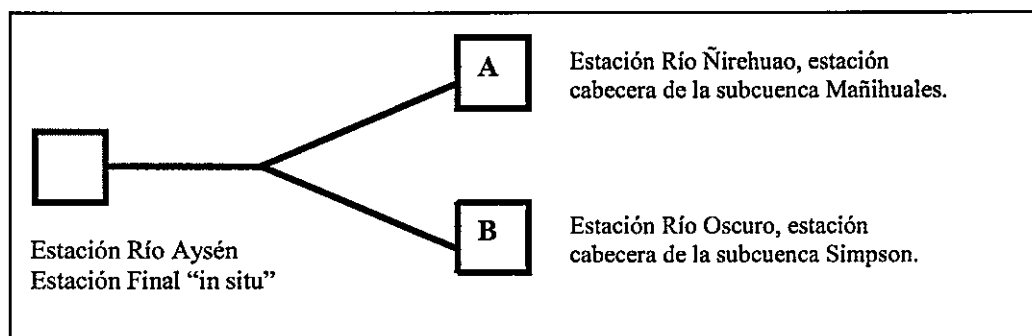


### 3.3 Flujo de Nutrientes en subcuenca Mañihuales y Simpson. Comparación con Flujo estimado de nutrientes en condición de cabecera.

Los resultados obtenidos en el flujo de nutrientes para las dos subcuencas en estudio se muestran en las Figuras 10-A y 10-B. Además, los valores de flujo de nutrientes “in situ” y en condición de “cabecera” se detallan en las Tablas 17 y 18 del Anexo. En la primera se muestran los valores de flujo de  $N-NO_3^-$  separados por estaciones y por subcuencas, en la segunda los valores de flujo de  $P-PO_4^{3-}$ .

La Figura 9 muestra en forma esquemática la representación de las estaciones de cabecera de cada subcuenca, para la estimación del flujo de nutrientes en condición de cabecera.

Figura 9. Esquema Representativo de las Estaciones de Cabecera.



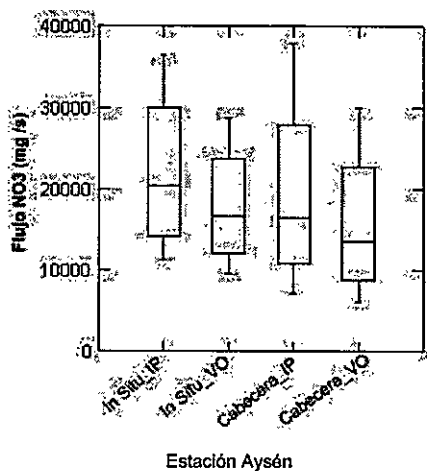
El análisis estadístico ANOVA realizado, no mostró diferencias significativas entre los flujos de nutrientes “in situ” y los flujos de nutrientes estimados en condición de “cabecera”. Esto fue observado tanto para la subcuenca Mañihuales, como para la subcuenca Simpson, en todo el período de estudio.

La comparación entre los flujos de nutrientes “in situ” y en condición de “cabecera”, se muestran gráficamente en las Figuras 10-A y 10-B, respondiendo a las cabeceras de las subcuencas Mañihuales y Simpson respectivamente, (ver Figura 9). Los gráficos se presentan a escala anual, y sólo para la estación Río Aysén, por ser la última estación de la cuenca. El año 2000 no fue representado gráficamente, por carecer de datos para establecer esta comparación.

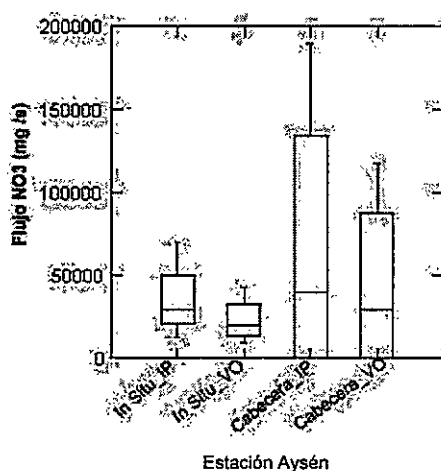


**Figura 10-A.I** Comparación entre los flujos de nitrato “in situ” y los flujos en condición de cabecera para la estación Río Aysén, considerando la estación Río Nirehuao como cabecera de la subcuenca Mañihuales.

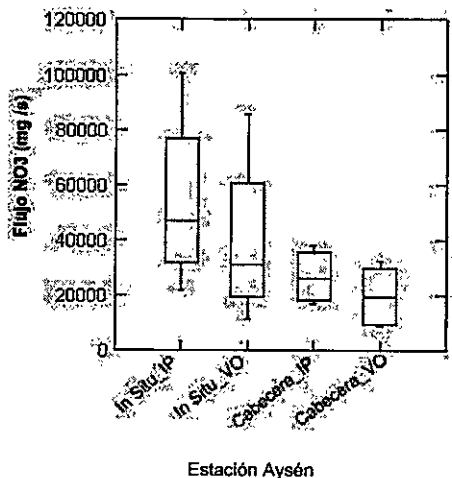
a) Año 1997.



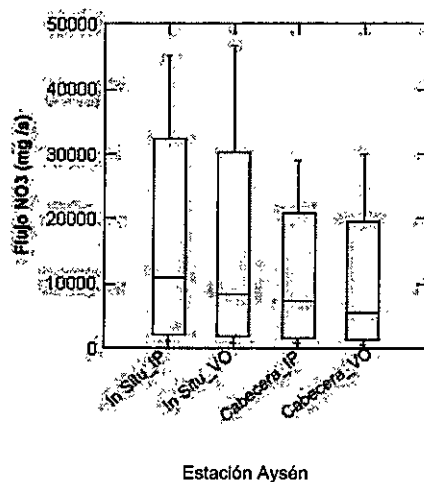
b) Año 1998



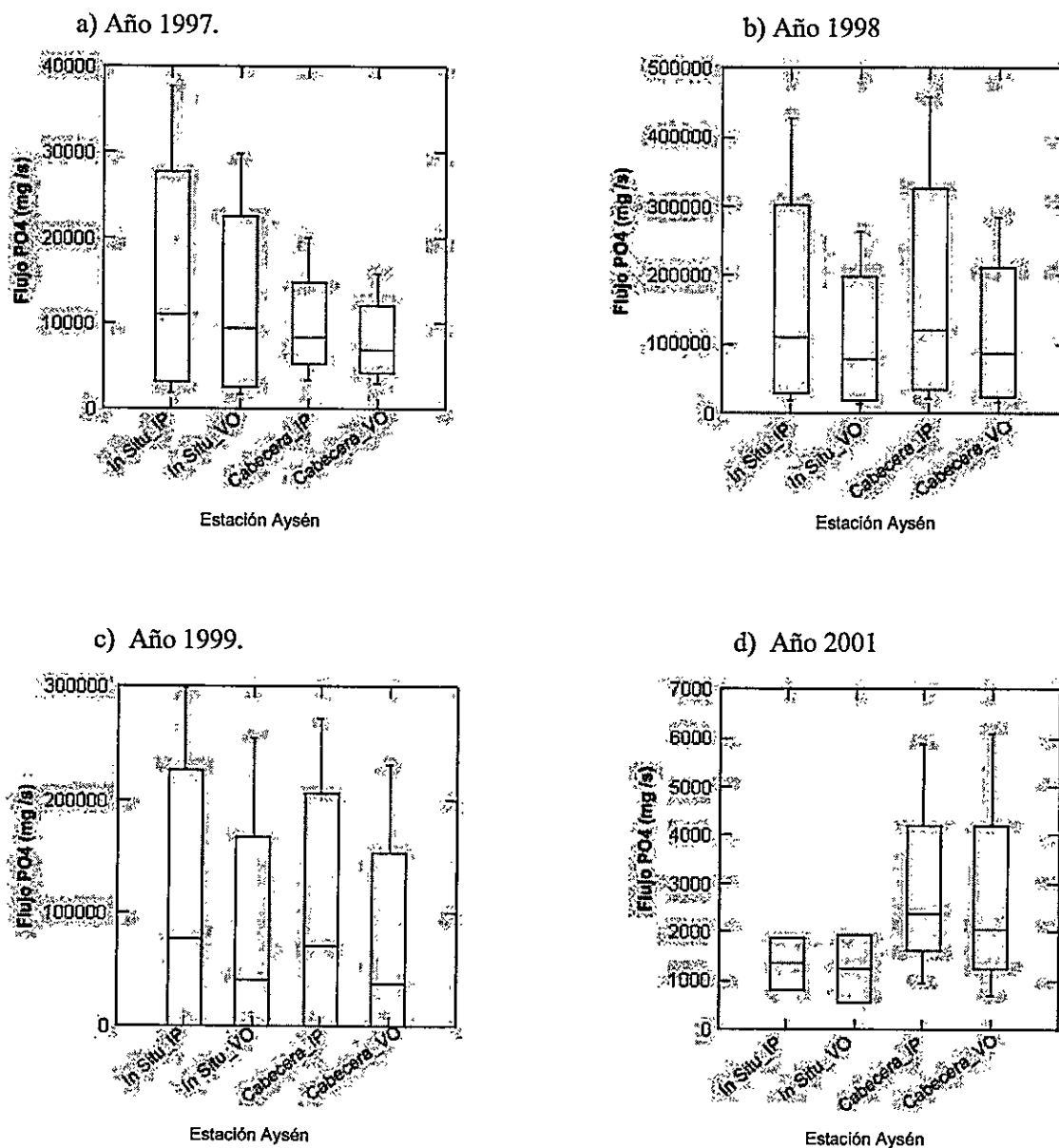
c) Año 1999



d) Año 2001



**Figura 10-A.II** Comparación entre los flujos de fosfato “in situ” y los flujos en condición de cabecera para la estación Río Aysén, considerando la estación Río Nirehuao como cabecera de la subcuenca Mañihuales.



Para la subcuenca Mañihuales, el valor mínimo de flujo de  $\text{N-NO}_3^-$  encontrado fue de 29 mg/s en la estación Río Emperador Guillermo, el año 2001; y el valor máximo fue encontrado en la estación Río Aysén con 117403 mg/s, en el año 1998. (Tabla 17-A de Anexo).

Durante el período de estudio, los valores de flujo de nitrato de la estación Río Emperador Guillermo se mostraron menores a las otras estaciones. Esto podría deberse a los bajos caudales que posee dicha estación.

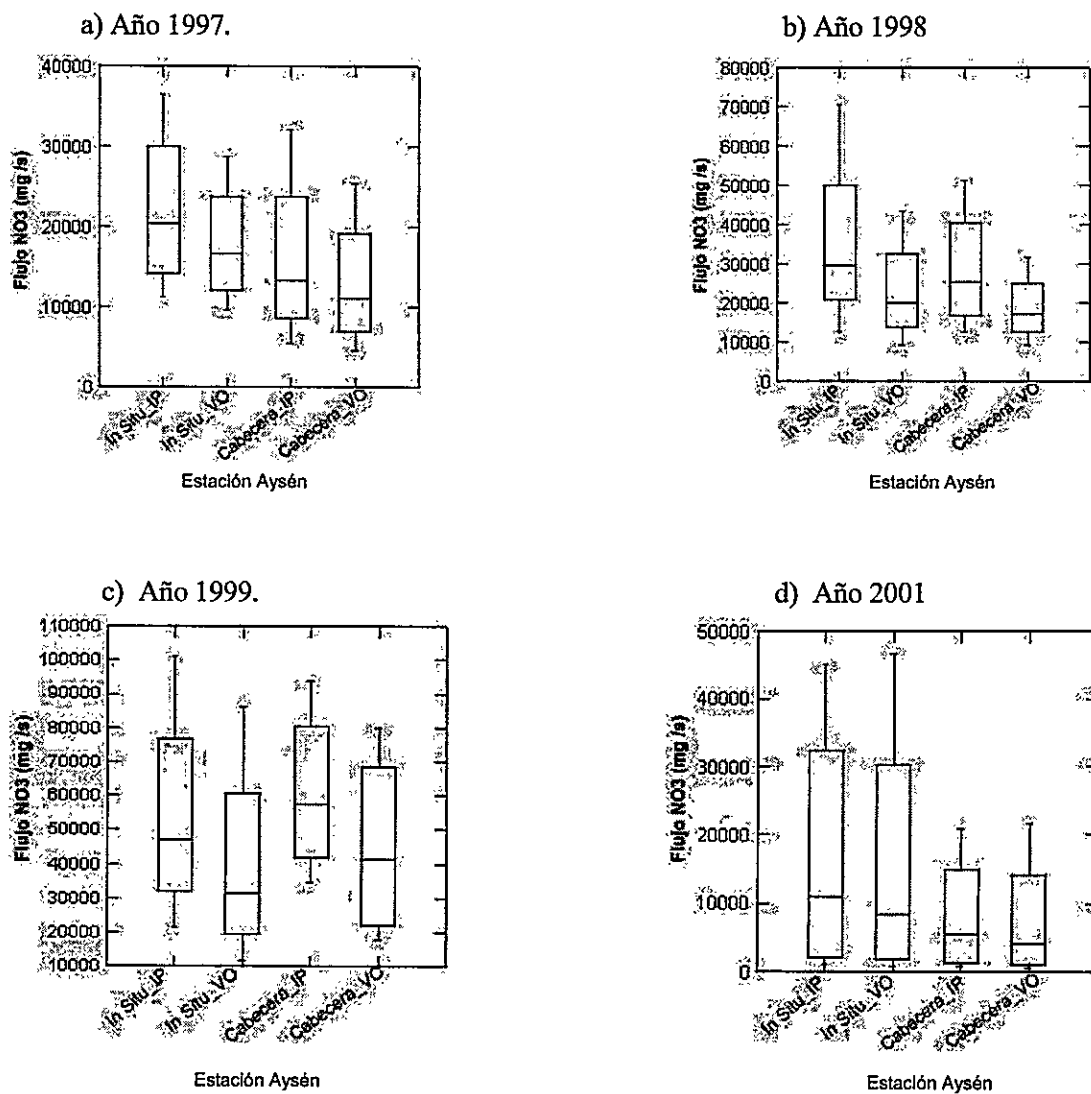
Aunque los valores de flujo de nitrato "in situ" no mostraron diferencias significativas con los valores de flujo en condición de cabecera, la Figura 10-A.I muestra en el año 1998 una tendencia a la disminución del flujo de nitrato "in situ" con respecto a los valores de flujo en condición de cabecera. Esta tendencia podría estar afectada a la alta variabilidad observada en los valores de flujo de nitrato en condición de cabecera. El efecto contrario se observa en la misma figura, en 1999; es decir, una tendencia al aumento del flujo de nitrato "in situ", con respecto a los valores de flujo en condición de cabecera.

En la subcuenca Mañihuales, el valor mínimo de flujo de fosfato fue encontrado en la estación Emperador Guillermo con 10 mg/s, en el año 2001; y el valor máximo fue de 428170 mg/s en la estación Río Aysén, el año 1998. (Tabla 18-A de Anexo). La estación Emperador Guillermo tuvo los menores valores de flujo de fosfato, tanto en el período invierno – primavera como en verano- otoño, sólo se puede observar una tendencia al incremento en el flujo de fosfato para el año 1998; esto último también fue observado en la estación Ñirehuao.

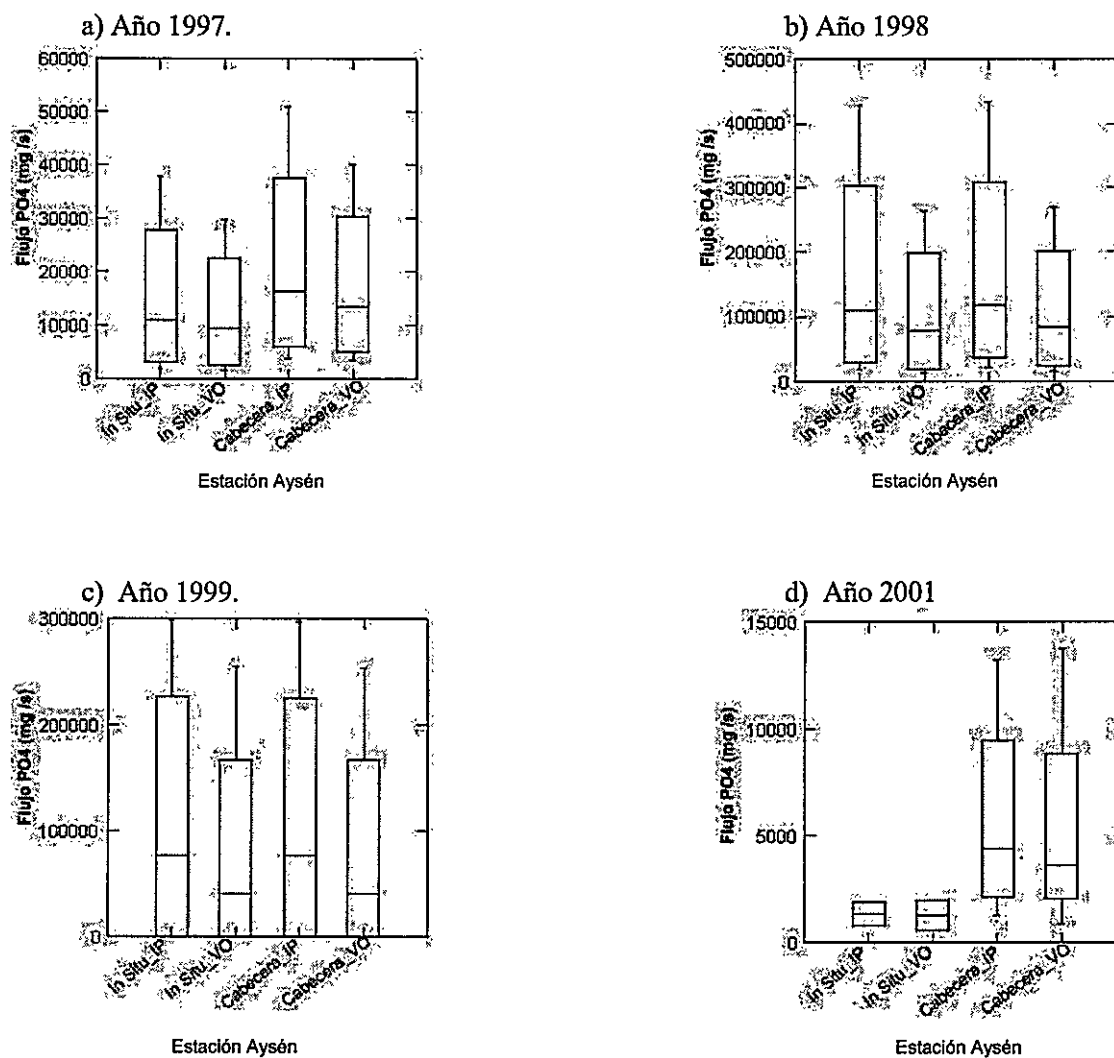
La estación Río Aysén muestra los mayores valores de flujo de fosfato, en ambos períodos, invierno – primavera y verano- otoño; observándose un promedio interanual de 56416 mg/s y 38885 mg/s respectivamente; esto podría responder a los mayores caudales que presenta esta última estación.

En la figura 10-A.II, se puede observar una tendencia a la disminución del flujo de fosfato "in situ", con respecto a los flujos de fosfato en condición de cabecera para el año 2001. A pesar de no existir diferencias significativas, la alta variabilidad de los flujos en condición de cabecera, podrían inducir esta tendencia.

Figura 10-B.I Comparación entre los flujos de nitrato “in situ” y los flujos en condición de cabecera para la estación Río Aysén, considerando la estación Río Oscuro como cabecera de la subcuenca Simpson.



**Figura 10-B.II** Comparación entre los flujos de fosfato “in situ” y los flujos en condición de cabecera para la estación Río Aysén, considerando la estación Río Oscuro como cabecera de la subcuenca Simpson.



En la subcuenca Simpson, el valor mínimo de flujo de  $\text{N-NO}_3^-$  encontrado fue de 1 mg/s en la estación Río Oscuro, el año 2001; y el valor máximo encontrado fue de 14229 mg/s de  $\text{N-NO}_3^-$  en la estación Río Simpson para el mismo año.

La Figura 10-B.I, muestra una gran semejanza entre los valores de flujo de nitrato “in situ” y los valores de flujo en condición de cabecera, reafirmando que no existieron diferencias significativas entre ambos valores de flujo. Sólo el año 2001, podría mostrar una tendencia al incremento de los valores de flujo de nitrato “in situ”, con respecto a los valores en condición de cabecera.

Los menores valores de flujo de fosfato encontrados en la subcuenca Simpson, se observan en la estación río Oscuro, con un promedio interanual de 271 mg/s para el período invierno- primavera, y 177 mg/s para el período verano- otoño. Los mayores valores de flujo de fosfato se observan en la estación río Simpson, con un promedio interanual de 5333 mg/s en invierno- primavera, y 3186 mg/s en período verano – otoño.

El detalle de los valores de flujos de nitrato y fosfato “in situ” y en condición de cabecera para la subcuenca Simpson, se encuentra en las Tablas 17-B y 18-B del Anexo. Los valores de flujo presentados con valor mínimo “cero” en estas Tablas, responden a la alta variabilidad encontrada en los datos a nivel anual. Esto influyó directamente en los valores de desviación estándar, pues éstos tomaron valores más altos que el valor promedio, y en este caso se resolvió colocar como valor menor, cero.

En la Figura 10-B.II, aunque durante todo el período de estudio no existieron diferencias significativas entre los flujos de fosfato “in situ” y en condición de cabecera, se puede hacer notar una tendencia a la disminución de los flujos de fosfato “in situ”, en relación a los flujos de fosfato en condición de cabecera para el año 2001. Esto podría deberse a la alta variabilidad de los flujos en condición de cabecera durante este año.

### 3.4 Promedio Interanual de las concentraciones de $N-NO_3^-$ y $P-PO_4^{3-}$ , para las estaciones de las subcuencas Mañihuales y Simpson.

Se calculó el promedio interanual para las concentraciones de  $N-NO_3^-$  y  $P-PO_4^{3-}$  en cada una de las estaciones de la subcuenca Mañihuales y Simpson, considerando el período de tiempo 1997 – 2001. Los resultados se observan en las Tablas 5-A y 5-B, y en la Figura 11.

**Tabla 5-A.** Valores promedio interanual de concentración de nutrientes, y de flujo de nutrientes para la subcuenca Mañihuales.

Promedio Interanual	Estación Ñirehuao	Desviación Estándar	Estación Emp.Guillermo	Desviación Estándar
$NO_3$ (mg/l)	0,06	+/- 0,03	0,04	+/- 0,02
$PO_4$ (mg/l)	0,10	+/- 0,13	0,04	+/- 0,08
Flujo $NO_3$ I-P (mg/s)	2180	+/- 811	864	+/- 326
Flujo $NO_3$ V-O(mg/s)	709	+/- 173	492	+/- 244
Flujo $PO_4$ I-P (mg/s)	3620	+/- 4544	888	+/- 1637
Flujo $PO_4$ V-O (mg/s)	946	+/- 1107	358	+/- 560

Promedio Interanual	Estación Mañihuales	Desviación Estándar	Estación Aysén	Desviación Estándar
$NO_3$ (mg/l)	0,05	+/- 0,02	0,06	+/- 0,04
$PO_4$ (mg/l)	0,09	+/- 0,10	0,10	+/- 0,12
Flujo $NO_3$ I-P (mg/s)	8333	+/- 3813	31214	+/- 14589
Flujo $NO_3$ V-O(mg/s)	4559	+/- 1106	21972	+/- 10905
Flujo $PO_4$ I-P (mg/s)	16365	+/- 19034	56416	+/- 72876
Flujo $PO_4$ V-O (mg/s)	6831	+/- 7194	38885	+/- 48427

En la Tabla 5-A y Figura 11, los valores promedio de nitrato se muestran relativamente constantes en las estaciones de la subcuenca Mañihuales, sólo la estación Río Aysén presenta un pequeño aumento en la concentración de nitrato (no significativo). Para la concentración de fosfato, los promedios encontrados no son representativos, ya que la variabilidad existente es muy alta. Los valores promedio de flujo de nitrato se observan en aumento hacia la estación río Aysén. Esto respondería en primera medida al aumento de los caudales hacia el fiordo Aysén. De todas las estaciones de la subcuenca Mañihuales, la estación Río Emperador Guillermo mostró el menor valor promedio de flujo de nitrato, incluso menor a la estación Ñirehuao, la cual es la estación cabecera de esta subcuenca. El análisis ANOVA realizado no mostró diferencias significativas para los promedios interanuales de concentración de nutrientes (nitrato y fosfato), entre las estaciones de la subcuenca Mañihuales. Los valores promedio de flujo de fosfato no son representativos, por presentar un error estándar más alto que el promedio.

**Tabla 5-B.** Valores promedio interanual de concentración de nutrientes, y de flujo de nutrientes para la subcuenca Simpson.

Promedio Interanual	Estación Río Oscuro	Desviación Estándar	Estación Río Coyhaique	Desviación Estándar
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0,10	+/- 0,12	0,05	+/- 0,06
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0,11	+/- 0,11	0,16	+/- 0,20
Flujo NO3 I-P (mg/s)	223	+/- 241	456	+/- 461
Flujo NO3 V-O (mg/s)	141	+/- 154	98	+/- 79
Flujo PO4 I-P (mg/s)	233	+/- 221	1325	+/- 1661
Flujo PO4 V-O (mg/s)	152	+/- 162	228	+/- 261

Promedio Interanual	Estación Río Simpson	Desviación Estándar
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0,37	+/- 0,40
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0,09	+/- 0,03
Flujo NO3 I-P (mg/s)	20998	+/- 20515
Flujo NO3 V-O (mg/s)	9198	+/- 7524
Flujo PO4 I-P (mg/s)	5693	+/- 510
Flujo PO4 V-O (mg/s)	2831	+/- 502

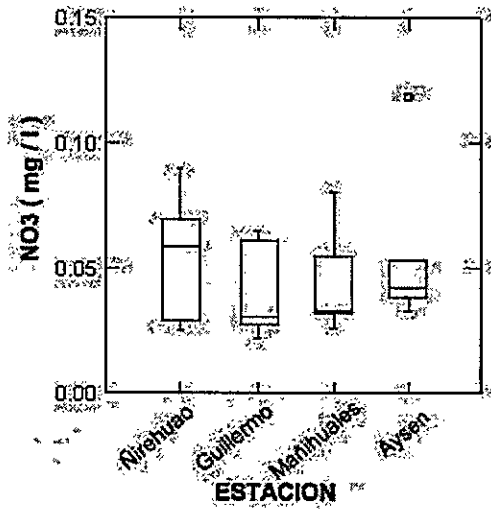
En la Tabla 5-B y Figura 11, se destacan los altos valores de desviación estándar encontrados a nivel de la subcuenca Simpson, tanto para las concentraciones de nitrato, como para las de fosfato. De esta forma, también se presenta una alta variabilidad en los valores promedio de flujo de nitrato y fosfato. El ANOVA realizado, no mostró diferencias significativas para los promedios interanuales de concentración de nutrientes (nitrato y fosfato), entre las estaciones de la subcuenca Mañihuales.



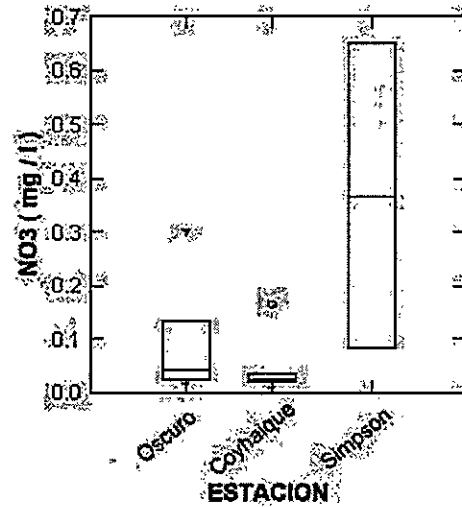
**Figura 11.** Promedios interanuales de concentración de  $N-NO_3^-$  y  $P-PO_4^{3-}$  para cada una de las subcuencas en estudio.

a) Promedio Interanual de  $N-NO_3^-$  (mg/l) para:

Subcuenca Mañihuales

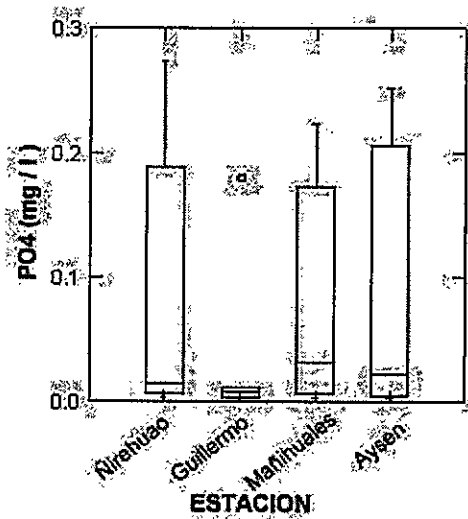


Subcuenca Simpson.

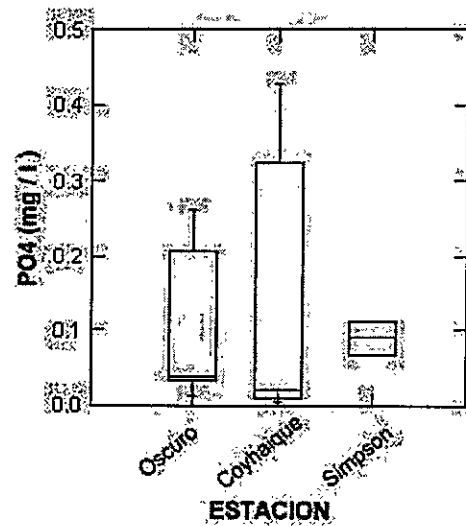


b) Promedio Interanual de  $P-PO_4^{3-}$  (mg/l) para:

Subcuenca Mañihuales



Subcuenca Simpson.



### 3.5 Diferencias Interanuales para caudales, precipitaciones, y flujo de nutrientes en subcuencas Mañihuales y Simpson.

Las diferencias interanuales (1997- 2001) para los caudales y precipitaciones se muestran a continuación en las Figuras 12 y 13 respectivamente. Se puede apreciar en la Figura 12, que todas las estaciones muestran una tendencia a formar una parábola, al graficar los valores anuales de caudales para cada una de ellas. Mostrando valores máximos de caudales en los años 1997 y 2001, correspondiendo a los años extremos de este estudio; y valores mínimos de caudales para los años 1998 y 1999. Las estaciones que mostraron diferencias interanuales significativas en sus caudales, fueron la estación Río Ñirehuao, Río Emperador Guillermo y Río Coyhaique. La Tabla 6 muestra los resultados entregados por el ANOVA.

**TABLA 6.** Análisis de Varianza de una vía para las diferencias interanuales encontradas en los caudales de las siguientes estaciones:

#### A.- Estación Río Ñirehuao.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Año	4,46E+09	4	1,12E+09	2,35	0,066
Error	2,61E+10	55	4,75E+08		

#### B.- Estación Río Emperador Guillermo.

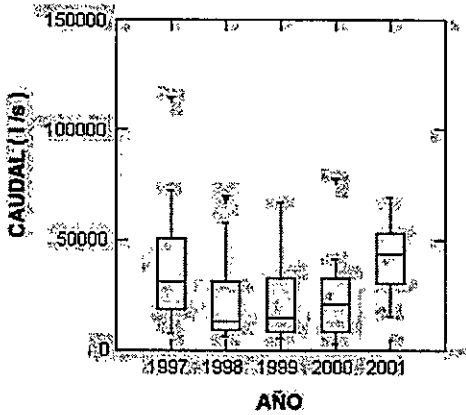
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Año	1,15E+09	4	2,88E+08	2,39	0,062
Error	6,63E+09	55	1,20E+08		

#### C.- Estación Río Coyhaique.

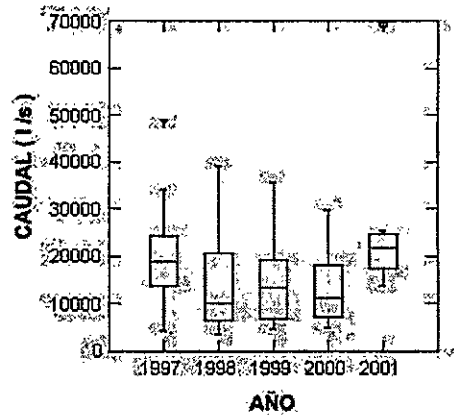
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Año	3,53E+08	4	8,83E+07	2,43	0,058
Error	2,00E+09	55	3,63E+07		

Figura 12-A. Diferencias Interanuales de los caudales en la Subcuenca Mañihuales.

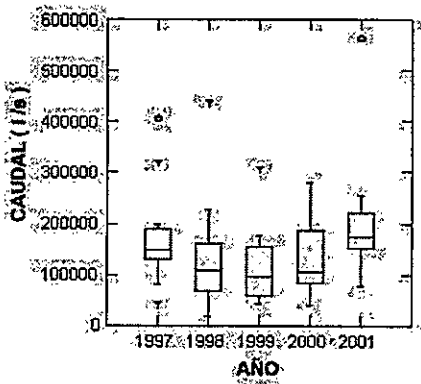
a. Estación Río Ñirehuao.



b. Estación Río Emperador Guillermo



c. Estación Río Mañihuales



d. Estación Río Aysén

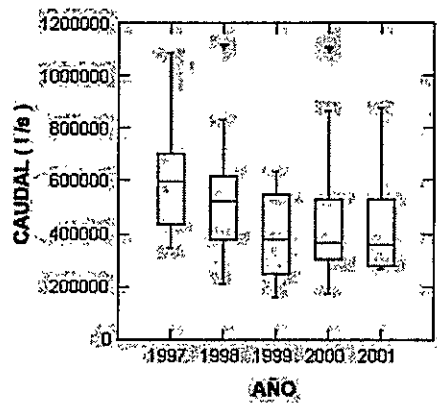
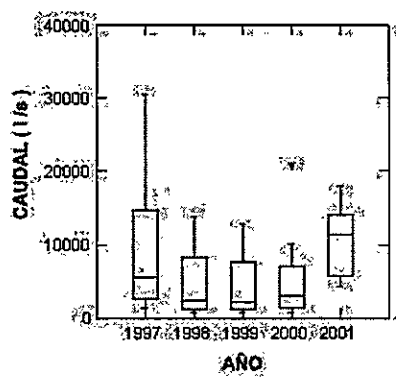
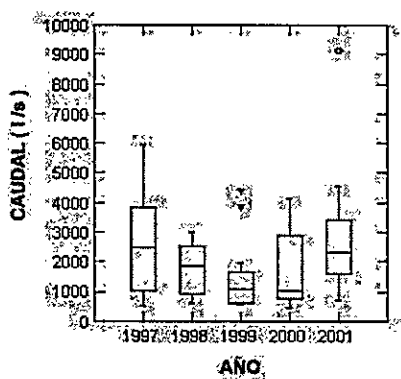


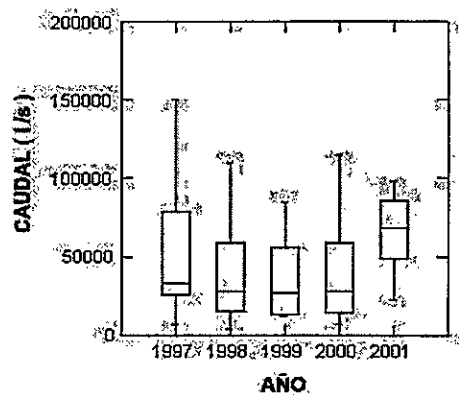
Figura 12-B Diferencias Interanuales de los caudales en la Subcuenca Simpson.

a. Estación Río Oscuro.

b. Estación Río Coyhaique.



c. Estación Río Simpson



En la Figura 13 se observan las diferencias interanuales para las precipitaciones, en las distintas estaciones meteorológicas de la cuenca. Los valores mínimos de precipitaciones se encontraron en los años 1998 y 1999, y los valores mayores en los años 1997 y 2001. Sin embargo, sólo la estación Coyhaique Alto mostró diferencias significativas con ANOVA. La Tabla 7 muestra estas diferencias.

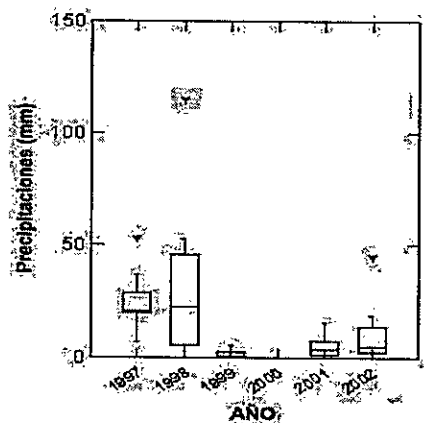
**TABLA 7.** Análisis de Varianza de una vía para las diferencias interanuales encontradas en las precipitaciones de la estación Coyhaique Alto.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Año	6709,05	4	1677,26	5,85	0,001
Error	14059,71	49	286,93		

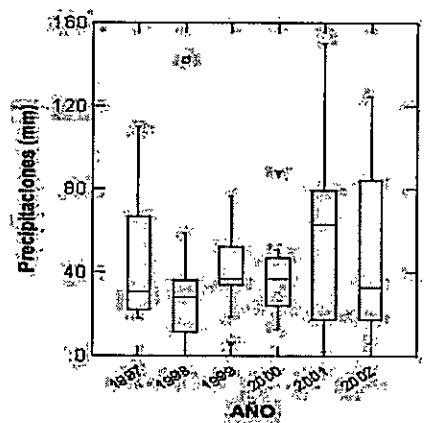
Las diferencias interanuales para los flujos de nutrientes son mostradas en la Figura 14. Se seleccionó sólo la estación Río Aysén para mostrar tales diferencias, por ser la estación última a la cual llegan todos los afluentes de la cuenca. El ANOVA no mostró diferencias interanuales significativas en los flujos de nutrientes, pero se observa una tendencia en los años 1998 y 1999 a un aumento en el flujo de nitrato y fosfato, tanto para los períodos invierno-primavera (I-P), como para verano – otoño (V-O). Estos resultados concuerdan con las diferencias interanuales en las precipitaciones y los caudales.

Figura 13. Diferencias Interanuales de las precipitaciones en la Cuenca Aysén.

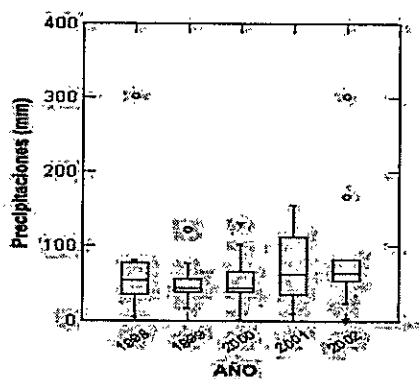
1. Estación Coyhaique Alto.



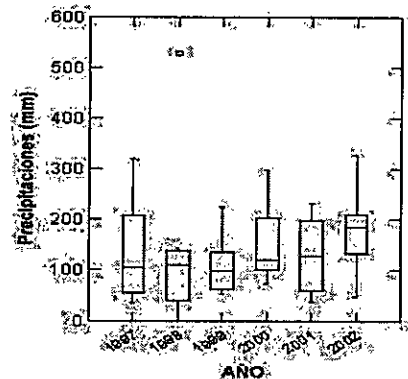
2. Estación Ñirehuao.



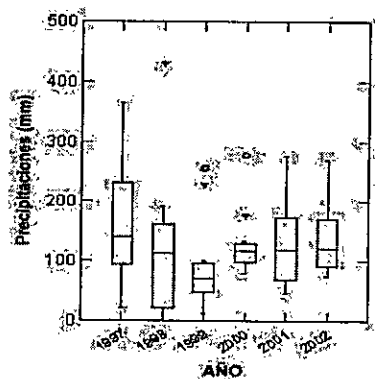
3. Estación Villa Ortega.



4. Estación Villa Mañihuales.



5. Estación El Balseo.



6. Estación Puerto Aysén.

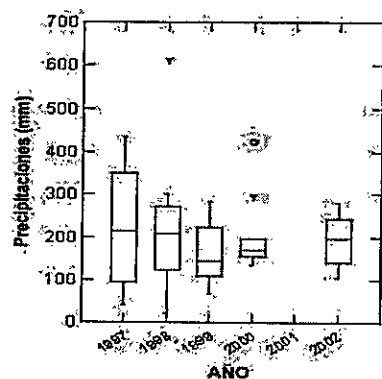
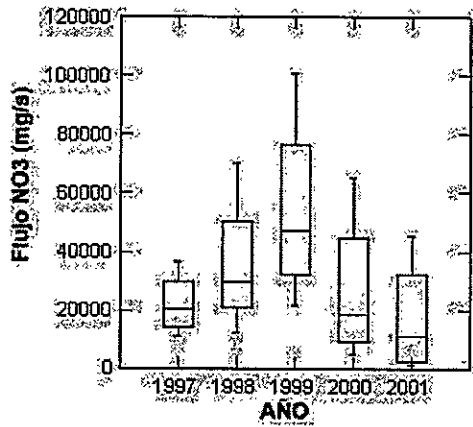
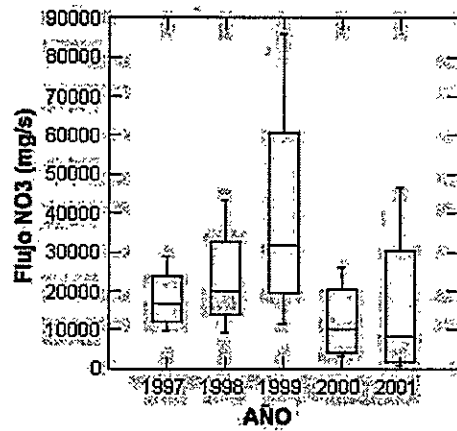


Figura 14. Diferencias Interanuales de los flujos de nutrientes en la estación Río Aysén.

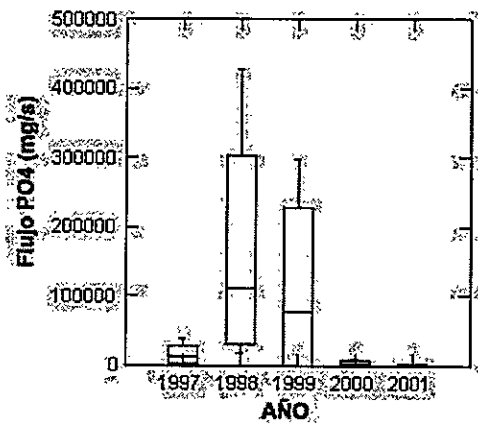
1. Flujo de  $\text{NO}_3$  (I-P).



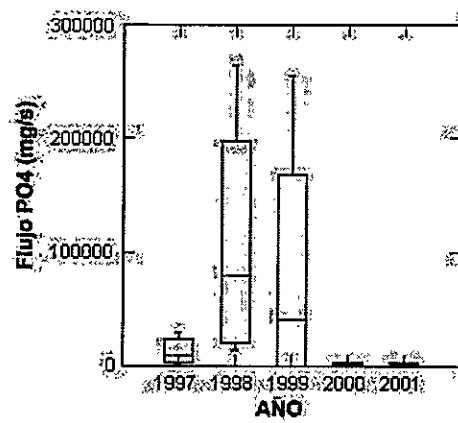
2. Flujo de  $\text{NO}_3$  (V-O).



3. Flujo de  $\text{PO}_4$  (I-P).



4. Flujo de  $\text{PO}_4$  (V-O).



El análisis realizado para ver diferencias en las temperaturas atmosféricas máximas durante el período de estudio, mostró diferencias significativas en todas las estaciones meteorológicas analizadas, con un  $p \leq 0.001$  (Tabla 8). La gráfica de las temperaturas atmosféricas máximas se encuentran en la Figura 15.

**TABLA 8.** Análisis de Varianza de una vía para las diferencias interanuales encontradas en las temperaturas máximas atmosféricas en la cuenca Aysén.

**A.- Estación Coyhaique Alto.**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Año	335,23	4	83,81	4,68	0,001
Error	13967,63	780	17,91		

**B.- Estación Ñirehuao.**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Año	405,08	4	101,27	4,89	0,001
Error	15836,51	765	20,70		

**C.- Estación Villa Ortega.**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Año	546,17	4	136,54	6,31	0,000
Error	13777,86	637	21,63		

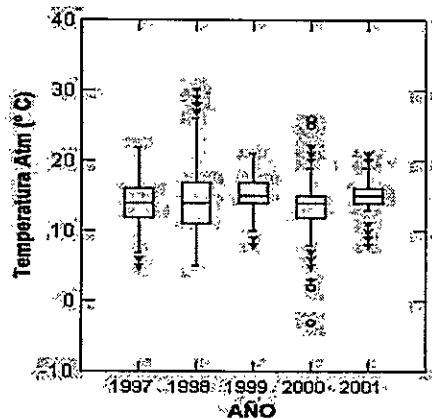
**D.- Estación Villa Mañihuales.**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	P
Año	1329,73	4	332,43	17,22	0,000
Error	16023,68	830	19,31		

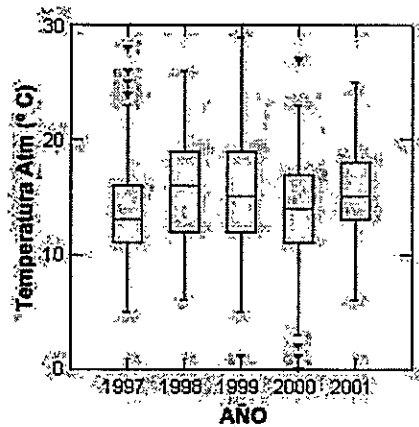


**Figura 15.** Diferencias Interanuales de las Temperaturas Atmosféricas Máximas en la Cuenca Aysén.

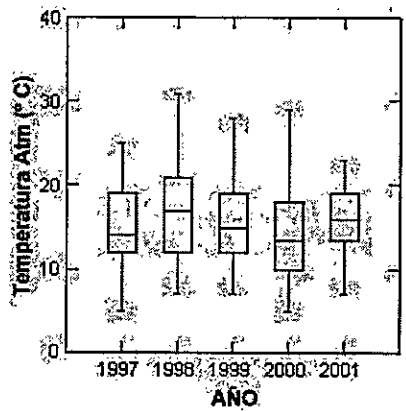
1. Estación Coyhaique Alto.



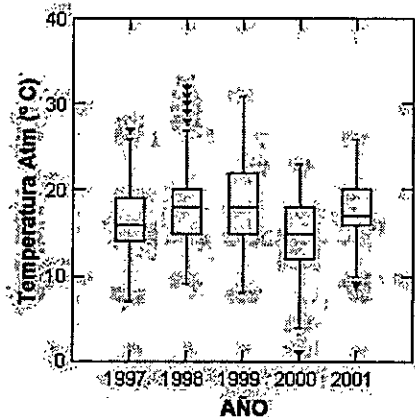
2. Estación Ñirehuao.



3. Estación Villa Ortega.



4. Estación Villa Mañihuales.

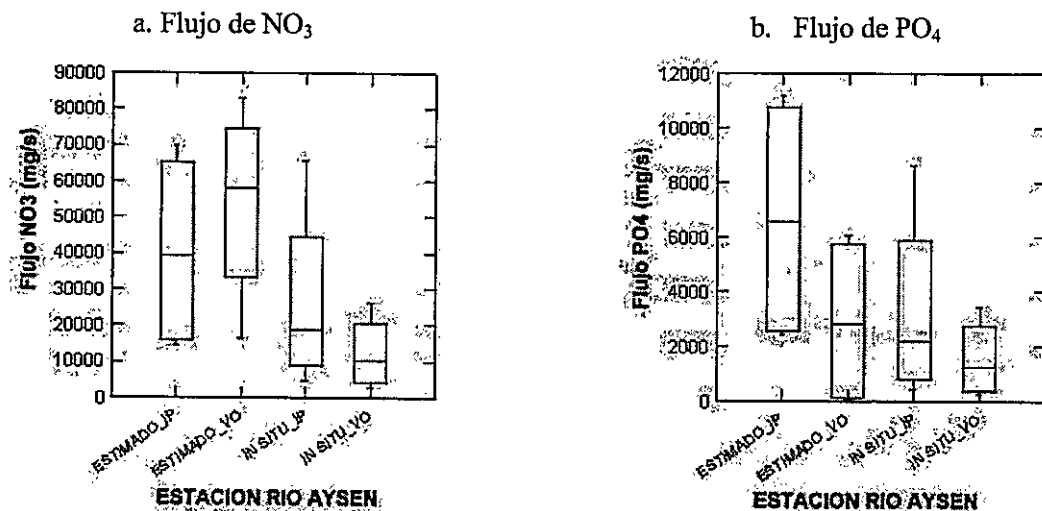


### **3.6 Estimación del Flujo de Nutrientes en la estación Río Aysén, a partir de los Flujos de las estaciones Simpson y Mañihuales. Equivalencia entre Flujo estimado y Flujo de nutrientes “in situ” para la estación Río Aysén.**

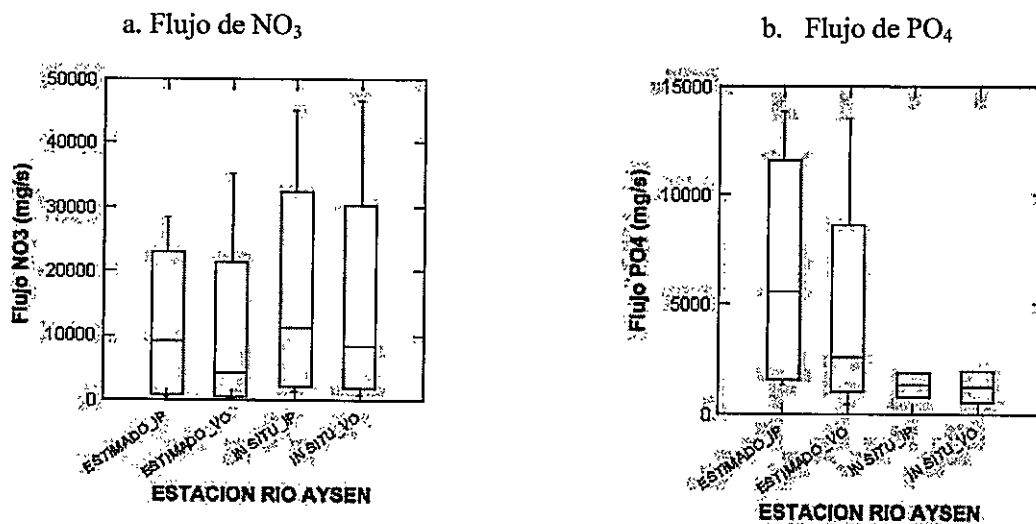
Dado que la estación Río Simpson sólo presentaba datos para los años 2000 y 2001, se realizó la estimación del flujo de nutrientes solamente para dichos años. Los resultados muestran un paralelo entre los flujos de nutrientes “in situ”, y los flujos de nutrientes estimados a partir de la sumatoria de los flujos de las estaciones Mañihuales y Simpson (Figura 16). No se encontraron diferencias significativas entre los flujos estimados y los flujos de nutrientes “in situ” para la estación de Aysén.

**Figura 16.** Equivalencias entre los flujos de nutrientes “in situ” y los flujos de nutrientes estimados en la estación Río Aysén.

**A.** Equivalencia para año 2000.



**B.** Equivalencia para año 2001.



Lectura Figura 16:

**Flujo Estimado (ip) / (vo):** Corresponde al flujo de nitrato o fosfato (según corresponda), que ha sido estimado a partir de la sumatoria de los flujos de nutrientes de las estaciones Simpson y Mañihuales. Dividido por la estacionalidad dada, invierno- primavera (ip), o verano- otoño (vo).

**Flujo in Situ (ip) / (vo):** Corresponde al flujo de nitrato o fosfato (según corresponda), que ha sido calculado en la estación Río Aysén. Dividido por la estacionalidad dada, invierno- primavera (ip), o verano - otoño (vo).

#### 4- DISCUSION

Las concentraciones de nitrato y fosfato encontradas en la cuenca hidrográfica del Río Aysén, correspondieron a valores de sistemas oligotróficos según la clasificación internacional de calidad trófica de los sistemas acuáticos (Ryding y Rast, 1992). Sólo los años 1998 y 1999 se encontraron dentro de los rangos de características mesotróficas a eutróficas, en relación a las concentraciones de fosfato en la cuenca. Esta misma relación se puede establecer, considerando la clasificación de trofia propuesta por Smith, Tilman y Nekola (1999). Esto se debió principalmente a los cambios climáticos en la zona. La disminución de las precipitaciones en dichos años, trajo consigo una disminución de los caudales, y de esta manera las especies químicas como nitratos y fosfatos se concentraron en caudales menores. Además, el aumento de la temperatura atmosférica pudo afectar también a la disminución de los caudales, por un aumento en la tasa de evaporación de las aguas de los afluentes. Esto último se infirió a partir de los datos encontrados para las temperaturas atmosféricas, y para la disminución de los caudales (DGA 2004). Todos estos antecedentes indicarían que existe un aporte constante de nutrientes (nitratos y fosfatos) a la cuenca, desde las estaciones de cabecera; donde dichas concentraciones de nutrientes se diluyen o se concentran dependiendo del nivel de los caudales. Esto demuestra que los factores climáticos inciden directamente en las propiedades físicas y químicas de las aguas de los sistemas límnicos en la cuenca. Por lo tanto, es preciso considerar siempre estos factores, ya que la cuenca de Aysén no presentaba actividades humanas de envergadura dentro del período de estudio.

Los autores Vila, Contreras y Pizarro (1996), señalan que la calidad de las aguas tiene directa relación con el clima, dando especial énfasis a la pluviometría. Este estudio cuestiona a la Norma oficial Chilena para aguas de riego, por ser única para todo el país; dado que existen diferencias extremas en el clima y en las características fisiográficas a lo largo del país. Este planteamiento se aplicaría en este estudio, pues la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas, también debería responder a las distintas características climáticas y fisiográficas del país. Este punto es reafirmado por Molina y Vila (2006), al plantear que los estudios de calidad de aguas debieran considerar las diferencias climáticas y limnológicas del país, por lo tanto ser realizados considerando cuencas individuales o regiones climáticas y con sistemas similares.

Todo lo anterior demuestra la importancia que tienen las variables climatológicas en la composición y reciclaje de las especies químicas en los afluentes de una cuenca. Por esto es preciso mantener siempre una base de datos con un registro continuo de las variables climáticas e hidrológicas, ya que éstas presentan un efecto importante en el ciclo del agua y de los nutrientes (Horne and Goldman 1994; Wetzel 2001).

El hecho que las concentraciones de fosfato encontradas en los afluentes de la cuenca fueran mayores a las concentraciones de nitrato, indicaría que los nitratos corresponden al nutriente limitante en los sistemas acuáticos de la cuenca del Río Aysén. Esto concuerda con otros estudios en la región sur del país (Campos, 1984; Soto, 2002), observaron que el nitrógeno correspondía al nutriente limitante en lagos araucanos, atribuyendo este patrón al mínimo desarrollo industrial dado en la parte más austral de Sudamérica, en comparación con cualquier lugar del hemisferio norte. Pardo y Vila (2006), también definen a los sistemas dulceacuícolas de Chile con bajos niveles de nitrógeno.

Los caudales de las estaciones de ambas subcuencas (Mañihuales y Simpson) mostraron diferencias estacionales significativas, agrupándose en dos períodos: invierno- primavera y, verano- otoño. En relación con la altura de estos sistemas y de acuerdo con los resultados obtenidos, es posible proponer que: el incremento en la concentración de nitrato a medida que la altitud disminuye, en la subcuenca Simpson, indicaría un enriquecimiento de este nutriente hacia el fiordo Aysén. Por lo tanto se podría inferir que existirían otras entradas de nitrato a lo largo de la subcuenca Simpson, (puntuales o difusas).

La comparación entre los valores de flujo de nutrientes "in situ" y los valores de flujo en condición de cabecera, intentó evaluar si las estaciones "in situ" presentaban un aumento o disminución en su flujo de nutrientes, en relación al flujo de entrada en la cabecera. Aunque no se observaron diferencias significativas, se podría señalar una tendencia al incremento del flujo de nitrato "in situ" el año 1999 en la subcuenca Mañihuales. Esto podría indicar que existieron entradas de nitrato adicionales al flujo de entrada en la cabecera. Para el caso en que se observa una tendencia a la disminución en el flujo de nitrato "in situ", año 1998 para subcuenca Mañihuales, se podría inferir que esta tendencia se debió al aumento de la incorporación de este nutriente a las algas, microorganismos y vegetación aledaña (aumento de la tasa de fotosíntesis). Otra razón que explicaría esta tendencia a la disminución, sería el aumento de la tasa de desnitrificación, pues el compuesto nitrato es reducido hasta la forma gaseosa  $N_2$ , saliendo del sistema acuático a la atmósfera (Wetzel 2001). Esta última conjetura tiene menos probabilidades de ser cierta que la anterior, puesto que el proceso de

desnitrificación se da sólo en ambientes anaeróbicos, y estos sistemas fluviales no muestran tales características; aunque no es posible descartar del todo dicha hipótesis.

Para los casos en que los valores de flujo de nitrato y fosfato "in situ" fueron muy similares a los valores de flujo en condición de cabecera, se podría suponer que no existió aumento ni disminución de tales flujos a lo largo de las subcuencas. O bien, que los procesos internos de absorción y liberación de dichos nutrientes, mantuvieron los valores de flujo "in situ" cercanos a los valores de entrada en la cabecera.

Otro tipo de análisis realizado, fue el análisis de equivalencia entre los flujos de nutrientes "in situ" y "estimado" (Figura 16), para comprobar posible correspondencia entre ellos y de esta forma aproximarse al funcionamiento de los flujos de nitrato y fosfato en la cuenca de Aysén. Dado que no hubo diferencias significativas, se puede afirmar la existencia de una equivalencia entre los flujos de nutrientes "in situ" y los flujos "estimados" en la estación Río Aysén. Si bien las subcuencas Mañihuales y Simpson representan alrededor del 65% de la superficie de la cuenca de Aysén, éstas revelan en gran parte el funcionamiento de los flujos de nutrientes en la cuenca; aunque es preciso considerar que las subcuencas del Río Blanco y Río los Palos pudiesen tener una influencia importante en la regulación de los nitratos y fosfatos. Para conocer dicha influencia, es necesario realizar estudios y mediciones en estas subcuencas; aunque por la escasa presencia humana en ellas, se podría pensar que los nutrientes son bastante limitantes, dada las características oligotróficas que han mostrado las subcuencas Mañihuales y Simpson lo cual se suma al clima de la Región.

Un punto importante a tratar, es la necesidad de realizar estudios similares a nivel de cuenca hidrográfica en otros sistemas fluviales de Chile, pues la escasez de este tipo de estudios, dificultó un análisis comparativo a nivel de cuencas hidrográficas. A pesar de esta limitación, se pueden extrapolar los valores de concentración de nitrato y fosfato encontrados en estos sistemas acuáticos a sistemas lacustres, puesto que en estos últimos sí se han hecho estudios límnicos que determinan su estado de trofía.

Guildford y Hecky (2000), demostraron que los valores de concentración de fósforo y nitrógeno en los lagos de sudamérica, son mucho más bajos en comparación a otros sistemas acuáticos del mundo. Hedin y col (1995) señalan también que estos lagos reciben mínimas deposiciones de nitrógeno atmosférico, considerándose en algunas áreas uno de los niveles más bajos del mundo.

Finalmente en relación con la pregunta que se pretendía responder ¿las actividades antropocéntricas, están afectando la calidad del agua en la cuenca, en relación a la carga de nutrientes?, este trabajo permite concluir que durante el período de estudio (1997 – 2001), las actividades humanas no afectaron la calidad del agua de la cuenca de Aysén, sino más bien las variables climáticas fueron las causantes directas de la alteración ocurrida en la calidad del agua en los años 1998 y 1999. A pesar de los resultados encontrados, las actividades humanas situadas alrededor y dentro de lagos y sistemas fluviales, han aumentado rápidamente con la agricultura, la ganadería, el desarrollo urbano y el cultivo de salmones. Esto significa potencialmente, una gran entrada de nutrientes en un futuro próximo a los sistemas fluviales de la cuenca de Aysén, por ello se hace necesario tomar medidas de precaución y prevención, para mantener y proteger estos ecosistemas de forma de no sobrepasar la capacidad de carga de los mismos.

## 5- CONCLUSIONES

Después de haber estudiado y analizado las concentraciones y flujo de nutrientes en la cuenca hidrográfica del Río Aysén, se puede concluir lo siguiente:

De acuerdo a las concentraciones de nitrato encontradas durante el período de estudio, y en relación a la clasificación internacional de calidad trófica de los sistemas acuáticos, las aguas de la cuenca de Aysén presentan características oligotróficas.

Las concentraciones de fosfato halladas en la cuenca, también permiten concluir que las aguas de los afluentes son oligotróficas, aunque los años 1998 y 1999 presentaron concentraciones mayores, las cuales se encontraron dentro de los rangos de características mesotróficas a eutróficas.

La condición de mesotrofia a eutrofia se debió principalmente a los cambios climáticos en la zona. La disminución de las precipitaciones dichos años, trajo consigo una disminución de los caudales, y de esta manera las especies químicas como nitratos y fosfatos se concentraron en caudales menores.

Todo lo anterior demuestra la importancia de las variables climatológicas en la composición y reciclaje de las especies químicas en los afluentes de una cuenca. Por esto es preciso disponer de una base de datos con un registro continuo de las variables climáticas e hidrológicas, ya que éstas presentan un efecto importante en el ciclo del agua y de los nutrientes.

Se concluye también, que las concentraciones de fosfato encontradas en los afluentes de la cuenca fueron mayores a las concentraciones de nitrato; esto indica que los nitratos corresponderían al nutriente limitante en los sistemas acuáticos de la cuenca del Río Aysén.

Este trabajo concluye que durante el período de estudio (1997 – 2001), las actividades humanas no afectaron la calidad del agua de la cuenca de Aysén, fueron las variables climáticas las causantes directas de la alteración ocurrida en la calidad del agua en los años 1998 y 1999.



## 6- BIBLIOGRAFIA

1. Andrade, A. 2004. Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. México, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (PNUMA). Oficina regional para América Latina y el Caribe. 110p.
2. Di Castri, F. y Hajek, E. 1976. Bioclimatología de Chile. Imprenta Editorial (U.C), Santiago.
3. Garcés, J.A. 2005. Proposición de un Modelo de Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la Cuenca Maipo Mapocho. Santiago, Chile. 143p.
4. Guildford, S.J. y Hecky, R.E. 2000. Total nitrogen, total phosphorous, and nutrient limitation in lakes and oceans: is there a common relationship? *Limnology & Oceanography* 45: 1213-1223.
5. Hedin, L.O., Armesto, J., Johnson, A.H. 1995. Patterns of nutrient loss from unpolluted, old growth temperate forests: evaluation of biogeochemical theory. *Ecology* 76: 493-509.
6. Horne, Alexander & Goldman, Charles. 1994. *Limnology*. Second edition, Mc Graw-Hill, Inc. 576p.
7. IGM, Instituto Geográfico Militar. 1983. Geografía de Chile. Tomo II: Geomorfología. ([www.conama.cl/portal/1255/articles-31018\\_Aysen.pdf](http://www.conama.cl/portal/1255/articles-31018_Aysen.pdf))
8. Marín, V., Delgado, L., Vila, I. 2006. Sistemas, Ecosistemas y Cuencas Hidrográficas. En: *Macrófitas y Vertebrados de los Sistemas Limnológicos de Chile*. (Ed. Vila, I., Veloso, A., Schlatter, R. y C. Ramirez) : en prensa. Editorial Universitaria, Santiago Chile.
9. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. 2004. Balance Hídrico de Chile. ([www.conama.cl/portal/1255/articles-31018\\_Aysen.pdf](http://www.conama.cl/portal/1255/articles-31018_Aysen.pdf))
10. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas & Cade- Idepe, consultores en ingeniería. 2004. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad: Cuenca del río Aysén. 131p.
11. Molina, X. & Vila, I. 2006. Manual de Evaluación de la Calidad del Agua. Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Lab. Limnología, Fac. de Ciencias, U. de Chile. Fondo de Mejoramiento del Patrimonio Sanitario, Servicio Agrícola Ganadero (SAG), Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 93p.
12. Newbold, J.D., J.W. Elwood, R. V. O'Neill, y W. Van Winkle. 1981. Measuring nutrient spiralling in streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 860 – 863.
13. Niemeyer, Hans & Cereceda, Pilar. 1984. Geografía de Chile, Tomo VIII, Hidrografía. Instituto Geográfico Militar. 309p.

14. Rydning, Sven- Olof & Rast, Walter. 1992. El Control de la Eutrofización en los Lagos y Pantanos. UNESCO. 375p.
15. Smith, V.H., Tilman, G.D., y Nekola, J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100: 179 - 196.
16. Soto, D. 2002. Oligotrophic patterns in southern Chilean lakes: The relevance of nutrients and mixing depth. *Revista Chilena de Historia Natural*. 75: 377-393.
17. Vila, I. & Pardo, R 2006. Causas que podrían Determinar la Eutrofización en los Lagos Chilenos. En: *La Eutrofización en América Latina*. Ed. J. Tundisi y T. Matsumura. En prensa.
18. Vila, I., Contreras, M., & Pizarro, J. 1996. Análisis del Efecto del Material Particulado en aguas de riego. I-IX Región. Antecedentes Preliminares. Informe Final. S.I.T. N° 35. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos. Convenio Lab. Limnología, Fac. Ciencias, Departamento Cs Ecológicas, U. de Chile. 90p.
19. Welcomme, R.L. 1992. Pesca Fluvial. FAO. Documento Técnico de Pesca N° 262. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 303p.
20. Wetzel, Robert. 2001. *Limnology, Lake and River Ecosystems*. Third Edition. Academic Press. 1006p.

Direcciones Electrónicas Consultadas:

- <http://www.imades.org/entorno/entorno08/articulo05.htm>
- <http://www.albertmartinez.com/BRYCE01.htm>
- <http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.htm#A>
- [www.inia.cl/geam/Proyectos/Biodiversidad.pdf](http://www.inia.cl/geam/Proyectos/Biodiversidad.pdf)
- <http://antar.uchile.cl>
- [www.conama.cl/portal/1255/articles-31018\\_Aysen.pdf](http://www.conama.cl/portal/1255/articles-31018_Aysen.pdf)

## **7- ANEXO**

### **Tablas**

**TABLA 17-A.** Rango de Flujo Anual de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/s) para la subcuenca Mañihuales (in situ); y rango del flujo estimado en condición de cabecera (cabecera).

AÑO	ESTACION	Flujo NO <sub>3</sub> - IP (in situ) mg/s	Flujo NO <sub>3</sub> - IP (cabecera) mg/s	Flujo NO <sub>3</sub> -VO (in situ) mg/s	Flujo NO <sub>3</sub> - VO (cabecera) mg/s
1997	Río Ñirehuao	435 – 3753	-----	171 – 1141	-----
	Río Emp. Guillermo	243 – 1132	245 – 1637	107 – 608	107 – 879
	Río Mañihuales	4080 – 10886	2075 – 14196	2266 – 5060	1152 – 6598
	Río Aysén	11230 – 36510	7047 – 38020	9616 – 28852	6034 – 30045
1998	Río Ñirehuao	0 – 12035	-----	0 – 2612	-----
	Río Emp. Guillermo	191 – 1146	0 – 6510	71 – 398	0 – 2261
	Río Mañihuales	2435 – 22661	0 – 66174	1362 – 8377	0 – 24462
	Río Aysén	12501 – 70444	0 – 190183	9170 – 43486	0 – 117403
1999	Río Ñirehuao	920 – 3377	-----	296 – 730	-----
	Río Emp. Guillermo	1302**	739 – 1847	513**	274 – 748
	Río Mañihuales	7812 – 19669	5281 – 15357	3675 – 6828	2484 – 5331
	Río Aysén	21841 – 100942	17156 – 38160	11497 – 85910	9031 – 32477
2000	Río Ñirehuao	2566**	-----	774**	-----
	Río Emp. Guillermo	1117**	1203**	615**	663**
	Río Mañihuales	1214 – 11981	11073**	431 – 9502	475**
	Río Aysén	4843 – 65454	44077**	3060 – 26183	20364**
2001	Río Ñirehuao	144 – 2709	-----	59 – 2469	-----
	Río Emp. Guillermo	119 – 1413	75 – 1165	29 – 2688	18 – 2216
	Río Mañihuales	0 – 14290	416 – 11021	0 – 24075	236 – 18568
	Río Aysén	1241 - 45064	950 - 29063	879 - 46701	672 - 30119

\*\* : Valor puntual.

**TABLA 17-B.** Rango de Flujo Anual de N-NO<sub>3</sub>- (mg/s) para la subcuenca Simpson (in situ); y rango del flujo estimado en condición de cabecera (cabecera).

AÑO	ESTACION	Flujo NO <sub>3</sub> - IP (in situ) mg/s	Flujo NO <sub>3</sub> - IP (cabecera) mg/s	Flujo NO <sub>3</sub> -VO (in situ) mg/s	Flujo NO <sub>3</sub> - VO (cabecera) mg/s
1997	Río Oscuro	20 – 80	-----	8 – 107	-----
	Río Coyhaique	110 – 624	74 – 846	28 – 105	19 – 143
	Río Simpson	N.E.D	N.E.D	N.E.D	N.E.D
1998	Río Oscuro	37 – 149	-----	21 – 141	-----
	Río Coyhaique	60 – 706	130 – 717	13 – 103	28 – 104
	Río Simpson	N.E.D	N.E.D	N.E.D	N.E.D
1999	Río Oscuro	61 – 575	-----	38 – 225	-----
	Río Coyhaique	23 - 4000	314 – 1941	7 – 547	92 – 266
	Río Simpson	N.E.D	N.E.D	N.E.D	N.E.D
2000	Río Oscuro	621**	-----	411**	-----
	Río Coyhaique	81**	2431**	21**	634**
	Río Simpson	35504**	16416**	14518**	6713**
2001	Río Oscuro	3 – 134	-----	1 – 209	-----
	Río Coyhaique	0 – 825	32 – 573	0 – 520	9 – 360
	Río Simpson	622 - 14229	196 – 3119	220 - 11003	69 - 2412

N.E.D: No Existen Datos.

\*\* : Valor puntual.

**TABLA 18-A.** Rango de Flujo Anual de P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/s) para la subcuenca Mañihuales (in situ); y rango del flujo estimado en condición de cabecera (cabecera).

AÑO	ESTACION	Flujo PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> IP (in situ) mg/s	Flujo PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> IP (cabecera) mg/s	Flujo PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> VO (in situ) mg/s	Flujo PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> VO (cabecera) mg/s
1997	Río Ñirehuao	212 – 1985	-----	83 – 604	-----
	Río Emp. Guillermo	141 – 534	119 – 866	62 – 287	52 – 465
	Río Mañihuales	166 – 20650	1011 – 7509	92 – 9597	562 – 3490
	Río Aysén	1999 – 37707	3434 – 20110	1712 – 29798	2940 – 15892
1998	Río Ñirehuao	825 – 29094	-----	328 – 6314	-----
	Río Emp. Guillermo	0 – 13251	545 – 15738	0 – 4602	204 – 5465
	Río Mañihuales	2897 – 129661	3312 – 159974	1620 – 47931	1852 – 59137
	Río Aysén	17893 – 428170	21096 – 459765	13126 – 264315	15475 – 283820
1999	Río Ñirehuao	0 – 24137	-----	0 – 5216	-----
	Río Emp. Guillermo	64**	0 – 13202	25**	0 – 5345
	Río Mañihuales	0 – 101266	0 – 109766	0 – 35157	0 – 38108
	Río Aysén	0 – 298980	0 – 272759	0 – 254458	0 – 232142
2000	Río Ñirehuao	110**	-----	33**	-----
	Río Emp. Guillermo	52**	52**	28**	28**
	Río Mañihuales	190 – 1333	475**	67 – 1057	321**
	Río Aysén	435 – 8648	1889**	275 – 3459	873**
2001	Río Ñirehuao	147 – 547	-----	60 – 499	-----
	Río Emp. Guillermo	42 – 389	76 – 235	10 – 739	18 – 448
	Río Mañihuales	98 – 3123	425 – 2227	56 – 5261	241 – 3751
	Río Aysén	805 – 1877	970 – 5872	570 – 1945	687 – 6085

\*\* : Valor puntual.

**TABLA 18-B.** Rango de Flujo Anual de P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/s) para la subcuenca Simpson (in situ); y rango del flujo estimado en condición de cabecera (cabecera).

AÑO	ESTACION	Flujo PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> IP (in situ) mg/s	Flujo PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> IP (cabecera) mg/s	Flujo PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> VO (in situ) mg/s	Flujo PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> VO (cabecera) mg/s
1997	Río Oscuro	14 - 285	-----	6 - 169	-----
	Río Coyhaique	35 - 789	53 - 1338	9 - 133	14 - 225
	Río Simpson	N.E.D	N.E.D	N.E.D	N.E.D
1998	Río Oscuro	66 - 1266	-----	38 - 1194	-----
	Río Coyhaique	333 - 10155	232 - 6087	72 - 1477	50 - 885
	Río Simpson	N.E.D	N.E.D	N.E.D	N.E.D
1999	Río Oscuro	0 - 1818	-----	0 - 712	-----
	Río Coyhaique	0 - 9717	0 - 6134	0 - 1330	0 - 839
	Río Simpson	N.E.D	N.E.D	N.E.D	N.E.D
2000	Río Oscuro	80**	-----	56**	-----
	Río Coyhaique	24**	315**	6**	82**
	Río Simpson	6054**	2127**	2475**	870**
2001	Río Oscuro	5 - 84	-----	2 - 132	-----
	Río Coyhaique	0 - 364	54 - 361	0 - 229	15 - 227
	Río Simpson	1217 - 10710	324 - 1966	430 - 8282	114 - 1520

N.E.D: No Existen Datos.

\*\* : Valor puntual.