



REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS



ANÁLISIS DE CRITERIOS HIDROAMBIENTALES
EN EL MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS.

PAUTAS PARA LA DETERMINACIÓN DE
CAUDALES ECOLÓGICOS

DIVISIÓN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD DE CHILE

Santiago, Noviembre, 1998

EQUIPO PROFESIONAL

UNIVERSIDAD DE CHILE

Jefe de Proyecto	Ximena Vargas M.	Ingeniero Civil
Profesional a Cargo	Alejandra Badilla	Ingeniero Civil, Eg.
Especialistas		
Hidrología	Ernesto Brown	Ingeniero Civil, Ms.Sc.
Hidráulica Fluvial	Luis Ayala Yarko Niño Aldo Tamburrino	Ingeniero Civil, Ph.D. Ingeniero Civil, Ph.D. Ingeniero Civil, Ph.D.
Calidad Físico- Química	Ana María Sancha	Químico
Calidad Microbiológica	Gabriela Castillo	Químico Farmacéutico
Ecología	Matilde López	prof. Biología, Ms. Sc.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

Inspector Fiscal		
Jefe Depto. Conservación y Protección de Recursos Hídricos	Daniel Gamboa	Ingeniero Civil
	Alberto Merino	Ingeniero Civil Químico

INDICE

1.	Introducción y Objetivos	1
1.1	Generalidades	1
1.2	Objetivo del Estudio	2
1.3	Antecedentes Preliminares	3
1.4	Definiciones	4
2.	Recopilación de Antecedentes	7
2.1	Antecedentes Nacionales	7
2.2	Antecedentes Internacionales	8
3.	Revisión y Análisis de la Información Recopilada	9
3.1	Antecedentes Existentes en Chile	10
3.1.1	Estudios Sobre Caudales Ecológicos	10
3.1.2.	Marco Legal y Revisión de Normas de Calidad de Agua, Vigentes en Chile	25
3.1.3	Comentarios sobre los Antecedentes Existentes en Chile	31
3.2	Antecedentes Internacionales	33
3.2.1	Recorrido Histórico de la Problemáticas del Uso de las Aguas y el Desarrollo de Técnicas Incrementales para la Preservación de los Recursos Acuáticos.	33
3.2.2	Estudios sobre Caudales Mínimos Ecológicos	34
3.2.3	Legislación Internacional Existente con Respecto a Caudales Mínimos en Ríos	50
3.2.4	Planes Hidrológicos Propuestos para el Manejo de las Cuencas	53
3.2.5	Aplicabilidad de Legislaciones y Métodos Internacionales a Chile	54
4.	Análisis de Parámetros Importantes para la Preservación de los Ecosistemas Acuáticos	57
4.1	Antecedentes sobre Calidad Microbiológica de Aguas Superficiales	57
4.1.1	Antecedentes sobre organismos indicadores	58
4.1.2	Evaluación de la calidad Microbiológica de las aguas	58
4.1.3	Discusión	60

4.2	Parámetros de Calidad Físico –Química de Aguas de Interés en la Preservación del Ecosistema Acuática	61
4.2.1	Oxígeno Disuelto (OD)	61
4.2.2	pH	63
4.2.3	Temperatura	65
4.2.4	Dureza	67
4.2.5	Conductividad	69
4.2.6	Metales	69
4.2.7	Nutrientes	70
4.3	Algunas Características Mecánico-Fluviales Relacionadas con el Ecosistema Acuático para Cauces de la IV a X Región	72
4.3.1	Características Mecánico-Fluviales relacionadas con el Ecosistema Acuático	72
4.3.2	Caracterización de Algunos Ríos de las Regiones IV a la X	75
4.3.3	Recomendaciones para Futuros Estudios. Programa de Registro de Las Estadísticas de las Características Mecánico-Fluviales de los Cauces.	77
4.4	Parámetros Bióticos	80
4.4.1	Organismos bioindicadores seleccionados	80
4.4.2	Criterios de selección de puntos de muestreo o recopilación de Información	81
4.4.3	Parámetros medidos y métodos utilizados	82
5.	Zonificación	85
5.1	Sistemas Climáticos Existentes dentro de cada Zona Biológica	85
5.1.1.	Climas de Tendencia Mediterránea	86
5.1.2	Climas de Tendencia Oceánica	89
5.1.3	Territorio andino	89
5.2	Identificación de los Regímenes Hidrológicos y zonificación por tramos	90
6.	Elección de las Técnicas o Herramientas Adecuadas para la Evaluación de Caudales Mínimos	93
6.1	Metodología Propuesta	95
6.2	Caracterización General de las Zonas analizadas	95
6.2.1	Cuarta Región	96
6.2.2	Quinta Región	98

6.2.3	Región Metropolitana	99
6.2.4	Sexta Región	101
6.2.5	Séptima Región	103
6.2.6	Octava Región	105
6.2.7	Novena Región	106
6.2.8	Décima Región	108
6.3	Cálculo de Caudales Ecológicos	109
6.4	Ejemplificación de la Metodología	113
7.	Recomendaciones para el Seguimiento de la Calidad del Recurso	115
7.1	Metodología de Muestreo Biológico en Cauces no Contaminados	115
7.1.1	Criterios de selección de puntos de muestreo	116
7.1.2	Métodos utilizados para determinación de biota acuática	116
7.2	Metodología de Muestreo en Cursos Contaminados	117
7.2.1	Antecedentes teóricos	117
7.2.2	Metodología de muestreo	118
8.	Metodología para Casos Especiales	119
9.	Conclusiones y Comentarios	122
10.	Bibliografía	125

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Generalidades

Con el creciente uso antrópico de los recursos de agua dulce existentes en el mundo, el hombre se ha visto en la necesidad de abordar la asignación de estos recursos desde una doble perspectiva que involucre no tan sólo los usos humanos, crecientes conjuntamente con la economía de los países, con sus correspondientes actividades industriales, agroforestales y económicas en general, sino que también considere la preservación de este recurso en forma globalizada, es decir, incluyendo todo su entorno. Esta necesidad de preservar el recurso no está motivada únicamente por los usos crecientes que se dan al agua dulce, sino que incluye, además, la paulatina toma de conciencia de la sociedad con respecto a su entorno y a las especies "inferiores" que lo habitan en forma conjunta y que comparten con el hombre la necesidad y el derecho de utilización de los recursos del planeta.

Es en atención a este entendimiento del derecho a la vida de todas las especies y a la comprensión de que la supervivencia de cada una de ellas está íntimamente ligada a la supervivencia de las demás, que los países realizan crecientes estudios para conocer, comprender y preservar la vida en todas sus formas y manifestaciones.

En el caso de los recursos hídricos, a los usos tradicionales: abastecimiento doméstico e industrial, riego y generación hidroeléctrica, en los últimos años, se ha agregado el denominado "uso ecológico". Este último está destinado a preservar la flora y fauna propia de un cauce y de sus áreas ribereñas. De aquí ha surgido el vocablo caudal o gasto ecológico, el cual se entiende como aquel caudal mínimo a mantener en un curso natural, después de haberse utilizado el recurso con distintos fines, destinado a asegurar la supervivencia de las especies animales y vegetales propias del sistema natural.

Con este fin se han realizado estudios preliminares que han perseguido, específicamente, la fijación de pautas que permitan la toma óptima de decisiones con respecto a la asignación de los recursos acuático-fluviales del país, pues en la medida que el país se desarrolla, más intensivo se hace el uso de sus recursos naturales y también más numerosos y variados se tornan los conflictos entre usuarios con diferentes intereses.

En nuestro país, la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas entre otras atribuciones y funciones que le confiere el Código de Aguas tiene la misión de investigar y medir el recurso hídrico, a la vez que debe aprobar la construcción de ciertas obras hidráulicas. Asimismo, le compete a esta institución el otorgar los derechos de aprovechamiento de agua.

En consecuencia, para la Dirección General de Aguas es de vital importancia el contar con un manual de procedimiento o documento de clasificación de los cauces más importantes del país, que teniendo en consideración el uso ecológico del recurso, entre otras cosas, sirva de base para la constitución originaria, por acto de autoridad, de derechos de aprovechamiento de aguas.

Por su parte, la División Recursos Hídricos y Medio Ambiente del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile

desarrolla investigaciones en recursos hídricos y calidad de aguas, destinadas a la aplicación de nuevas tecnologías en el país.

Debido al interés de ambas instituciones por realizar estudios e investigaciones relacionadas con los recursos hídricos, tanto en lo relativo a los aspectos físicos como de calidad de aguas y al mantenimiento de los ecosistemas asociados a ellos, en el marco del análisis de criterios hidroambientales en el manejo de recursos hídricos, se ha formulado este estudio para la definición de pautas para la determinación de los caudales ecológicos.

En estudios anteriores realizados en el país, ha quedado de manifiesto la total ausencia de registros ecológicos (de flora y fauna existentes) organizados y, con ello, la urgente necesidad de crear estaciones de muestreo periódico de la biota, generando así un banco de datos biológicos, tal como ya se ha comenzado en otros países desarrollados, que complementen los registros hidrológicos y que permita, en el futuro, la determinación de caudales ecológicos con bases más reales y con métodos más eficientes de simulación que modelen los ríos incorporando interacciones y relaciones entre los distintos componentes abióticos y bióticos de los ecosistemas, permitiendo una evaluación ambiental que asegure la preservación de los ecosistemas de agua dulce y optimice su aprovechamiento.

Al igual que en el primer estudio, sobre caudales ecológicos realizado en el país (R&Q, 1993), en la investigación que se desarrolla en el presente no se considerarán los caudales de dilución, por las mismas razones que se exponen en dicho estudio, pues se considera un problema del subdesarrollo que no tiene cabida en la investigación de conceptos tan elevados como el de Caudales Ecológicos. Por lo tanto la investigación se realizará bajo el supuesto de que la calidad físico-química de las aguas debe ser resguardada a través de la aplicación de normativas previas a la introducción de un caudal mínimo ecológico.

Del mismo modo, en el estudio de R&Q se consideraron aspectos ambientales generales y de evaluación subjetiva, como el valor Escénico y Turístico-recreacional. En la presente investigación, no se considerarán estos aspectos en la definición de las pautas para la obtención de caudales ecológicos, porque están fuera del alcance del proyecto. Estos se deberán abordar, a través de un procedimiento adecuado, por organismos competentes, en los casos específicos que así lo ameriten.

1.2 Objetivo del Estudio

El objetivo del presente estudio es la formulación de una metodología simple que permita, a través de un conjunto de parámetros y/o expresiones, la formulación de criterios generales básicos para su utilización en manejo de recursos hídricos.

Dentro de esta finalidad queda implícitamente definido como caudal mínimo ecológico para esta investigación en especial, aquel caudal necesario para preservar los ecosistemas existentes actualmente, cuya determinación involucre las estadísticas hidrológicas, de calidad de las aguas y aspectos biológicos.

Al nivel del conocimiento existente hoy en día, en especial del que se tiene con respecto a las especies que componen los ecosistemas en los ríos de nuestro país y de los requerimientos de éstas, se establecerán en primera instancia Caudales Mínimos Ecológicos sobre bases simplificadas, asociándolos a caudales hidrológicos, que ayuden a resolver en forma rápida y práctica la problemática de asignación de los recursos hídricos. Se deja propuesto, como tarea a largo plazo, el desarrollo de investigaciones biológico-fluviales que permitan determinar de manera más minuciosa y exacta los caudales necesarios para mantener los ecosistemas acuáticos.

Se aclara que los caudales, por la propia génesis que tendrá su obtención, constituyen una primera aproximación, que se utilizará como base para la concesión de derechos de agua (que aún no se han otorgado) en el corto y mediano plazo mientras se crean bancos de datos biológicos que permitan la aplicación en el futuro de métodos más específicos y reales de acuerdo a las características de cada una de ellas.

La metodología es concebida únicamente en este contexto, como base para mantener los ecosistemas fluviales mientras se avanza en la investigación de la biota de los ríos y sus interrelaciones con el hábitat, pudiendo así desarrollar y mejorar la forma de obtención de caudales mínimos y el manejo general de los recursos hídrico-fluviales de acuerdo a metodologías de vanguardia.

Otro objetivo del estudio es establecer, en forma paralela a la metodología simple mencionada, las bases para estudios específicos en zonas conflictivas, en las que los peticionarios de derechos de agua cuestionen los caudales establecidos en una primera instancia.

1.3 Antecedentes Preliminares

Este estudio es la continuación de otros abordados por la Dirección General de Aguas, que se describen en detalle en el capítulo 3. Dichos estudios sirven de base para la definición de las pautas para la determinación de caudales ecológicos, por cuanto, por una parte en ellos se efectuó una extensa revisión bibliográfica, tanto nacional como internacional, acerca del tema de interés y, por otra, éstos se enfocaron a la búsqueda de conocimiento ecológico de los ríos principales de las regiones Metropolitana, IV, V, IX y X. Además, en ellos se efectúan proposiciones metodológicas para estudios posteriores y se proponen metodologías para el estudio de caudales ecológicos.

La información anterior es ahora complementada con aquella nacional e internacional especialmente recopilada en este estudio, evaluándose aquí las posibilidades de aplicar metodologías utilizadas internacionalmente. Este estudio se circunscribe al territorio nacional comprendido entre la IV y X Región y para ello se identifican los aspectos ambientales relevantes, elaborándose una tipología o zonificación de ríos acorde.

Dada la multidisciplinareidad que exige un estudio de esta naturaleza, donde confluyen tanto ingenieros como biólogos y especialistas en calidad físico-química y biológica del agua, se considera de interés explicitar la terminología usada por otras disciplinas, enfatizando que en el informe se usará aquella de uso común en estudios de ingeniería.

1.4 Definiciones

A continuación se desarrolla un vocabulario cuyo objetivo es lograr el entendimiento, en cuanto a la terminología, entre los distintos especialistas que desarrollan o desarrollarán temas concernientes a los caudales mínimos en ríos.

Alógeno: se refiere a todo aquello que no es propio de un lugar, foráneo.

Anóxico: sin oxígeno.

Bentos: comunidades de organismos que viven sobre, en o cerca del fondo de un curso de agua. Los principales constituyentes comunitarios son larvas de insectos acuáticos que se encuentran principalmente en la corriente. En el sedimento y en las piedras se encuentran organismos filtradores, especialmente moluscos, distintos tipos de gusanos y otros tipos de insectos. Estos organismos son la base de la cadena alimentaria de los ríos.

Deriva: todo lo que pasa por un punto, no permanece. Organismo que se traslada.

Endémico: propio de un lugar, autóctono, se encuentra en un rango geográfico muy restringido.

Entomología: estudio de los insectos.

Estenos: organismos exigentes con su hábitat. Requieren para vivir de condiciones específicas que sólo pueden variar dentro de un rango limitado. Son buenos indicadores biológicos.

Euri: organismos muy adaptables que sobreviven dentro de un rango amplio de condiciones ambientales. No son buenos indicadores.

Íctico: relativo a los peces.

Índice Biótico: medida de la calidad del agua en términos biológicos basado en la abundancia y diversidad del bentos.

Lacustre: ver "léntico".

Léntico o Lacustre: Asociado a aguas quietas (lagos o lecho de un río).

Lótico o Reófilo: Asociado a aguas en movimiento (ríos o esteros). Se habla de fase o facie lótica.

Macrófitas: plantas acuáticas emergentes o sumergidas.

No taxo: referente a las relaciones funcionales existentes dentro del ecosistema (desde el punto de vista trófico, energía).

Potamón: ríos de órdenes mayores (8 o 9, en nuestro país). Se caracterizan por ser de gran longitud, de baja pendiente; baja velocidad; más profundos, con caudales mayores y aguas de temperatura más elevada que los ritrones. Fondo constituido de material muy fino y en especial de materia orgánica o fangosa. Arrastran sedimentos en gran cantidad, especialmente suspendidos que hacen variar el color del agua. Presentan zonas de inundación adyacentes denominadas "vegas o bañados". En su litoral se encuentran macrófitas acuáticas sumergidas y emergentes.

Reófilo: ver "lótico".

Ripícola: relativo a los ríos.

Ritrón: ríos de los primeros órdenes que en Chile pueden incluso llegar al orden 5. De menor longitud que los potamones, bajo caudal, gran pendiente y altas velocidades. Aguas heladas (máx. 20°C), fondo formado por piedras grandes. Se distinguen dos zonas: los rápidos, de altas velocidades y fondo pedregoso. Los pozones, con aguas lentas y fondo de material más fino. Ambas zonas se van alternando. Las aguas de los ritrones hacen el mayor aporte de sólidos disueltos y de nutrientes orgánicos e inorgánicos.

Taxo: referente a las relaciones genéticas existentes entre las especies.

Valor Ecológico: característica de la naturaleza, que compromete varios aspectos de la misma, y que es necesario mantener en determinado estado para no perturbar los macroequilibrios reconocidos.

Valor Paisajístico: característica visual del paisaje, real o virtualmente reconocida por la sociedad, que es deseable mantener.

2. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

En este capítulo se indica el procedimiento seguido para recopilar antecedentes tanto nacionales como internacionales sobre el tema de interés.

2.1 Antecedentes Nacionales

Se realizó una búsqueda de antecedentes existentes a nivel nacional, referentes a la biota acuático-fluvial. Se visitaron varios lugares, en los cuales se rastreó información tanto en textos como en entrevistas a especialistas, en temas afines con el estudio.

En los párrafos siguientes, se incluye un listado de los lugares visitados y las personas entrevistadas.

1. Museo Nacional de Historia Natural

En la biblioteca del museo se encontró muy poca información. Se entrevistó a la Sra. Fresia Rojas, de la sección de entomología, experta en *Trichopteras*.

2. Biblioteca Nacional

No se encontraron publicaciones, ni artículos de interés para los fines perseguidos en el presente estudio.

3. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias

En la biblioteca de la Facultad, se encontraron textos que incluían características generales de ciertas especies alógenas, inaplicables a las especies existentes en nuestro país.

En esta Facultad se entrevistó a las siguientes académicas, de la sección de fisiología:

- Sra. Irma Vila, experta en peces. Se obtuvo información de algunos títulos de estudios internacionales.
- Sra. Cecilia Osorio, experta en moluscos. Se obtuvo sólo información de carácter general. Quedó de manifiesto la inexistencia de organismos y personas que enfoquen sus estudios a moluscos de aguas dulces, pues en general, a nivel nacional, sólo se cuenta con estudios de recursos marinos, debido a la implicancia de estos en la economía.

4. Pontificia Universidad Católica de Chile

Se visitó la biblioteca del campus San Joaquín, donde se obtuvo información útil para determinar las especies existentes en la zona sur del área que abarca el presente estudio.

En todo el desarrollo de la búsqueda se constató la escasez de información existente en nuestro país, con respecto a ecología en general y específicamente a ecología acuática. Por otro lado la escasa información existente corresponde a investigaciones que están en curso actualmente o que

habiéndose concluido no han sido publicadas por lo que son de difícil acceso.

2.2 Antecedentes Internacionales

Se revisaron las bibliografías internacionales consultadas en las investigaciones nacionales, sobre caudales ecológicos. El banco de datos que se concentra en ellas es muy completo y actual, por esta razón se definió una línea distinta a seguir con respecto a las búsquedas que apuntó a contactar, vía e-mail, a organismos y/o personas que estuviesen desarrollando investigaciones afines.

Se establecieron contactos con:

- España, a través de las firmas Iberdrola (representada, para efectos de comunicación, por el Sr. Clemente Prieto) y Fecsa (Sr. Luis Félez) que actualmente finalizan un estudio conjunto sobre la relación entre caudales mínimos y comunidades fluviales.
- Australia, a través de la Universidad de Melbourne (Srs. Chris Gippel y Michael Stewardson, con quienes se mantuvo comunicación vía email y entrevista directa) y de la AWWA (Australian Water and Wastewater Association).
- E.E.U.U., con la River System Management Section, Midcontinent Ecological Science Center de la National Biological Survey, en Fort Collins, Colorado; a través del Doctor Clair Stalnaker. Ellos son los creadores de la metodología denominada IFIM, PHABSIM y todo el conjunto de programas que son incluidos en ella. Llevan trabajando más de 20 años en el área de interés. Tienen cientos de publicaciones técnicas, legales, biológicas, hidrológicas, ecológicas, económicas, etc.. Se les conoce como el Instream Flow Group, U.S. Fish and Wildlife Service.
- Inglaterra, con la Chief of Environment Quality, National Rivers Authority, Rivers Mouse, Water Side Drive; a través de Environment Agency, Water Resources Manager for Wales (Ian Barker).

Todos los antecedentes recopilados a través de estas fuentes se citan en la bibliografía y en el capítulo siguiente se incluye el análisis de las de mayor interés.

3. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

En el presente capítulo se presenta una discusión sobre toda la información consultada, haciendo una revisión de los criterios internacionales con que se aborda el estudio de los caudales mínimos para la conservación de los ecosistemas fluviales. Los estudios se han realizado principalmente en los países europeos y en E.E.U.U.. Hoy en día, se están comenzado estudios en Latinoamérica, siendo Chile uno de los países pioneros. En este capítulo se incluye, además, una revisión completa de los estudios realizados a nivel nacional.

Hasta ahora se han desarrollado diversas metodologías para cuantificar los caudales mínimos necesarios para la supervivencia de las especies, dentro del medio acuático, que se pueden agrupar en los tres enfoques siguientes:

1.- Enfoque Empírico o proporcional:

Este enfoque constituye un criterio grueso, conservador y global que estima los caudales mínimos admisibles sobre la base de estadísticas hidrológicas que reflejen el régimen natural o poco intervenido. El caudal mínimo obtenido es un porcentaje del régimen natural con lo que se previene que la explotación vaya más allá de la cifra porcentual definida. Este criterio no considera variaciones de caudal en el corto plazo ni los requerimientos biológicos de los distintos componentes del ecosistema. Por ser el más sencillo es el más aplicado y discutido en la literatura.

2.- Enfoque Semiempírico o heurístico:

Este enfoque busca determinar requerimientos biológicos, comunitarios o ecosistémicos de los distintos componentes de los ecosistemas reófilos existentes, independientemente de los caudales disponibles, ya sean naturales o intervenidos. Sin embargo, no es completamente independiente del caudal, pues los ecosistemas que se tratan dependen del caudal imperante en el medio. Por su naturaleza es muy parcial y localizado.

3.- Enfoque Integral u Holístico:

Es el enfoque del futuro mediante el cual se podrán estimar los caudales mínimos a través de modelos ambientales de simulación que incorporen bases de datos biológicos e hidrológicos y funciones interrelacionales entre los diversos componentes, para modelar el estado de conservación de un río. Para lograr aplicar metodologías basadas en este enfoque se requiere el monitoreo de muchas variables que prestan utilidad después de muchos años, también se requiere de estudios e investigaciones biológicas e hidrológicas que provean las funciones relacionales entre los diversos componentes monitoreados. El objetivo de aplicar metodologías con este enfoque es: "Simular el sistema ambiental de modo de predecir los efectos de eventuales medidas de gestión para optimizarlos y favorecer un adecuado e integral manejo de los sistemas de ríos".

El enfoque ideal es por lo tanto el holístico, pero no puede ser aplicado, ni en el corto, ni en el mediano plazo, por las condiciones actuales imperantes en este campo, que no cuenta con la infraestructura necesaria para comenzar a generar los datos básicos.

El presente estudio pretende generar una metodología que combine el empirismo, presente en las estadísticas hidrológicas, con procedimientos heurísticos que involucren índices de la actividad biológica, para la determinación del caudal mínimo ecológico.

3.1 ANTECEDENTES EXISTENTES EN CHILE

A continuación se analizan los antecedentes existentes en Chile, referentes a estudios sobre caudales ecológicos y a la normativa existente con respecto a la calidad de las aguas que se deben mantener en un río.

3.1.1 Estudios sobre Caudales Ecológicos

Como se ha mencionado previamente, el presente estudio constituye la tercera investigación realizada en Chile sobre caudales mínimos ecológicos.

Todos los estudios han sido encargados por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, a través del **Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos**.

El primer estudio realizado en el país se efectuó en 1993 y su realización quedó a cargo de la oficina consultora **R&Q Ingeniería Limitada**. El segundo estudio, realizado al año siguiente (1994), fue desarrollado por la firma consultora **Ayala, Cabrera y Asociados Limitada**.

A continuación se hace un análisis detallado de cada uno de estos estudios por constituir la única experiencia nacional en este campo. El análisis se enfoca más bien a la metodología usada que a los resultados locales obtenidos por cada uno de ellos.

3.1.1.1 Caudales Ecológicos en Regiones IV, V y Metropolitana

Esta investigación es la primera en su tipo realizada en el país. Su informe final fue editado en Agosto de 1993.

En los párrafos siguientes se analizan, conjuntamente, el estudio realizado por R&Q y el resumen de éste, presentado por Salazar et al. (1994) en las Terceras Jornadas de Hidráulica Francisco Javier Domínguez.

En el estudio se expone primero un análisis general de la problemática existente en cuanto a la explotación creciente de los recursos hídricos y de su administración que debe compatibilizar todos los usos, incluido el ecológico, optimizando el sistema acuático de tal manera que no se detenga el desarrollo humano por mantener intacto el hábitat, ni se sacrifique el hábitat natural por el desarrollo humano, fijando límites razonables para la intervención humana. La única forma de fijar este límite es asignando a cada factor involucrado una importancia relativa, que dependerá del conocimiento que se tenga de ellos y de sus interrelaciones a través de las cuales se podrán establecer prioridades para asignar el recurso. Dentro de estos factores, el más difícil de cuantificar es el

beneficio futuro para el hombre, de mantener en condiciones viables los ecosistemas actuales.

La investigación tuvo un enfoque heurístico y su objetivo fue la búsqueda del conocimiento ecológico en los ríos principales de las regiones abarcadas dentro del área de estudio (regiones IV, V y Metropolitana), para prevenir la eliminación y destrucción de los sistemas de vida asociados a ellos, limitando la extracción irracional del recurso.

En el estudio se define caudal ecológico como una representación simplificada de la calidad de un ecosistema de río. El caudal se considera un indicador del ecosistema que se relaciona con un estándar (el caudal ecológico) que expresa los niveles deseados del indicador. Como se cita en el estudio, determinar el caudal ecológico es de alto valor como resultado de una evaluación ambiental general, que ayude en la toma de decisiones para mejorar los ecosistemas.

En la obtención de los caudales ecológicos no se incluyó el caudal de dilución, pues se considera la contaminación antropogénica un problema asociado a situaciones de subdesarrollo siendo por el contrario la concepción de caudal ecológico un concepto altamente desarrollado. Por otro lado al considerar la dilución, los órdenes de magnitud de los caudales resultantes son muy diferentes a los de los caudales ecológicos propiamente tales (R&Q, 1993).

En la determinación de los caudales mínimos ecológicos se subdividieron los ríos escogidos, de la zona en estudio, en tramos homogéneos que fueron propuestos sobre la base de la información fluviométrica existente, calidad del agua, existencia de sectores con mayores niveles de contaminación, condiciones de los ecosistemas y características de la flora y fauna acuática. Para la selección de los tramos se usaron los siguientes criterios: importancia cuantitativa de la subcuenca, división de secciones legales de riego, cambio en el régimen hidrológico y discontinuidad en las condiciones hidrográficas.

Sobre la base del mapa hidrológico de Chile, elaborado por la DGA, se realizó una caracterización del material subyacente en cada uno de los tramos. La clasificación distinguió zonas de recarga, descarga, áreas con fondo impermeable y zonas de intercambio entre el río y el acuífero.

En la investigación, analizada, se desarrollaron diversos ítemes con el fin de obtener propuestas de caudales ecológicos:

- Se realizó una descripción completa del ambiente natural para cada tramo en que se subdividieron los ríos analizados entregando las características geográficas, climáticas, biológicas (flora y fauna terrestre y acuática), hidrológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas de los ecosistemas. En cada tramo se midió la temperatura, conductividad, sección y velocidad.
- Se hizo una descripción del medio ambiente construido, entregando antecedentes acerca de los usos actuales del agua en cada tramo (las aguas consumidas en las ciudades fueron analizadas considerando su doble aspecto: como demanda y como efluente de aguas servidas, al cauce).
- Se seleccionaron indicadores representativos de aspectos biológicos, hidroquímicos, ambientales e hidrológicos; sobre la base de ellos se estimaron los caudales mínimos

requeridos y disponibles.

- Se evaluaron los requerimientos de caudal analizando por separado los requerimientos para cada aspecto considerado (biológico, hidroquímico, ambiental-humano). Se contrastaron los requerimientos con el recurso disponible, obtenido de los estudios hidrológicos.
- Se determinó el impacto ambiental, evaluando en forma teórica los efectos de la reducción del caudal en un río sobre aspectos físicos, químicos, biológicos y socioeconómicos del sistema ambiental. Se evaluaron en forma general los problemas ambientales detectados en terreno, considerando perturbaciones causadas por el hombre y fenómenos naturales que afectaran a los ecosistemas; se propusieron medidas generales de mitigación.
- Se formuló un conjunto de proposiciones orientadas a complementar la metodología empleada en el estudio, facilitando la obtención de caudales ecológicos en otros ríos del país.

En el trabajo de R&Q, se seleccionó el caudal como la variable más relevante del ecosistema de río, que interesa proteger. Se incorporó el estudio de los componentes más afectados del ambiente y los usos típicos de las aguas. Se citó como la limitante más importante, en la conservación de la calidad físico-química y biológica de las aguas, a su uso como receptor de contaminantes, los que pueden modificar el ambiente más allá de toda consideración con respecto a los caudales.

Según lo expuesto en el estudio, la selección de los componentes ecosistémicos más afectados o que pueden ser afectados por los proyectos hidrológicos, constituye por sí misma una decisión de carácter ambiental. En el caso de los ríos de la zona semiárida de Chile, donde se realizó el estudio, el componente ambiental con mayor relevancia, a juicio de los autores, es el caudal de los ríos. Éste se encuentra sometido a una gran explotación, debida a los proyectos de irrigación y como receptor de desechos, es así como el caudal de los ríos ha llegado incluso a condiciones extremas de su uso total en ciertos sectores. Sobre él, según lo citado, existen además, criterios de manejo factibles de ser aplicados por la autoridad, lo que no es posible con muchos otros componentes del ecosistema. Los autores estiman que el caudal, a futuro, continuará siendo el componente con mayor presión de uso; debido a que es un componente básico del ecosistema y en muchos es el más importante indicador de la condición ecológica. En condiciones límite (de sequía o inundación) el caudal es el principal componente ambiental. Los caudales están estrechamente ligados a la calidad físico-química de las aguas, a factores morfológicos, calidad biológica, química y factores sociales. Cualquier cambio en los caudales genera cambios en todos los otros componentes.

El caudal como variable ecológica está configurado por diversos aspectos o valores que se deben separar para su análisis y estudio. Los valores que se consideraron importantes para el estudio fueron:

- Valor biológico
- Valor de calidad del agua (hidroquímica)
- Valor ambiental general (paisaje)
- Valor de disponibilidad hidrológica.

Cada uno es muy complejo y está formado por muchos componentes por lo que no se pueden abarcar en su totalidad. Además, según lo expuesto en el estudio, no interesa conocer todos los componentes pues existe dependencia entre muchos de ellos, quedando las necesidades básicas

cubiertas por defecto si se cubren las de los componentes principales. Los componentes identificados, en el estudio, como principales o representativos de cada aspecto, se denominaron "indicadores", y se describen a continuación:

A. Indicadores Biológicos

Se individualizaron entre las especies descritas y detectadas en cada tramo, las de mayor implicancia en cuanto a:

- Importancia ecológica
- Presencia en la mayoría de los tramos
- Disponibilidad de estudios acerca de su biología
- Sensibilidad a las variaciones de caudal.

Se consideró como especie indicadora a aquella que fuese exigente con el medio estudiado de modo que de su presencia se pudiera inferir que el medio estaba sano o poco alterado. Estando presente la especie se supondría sana toda la cadena biotrófica.

En el estudio se seleccionaron dos grupos de especies indicadoras, entre los componentes de las comunidades biológicas, que combinados reflejarían el estado relativo de las comunidades lólicas:

- Los peces, como indicadores biológicos
- El bentos, como indicador de la calidad química del agua.

Se descartaron las macrófitas ya que por su estacionalidad y distribución poco homogénea no se lograron muestras apropiadas. Además existía poca información acerca de ellas.

Los peces seleccionados, presentes en la mayoría de los tramos y ampliamente estudiados, fueron cuatro:

- i) Dos especies de Salmónidos:
 - La Trucha arcoiris (*Orcorhynchus mykiss*)
 - La Trucha café o europea (*Salmo trutta*)
- ii) Dos especies de Aterínidos:
 - El Pejerrey chileno del norte (*Basilichthys microlepidotus*)
 - El Pejerrey chileno del sur (*Basilichthys australis*)

La elección de estas especies ícticas quedó determinada, fundamentalmente, por la disponibilidad de información acerca de ellas.

Como indicador global del ambiente biológico se hizo una descripción biogeográfica de las formaciones vegetales presentes en cada tramo. Se caracterizó en forma general la fauna; la flora acuática se identificó taxonómicamente y se evaluó su cobertura. Para el muestreo de peces se usó el método de pesca eléctrica que se aplicó a lo largo y ancho del río sobre un área de 70 m² durante media hora. La fauna bentónica e invertebrados acuáticos se controló con red de deriva en el sedimento de fondo.

B. Indicadores Hidroquímicos

De acuerdo a lo citado por los autores, del estudio bajo análisis, el caudal mínimo ecológico debe mantenerse descontaminado por normativa o imposición, pero en ningún caso destinando un caudal adicional para dilución. Es por esto que, en el concepto de caudal ecológico, consideran la inclusión de los requerimientos de caudal para diluir la contaminación antropogénica, con sentido sólo en la medida en que se hayan agotado todas las posibilidades de controlar dicha contaminación en la fuente con normativa, es decir, cuando exista una contaminación residual que deba ser asumida por la sociedad en su conjunto. Bajo este supuesto en el estudio se incluyeron los caudales necesarios para la dilución de contaminación residual en situación normada.

La estimación de la calidad del agua se hizo a través del uso de un Índice Biótico basado en la fauna bentónica, es decir, el bentos se seleccionó como indicador de la calidad hidroquímica del agua en términos biológicos, ya que permite evaluar mediante su presencia, ausencia y abundancia relativa, la aptitud de un curso de agua para que se desarrolle la vida acuática independientemente de los estándares para usos humanos, los que incluso pueden no coincidir en algunos casos. Estos organismos además, según lo citado, permiten estimar en forma cualitativa el estado del sistema al registrarse la riqueza de especies.

Las principales características del bentos como indicadores de calidad de agua se deben a su sensibilidad y a que no migran.

La abundancia relativa de los distintos tipos de invertebrados, sean estos tolerantes, facultativos o intolerantes, es diferente en sistemas saludables y sistemas contaminados.

Según lo expuesto, la calificación de tolerantes, facultativos o intolerantes es relativa y suele ocurrir que factores, como la temperatura, varíen la tolerancia o intolerancia de un cierto grupo. Para permitir una cuantificación de la sensibilidad de este tipo de indicadores, dadas estas circunstancias, se introdujo una medición numérica de los componentes de la comunidad, integrando estos datos a la composición cualitativa. De esta forma, se diseñó un Índice Biótico para evaluar la calidad del agua en términos biológicos.

Estos índices, de acuerdo al estudio, tienen una validez relativa y en general deben acompañarse con una valoración de los sistemas en base a datos de sus características físicas, químicas y ecológicas.

Las principales dificultades de interpretación se asociaron a cursos de agua de baja temperatura con poca diversidad natural, cuyo bajo valor del índice no estaría asociado a contaminación; los ríos pequeños tienen menor diversidad que los ríos grandes. A esto se suma la subjetividad en evaluar el índice y la dificultad de identificar los organismos, los que a menudo no pueden ser reconocidos hasta el nivel de género o especie. La variabilidad natural de los organismos debido a factores estacionales, se soluciona en base a tomar muestras en las distintas estaciones y comparar sus resultados. Esto no se realizó, en el estudio de R&Q, pero quedó propuesto para el futuro.

Mientras mayor sea el índice resultante mejor será la calidad del agua que se califica en los términos que aparecen en la tabla 3.1.

TABLA 3.1: Calificación de las Aguas de Acuerdo al Índice Biótico (R&Q, 1993)

CALIDAD	VALOR DEL I.B.
Buena	I.B. > 8
Aceptable	7 y 7.9
Pobre	5 y 6.9
Crítica	3 y 4.9
Muy pobre	I.B. < 3

Es importante considerar que la contaminación reduce el número de especies creando condiciones favorables para algunas pocas, las que aumentan en abundancia, tal como se aprecia en la figura 3.1(c). Un lugar saludable presenta números moderados de muchas especies, como se observa en las figuras 3.1(a) y 3.1(b). En la figura 3.1(d), se muestra que aún las especies con mayor resistencia a la contaminación desaparecen en ambientes de polución excesiva (J. Cairns, 1972).

A modo de ejemplo, en la figura 3.2 se presenta el índice de diversidad de especies de organismos bentónicos versus la distancia, en millas, desde la descarga de aguas servidas; los datos corresponden a pruebas realizadas en un cauce en Nueva York (J.C. Wilhm, 1967).

El método de evaluación de la calidad del agua en términos biológicos, a través del Índice Biótico, fue propuesto por Tuffery (1979) y Verneaux (1981). Se basa en una revisión global, a través de un muestreo normalizado, de los dos tipos de muestras de macrofauna bentónica: la de aguas en movimiento o fase lótica y la del sedimento o fase léntica, las que se organizan en Unidades Sistemáticas (U.S.), de acuerdo a tablas patrones.

Se calculó el Índice Biótico para cada uno de los tramos a base de un solo muestreo, realizado en el invierno, de la fauna bentónica en fase corriente y fase sedimento, tomándose este índice como un diagnóstico cualitativo de una situación de contaminación dada que permite, de manera sencilla y poco costosa, detectar en primera instancia problemas de contaminación ambiental. Sin embargo, como no permite cuantificar en forma directa las concentraciones de contaminantes específicos, se seleccionaron como indicadores hidroquímicos, parámetros específicos de contaminación según el tipo de descarga. Para determinar un indicador biológico se consideró:

- Sensibilidad a alteraciones ambientales (los principales grupos que corresponden a este tipo son: *Plecoptera*, *Trichoptera* y *Ephemeroptera*)
- Tolerancia a alteraciones ambientales (los principales grupos que corresponden a este tipo son: *Oligochaeta* e *Hirudinea*)
- Abundancia

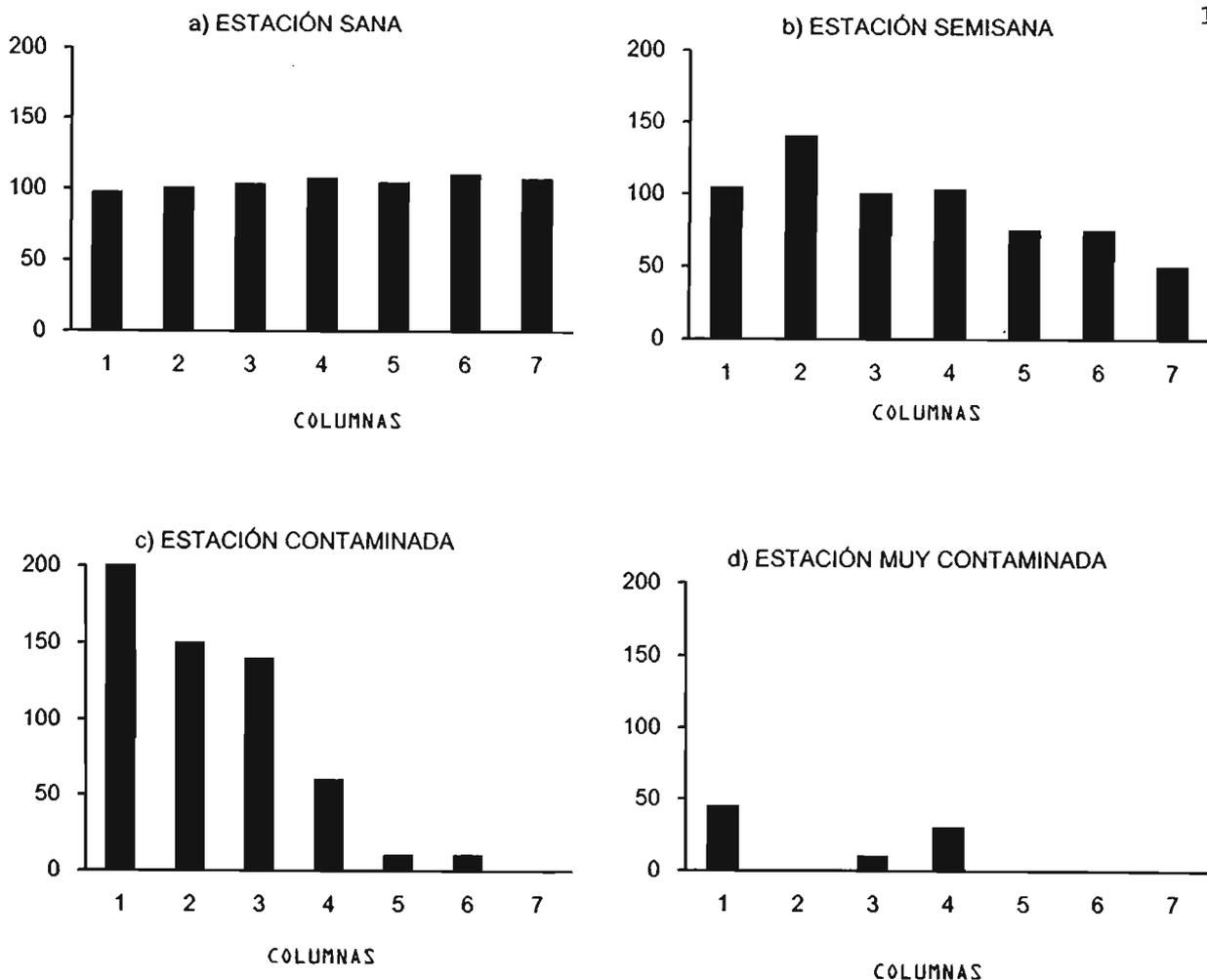


FIGURA 3.1: Estructura poblacional de las comunidades acuáticas con respecto a diferentes grados de contaminación. Columna 1: especies de diatomeas, algas azul-verdes, y algas verdes reconocidas por su tolerancia a la contaminación. Columna 2: *Oligochaetas*. Columna 3: Protozoos. Columna 4: Diatomeas, algas rojas, algunas verdes. Columna 5: *Prosobranch snails*, triclád worms y algunos grupos pequeños. Columna 6: Crustáceos e insectos. Columna 7: peces. (J. Cairns, Water Pollution Microbiology, ed. R. Mitchell. John Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1972).

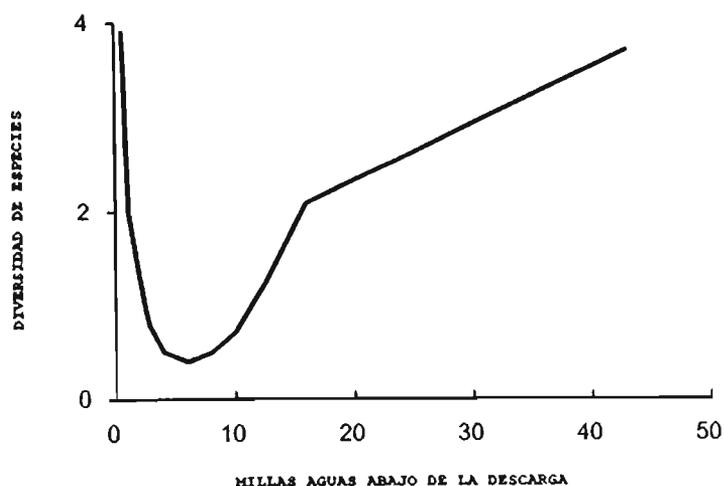


FIGURA 3.2: Índice de diversidad de especies de organismos bentónicos como una medida del daño causado por una descarga de aguas servidas. (J.C. Wilhm, J. Water Pollut. Contr. Fed., 39:1673 (1967)).

Para ayudar a la interpretación de las muestras se tomaron en consideración algunos factores ambientales que pudieron estar afectando la zona de muestreo, modificando, de alguna manera, la diversidad y abundancia de los organismos. Los principales factores fueron: temperatura; transparencia y color del agua; caudal y velocidad de la corriente; altitud, pendiente y ancho del cauce; tipo de fondo (bolones, ripio o arena); presencia de macrófitas y presencia de contaminantes.

Los indicadores hidroquímicos seleccionados fueron, según el tipo de descarga contaminante, los siguientes (R&Q, 1993):

TIPO DE CONTAMINANTE	PARÁMETRO INDICADOR
- Aguas Servidas	Coliformes fecales, DBO
- Efluentes mineros:	
Minas de Oro	CN
Minas de Oro-cobre	CN
Minas de Cobre	CN
Minas de Plata	
- Vertidos Industriales:	
Mataderos	DBO, Coliformes fecales
Cecinas	DBO, grasas
Conservas	pH
Algas Marinas	pH
Cemento	CO ₄ , SO ₄
Alimentos	DBO
Papeles y cartones	Sólidos Suspendidos (fibra), S, Hg
Curtiembre	DBO, Cl ⁻ , Cr
Pinturas	Látex, DBO, hidrocarburos
Imprentas	DBO, color
Metalurgia	pH, Fe, Ni, Cr, Zn, SO ₄
Agrícola	DBO, Sólidos Suspendidos
Cerveceras	DBO
Cerámica	Sólidos Suspendidos

Se obtuvieron los caudales de dilución necesarios para la situación normada (en base a las actuales normas propuestas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios), es decir, para contrarrestar aquella contaminación residual de los vertidos contaminantes cuya concentración específica no superase el límite de concentración permitido por la norma.

La concentración tolerable para el caudal se obtuvo en base a la norma que regula el uso más exigente del agua en un tramo.

C. Indicadores Ambientales

Estos indicadores fueron definidos para considerar el valor que se le otorga al río por el hecho de existir como tal. Se refiere a algunos usos no consuntivos del río, cuya evaluación es

subjetiva.

En el estudio de R&Q se cuantificaron, entre otros aspectos, el Valor Escénico y Turístico-recreacional.

D. Indicadores Hidrológicos

En este punto se buscaron indicadores que representaran el valor cuantitativo de la variable hidrológica caudal.

El análisis efectuado se basó en las estadísticas de caudales medios diarios, existentes para las estaciones seleccionadas; configurándose el régimen hidrológico imperante por la información puntual que se obtuvo en las estaciones fluviométricas.

Los indicadores hidrológicos seleccionados fueron:

- Caudal Medio Anual
- Caudales medios mensuales mínimos, con probabilidades de excedencia de 50, 80 y 90%.
- Caudales medios diarios mínimos, con probabilidades de excedencia de 50, 80 y 90%.
- Período de estiaje.
- Cantidad de años en que se secó el río.
- Rango de duración del período de sequía, en días.

Se obtuvieron estos indicadores, para cada uno de los tramos en los ríos considerados en el estudio.

Finalmente después de todo el análisis de caudales, considerando a cada uno de los indicadores escogidos, se asoció a cada uno de ellos un caudal hidrológico comparable. Se consideró como caudal ecológico al valor que satisfacía la mayoría de los cuatro aspectos cuantificados; dicho caudal resultó ser el correspondiente a 7Q5 (mínimo caudal medio en 7 días con período de retorno 5 años).

A continuación se presentan las principales conclusiones y recomendaciones que se desprendieron del estudio de R&Q, así como también la metodología que se propone para estudios futuros.

I. Conclusiones y Recomendaciones (R&Q, 1993)

- Previo a profundizar en el cálculo de los caudales ecológicos, se debe elaborar e implementar normativa para resolver problemas de contaminación antropogénica del agua.
- La normativa, sin embargo, no necesariamente tiene que traducirse en un set de valores límite de los afluentes, sino que, por ejemplo, en exigencias de estudios acerca de la dinámica de interacción entre el efluente y el cauce, complementados con estudios de autopurificación, u otros que garanticen un resultado mejor que la mera aplicación de la norma. Se considera

de importancia capital generar una normativa específica y flexible, adecuada a la variedad de situaciones hidrológicas y efectos antropogénicos que existen en nuestro país.

- Se propone a corto plazo destinar un período de un año para mediciones y muestreos, porque tal es el ciclo natural biológico, hidrológico, y finalmente, ecológico de los sistemas de río.
- Una forma más profunda de enfrentar el problema, como sería la de investigar funciones interrelacionales del ecosistema, probablemente aportaría resultados más exactos, pero requiere el monitoreo de gran cantidad de variables por largos períodos de tiempo, lo que resulta inaplicable en el corto plazo.
- No obstante lo anterior, muchos países desarrollados han optado por iniciar dicho trayecto de largo plazo, y aunque no existen aún resultados claros de los modelos de simulación, ellos están siendo implementados con conocimiento permanentemente creciente acerca de los ecosistemas. En caso de disponer de los recursos necesarios, Chile debería tomar esta senda para estar en condiciones de manejar en forma integral los recursos de agua dulce, aunque sea en 30 años más.

Una vez efectuada la evaluación del impacto ambiental asociado a la sobreexplotación, se propusieron medidas de mitigación que a grandes rasgos son las siguientes:

- En el corto plazo, educar a la población aledaña, para sobrellevar en la forma más adecuada las situaciones de bajo caudal, y crear conciencia respecto de la existencia de valores ecológicos.
- En el mediano plazo, fomentar la implementación de una normativa que regule cualitativamente las descargas, fomentar la implementación de caudales ecológicos como criterio de conservación ambiental, a través de estudios locales, donde ello sea posible. Realizar estudios de manejo donde no sea posible revertir situaciones ya instituidas legal y socialmente.
- En el largo plazo, fomentar estudios y mediciones que tiendan a sustentar el concepto de manejo integral de cuencas, basado en modelos de simulación ambiental.

II. Metodologías Propuestas por R&Q, para Estudios Futuros

Finalmente, se hace una propuesta de metodologías futuras a seguir con el fin de determinar **y/o** mejorar la forma de obtención de los caudales mínimos ecológicos. Entre las proposiciones **destacan:**

- Los estudios futuros deben entenderse dentro de un marco más amplio que la mera evaluación de los caudales mínimos básicos, que constituye, por un lado una simplificación extrema del ecosistema, y por otro, la evaluación de la calidad ecológica, de un tramo de río, exclusivamente por su variable caudal. Esto último, aunque de innegable utilidad en la toma de decisiones, puede ser peligroso en su aplicación práctica si no se consideran otros factores.
- El objetivo propuesto para las metodologías futuras es: "ayudar a la conservación de las condiciones ecológicas de los ríos de Chile".

- Las metodologías propuestas, aunque generales, apuntan a crear un sistema de manejo de las aguas de ríos dentro del contexto de un servicio estatal. Para elaborarlas se consideraron los siguientes factores: resultados del diseño metodológico empleado, el cual incluye la experiencia internacional, el catastro realizado y los valores obtenidos; el carácter de servicio público de la DGA y su misión institucional; las condiciones actuales de deterioro del ambiente de los ríos de Chile; el nivel actual de capacidades técnicas y financieras en el país para la realización de estudios ambientales y la ley ambiental que se debiera promulgar a mediano plazo.
- Se recomienda:
- i) Crear sistemas de Información Ambiental de Ríos (SIAR): su versión más básica es el catastro ambiental que debe ser sustituido en una segunda etapa por una base de datos que permita llegar a simular, en un modelo, el comportamiento ambiental de los ríos y cuencas. Se propone dividir los ríos en tramos que pueden constituirse en la unidad básica de análisis y mantención de información. Para formar la base de datos biológicos se proponen muestreos mensuales por 1 o 2 años y posteriormente monitoreos estacionales en los que se deben considerar el entorno terrestre (especies, su diversidad y abundancia) y el entorno acuático (plantas, bentos y fauna íctica); la profundidad de los monitoreos a largo plazo quedará determinada por la disponibilidad de recursos. Además, se proponen monitoreos de parámetros de contaminación específicos (DBO, coliformes, etc.) y aspectos sociales de uso del agua (catastro de usuarios, por cantidad y uso, catastro de contaminantes o usuarios de calidad).
 - ii) Realizar evaluaciones de Caudales Mínimos: la evaluación de caudales mínimos permite una aproximación real y práctica al problema de la conservación ecológica de los ríos. La metodología de estimación de caudales usada en el estudio de R&Q, se basa en la determinación de necesidades según requerimientos mínimos de tipo biológico, químico y de interés ambiental general. Se propone el uso de esta misma metodología en los estudios futuros, pues los autores la consideran la mejor opción actual para lograr una comprensión del ecosistema y construir un sistema funcional de control ecológico de los ríos. De la estimación de caudales, según los tipos de requerimientos, se obtiene un valor de caudal que se convierte en estándar para evaluar las intervenciones y el estado del río (cada tipo de requerimiento tiene su propia metodología, la que es explicitada en el estudio en cuestión).
 - iii) Realizar chequeo ambiental de obras actuales y propuestas: se entiende por un chequeo ambiental, la revisión de un proyecto de desarrollo, contra una pauta que dé una idea del tipo y magnitud de los impactos ambientales asociados a él. La aplicación de este chequeo ambiental supone contar con una pauta de chequeo y catastros de información del río afectado. Las pautas de chequeo ambiental son más o menos estándares, de no más de 3 o 4 páginas y se utilizan como primera aproximación para los proyectos. Para los proyectos pequeños, dichas pautas, se constituyen en evaluaciones ambientales.
 - iv) Solicitar EIA (Evaluación de Impacto Ambiental) de los proyectos mayores: para todos los proyectos que no satisfagan las condiciones mínimas del chequeo ambiental se debe solicitar una evaluación ambiental formal. La EIA consiste básicamente en la descripción del ambiente presente y la estimación de los impactos ambientales que ocurrirían si el proyecto se llevara a cabo. La EIA debe contener, además, las acciones a cumplir para hacer factible el proyecto ambientalmente y los programas de monitoreo que deban realizarse.
 - v) Realizar evaluaciones ambientales por cuenca: la evaluación ambiental de las cuencas

constituye la metodología más integral de manejo de los ríos. Sin embargo, estas evaluaciones son de alto costo y las capacidades nacionales actuales para su realización adecuada son más bien limitadas. Se integran en estas evaluaciones todos los factores del ambiente físico, biológico, económico y social dentro de todo el ámbito geográfico de la cuenca. A este nivel es imprescindible contar con bases de datos de larga historia y modelos de simulación del funcionamiento hidrológico. Asimismo, se requieren capacidades profesionales de todos los ámbitos. Los programas resultantes integran estamentos estatales, privados y de base, con un alcance que va más allá del manejo de aguas. Las recomendaciones resultantes deben involucrar a todos los sectores, por lo que es esencial la más amplia participación.

3.1.1.2 Caudales Ecológicos. Caracterización Hidroambiental Etapa I

En este estudio encomendado por la Dirección General de Aguas a la firma consultora Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (1994) se tuvo como objetivo el fijar bases metodológicas generales orientadas a determinar cuantitativamente los caudales mínimos o ecológicos en los distintos ríos, con el fin de mantener condiciones aceptables en la calidad del agua, tanto para proporcionar hábitats adecuados a la fauna biológica de los cauces, como para limitar la posibilidad de enfermedades de transmisión hídrica asociadas a problemas de calidad en las fuentes de abastecimiento de agua para la población. Los consultores destacan y critican los criterios destinados al análisis de la problemática de los caudales ecológicos, señalando por una parte aquellos métodos simplificados que definen el caudal ecológico como una relación porcentual o probabilística del caudal natural asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia, y por otra parte aquellos que a través de relaciones teóricas, empíricas o semiempíricas, relacionan las características del ecosistema con el caudal ecológico.

La metodología adoptada para la caracterización hidroambiental en las regiones IX y X de nuestro país, se inicia con la definición de tramos homogéneos en cuanto a características ambientales y niveles de contaminación actual y potencial. Se define a continuación la calidad ambiental que se quiere resguardar o el nivel de calidad que se considerará aceptable, definiéndose este último como aquel que permite la conservación de las especies piscícolas bajo las condiciones de intervención de dicho cauce; se sugiere confirmar dicho nivel en base a observaciones de terreno y siempre adoptar como indicador la especie ubicada en el nivel más alto de la cadena trófica propia del cauce.

La metodología propuesta por dichos autores y que es resumida por Silva et al. (1994) considera también la determinación del Caudal Mínimo Hidrológico ($Q_{mín H}$), valor que permite distinguir 3 situaciones:

- Cuando este valor es nulo en algunos meses, el caudal ecológico se debe determinar en base a aquellos organismos que son capaces de sobrevivir a las condiciones de sequía del cauce. Se estima esta condición hasta para cuencas con precipitación media del orden de 500 mm.
- Cuando el valor es no nulo, el Caudal Mínimo Hidrológico es una cota superior del Caudal

Ecológico. Se estima entonces que el $Q_{mín H}$ es una buena referencia del Caudal Ecológico, lo que se considera aplicable a cuencas con precipitación media anual entre 500 a 1000 mm.

- Cuando el $Q_{mín H}$ es no nulo y las precipitaciones medias anuales en la cuenca superan los 1000 mm, el Caudal Ecológico debe ser el resultado de un estudio específico en los lugares donde se efectúen altas extracciones o grandes descargas.

Se postula estimar el caudal ecológico como un valor mínimo medio diario mensual que permita un adecuado desarrollo de las comunidades propias del río. Para obtener dicho valor se determinaron las curvas de variación estacional de los caudales mínimos medios diarios mensuales para probabilidades de excedencia de 5, 20, 50 80 y 95% en los lugares de interés; se usaron para tales efectos los antecedentes registrados o métodos de transposición o correlaciones entre valores medios mensuales o valores mínimos medios diarios. Se insiste que si el recurso disminuye bajo dicho valor no debiera permitirse la extracción del agua y tampoco las descargas, lo cual presupone un proceso dinámico en el intervalo de tiempo en que está tomando el valor medio. Por otra parte, resulta interesante y valiosa tanto la descripción de los recursos básicos y medio ambiente de la zona estudiada como del uso del recurso hídrico y la clasificación de los cauces.

Finalmente, se postula como $Q_{mín H}$ el mayor valor entre el caudal mínimo medio diario mensual histórico y el asociado a una probabilidad de excedencia 98%.

Adicionalmente, Silva et al. (1994) señalan la necesidad de definir el Caudal de Dilución Mínima Aceptable, según el tipo y concentración de compuestos nocivos presentes en el tramo en estudio y las exigencias de calidad para preservar las comunidades biológicas que mantengan la cadena trófica en ese cauce. Esto se asocia a medidas para regular ya sea los vertidos al cauce o el tratamiento en las fuentes de esas descargas para llevar esos caudales a niveles bajos compatibles con condiciones hidrológicas restrictivas normales.

Se presentan, a continuación, las principales conclusiones generales del estudio de AC et al. (1994).

I. Conclusiones y Recomendaciones (AC, 1994)

- Es poco conveniente plantear como objetivo la determinación de valores de Caudales Ecológicos, pues este término engloba, conceptualmente, a caudales en régimen natural. Para generalizar el estudio a cualquier curso de agua se deben incorporar los efectos producidos por las alteraciones provocadas por extracciones y descargas de aguas servidas domésticas e industriales. De acuerdo a esto, en el estudio se planteó como el objetivo que debiera perseguirse la "determinación de valores mensuales de caudales mínimos tales que su mantención asegure un cierto nivel de calidad aceptable en los cauces, de manera que los cambios que se produzcan no resulten irreversibles, protegiendo así, el nivel biótico de los ríos". Los caudales mínimos se pueden limitar con los Caudales Mínimos Hidrológicos, que se relacionan con los valores mínimos medios diarios mensuales en los sistemas fluviales en condiciones naturales, e incorporando los requerimientos desde los cauces, relacionando la

necesidad de las diluciones de los vertidos y las alteraciones producidas por las extracciones de recursos hídricos, con la preservación de las especies piscícolas, las que han sido consideradas como indicadores de la estabilidad de las cadenas tróficas.

- La determinación del Caudal Mínimo Admisible sobre la base de un desarrollo sustentable, requiere de un conocimiento acabado de la situación de las extracciones y vertidos incluyendo, con respecto a estos últimos, la información real de los niveles de calidad. El estudio propone, para obtener este caudal, la utilización de métodos basados en balances de masas y en los procesos de autopurificación a lo largo de los ríos, incorporando la información de caudales y calidades como condiciones fijas y la utilización de muestreos en los cauces para la calibración. El Caudal Mínimo Admisible debe, necesariamente, asegurar la supervivencia de toda la cadena alimentaria definida para cada río, incorporando cuando sea requerido, sistemas de tratamiento y eliminación de las descargas más tóxicas.
- En el estudio se caracterizaron de manera general las cuencas de los ríos Imperial y Toltén en la IX región del país, y las de los ríos Valdivia, Bueno, Maullín, Petrohué, Chamiza y Puelo en la X, con el objeto de evaluar los niveles actuales y potenciales de alteración en sus cuencas. Esta caracterización se realizó incorporando los factores de flora y fauna terrestre, vegetación y fauna acuática, climas y suelos, para complementarlos con la información hidrológica y de intervención directa sobre los ríos, extracciones y descargas, con lo que fue posible determinar tramos con características de alteración semejantes.
- En relación al análisis global del problema de la contaminación de los cauces en las regiones IX y X, incluidas en la primera parte del estudio, se concluyó que en general las cuencas de esta zona presentan caudales que son difícilmente amenazados por los efectos de la intervención, salvo en casos puntuales.
- La cuenca del río Imperial fue elegida para hacer una caracterización Hidroambiental Detallada, a través de la cual se explicó la metodología propuesta para la determinación de los Caudales Mínimos Hidrológicos en las estaciones de control. La cuenca fue elegida por su mayor población, su alto desarrollo industrial, y su utilización actual y proyectada para importantes sistemas de riego.
- Finalmente, se hace rigurosamente necesaria la implementación de una línea de base que incorpore muestreos sistemáticos en estaciones de control definidas con ese fin, con el objeto de realizar una evaluación periódica de los resultados, para conseguir preservar, de este modo, el recurso hídrico en condiciones aceptables de calidad y cantidad.

II. Metodología Propuesta por A&C, para Estudios de Caudales Ecológicos Futuros

- Se propone adoptar, para la obtención de Caudales Ecológicos, una metodología simple de determinación de un caudal de referencia que se acerque al objetivo de mantener controlados los problemas de calidad ambiental.
- Suponiendo que la calidad del agua está inalterada con respecto a su condición natural y considerando su disponibilidad, es posible determinar un Caudal Mínimo Hidrológico a nivel mensual, que estaría relacionado con los valores históricos que hayan permitido el desarrollo del o de los ecosistemas que por sus condiciones propias han sido capaces de mantenerse a lo largo del tiempo, a pesar de fenómenos naturales tales como sequías, erupciones volcánicas, etc..

- La forma de determinar el caudal mínimo, tal como se definió en el párrafo anterior, queda supeditada a cada caso en particular y dependerá de la ubicación de la cuenca, de los registros históricos que puedan existir o generarse, del período del año en que se producen los caudales mínimos, etc.. Dicho valor podría corresponder, por ejemplo, al menor caudal mínimo medio diario mensual histórico, o a ese mismo caudal con una probabilidad de excedencia fija, como 95% o 98%, o bien a los valores de la curva de variación estacional correspondiente al punto de menor caudal mínimo medio diario mensual u otro que se defina como adecuado.
- Para comenzar, es necesario definir la condición ambiental que se quiere resguardar, o bien el nivel que se considerará aceptable, desde el punto de vista de la calidad del agua de los cauces. En el estudio, se propone como nivel de calidad aceptable para un cauce, aquel que permite la conservación de las especies piscícolas bajo las condiciones de intervención de dicho cauce. Esto significa mantener el conjunto de los ecosistemas subordinados de los cuales dependen estas especies para sobrevivir.
- Como indicadores, del nivel de calidad ambiental de los ríos, los autores proponen a los peces, argumentando que éstos se ubican en la cúspide de la pirámide trófica que se desarrolla en los sistemas acuáticos de agua dulce, y que al asegurar su preservación, se acepta que en los estratos inferiores deben coexistir organismos capaces de soportar y adecuarse a las nuevas condiciones ambientales, cumpliendo así, en forma cabal, su función dentro de la cadena alimentaria. No obstante, se propone confirmar este nivel de calidad en base a observaciones en terreno, en cada uno de los casos en que se aplique la metodología propuesta, determinando la especie que se ubique en el estrato más alto de la cadena propia del cauce, pudiendo constituir, por ejemplo, algún macroinvertebrado, el mejor indicador biótico a utilizar.
- La metodología debe ser aplicable a cualquier cuenca del país. Sin embargo, se propone un estudio específico para validarla, en cada caso, de acuerdo a los resultados. Así por ejemplo, en las cuencas en que el río se seca en algún período del año, el Caudal Mínimo Hidrológico, en los meses de sequía, será nulo, como ya se mencionó en párrafos anteriores.
- Para cuencas cuyos cauces nunca tienen caudales nulos, el Caudal Mínimo Hidrológico será una cota superior del caudal ecológico, siendo este valor referencial para los cauces hasta la IX región y para algunos de la X, muy semejante al caudal ecológico buscado. Para los cursos más meridionales, cuyos caudales históricos son de magnitudes más importantes, el caudal ecológico será notoriamente inferior al Caudal Mínimo Hidrológico, y su determinación quedará supeditada a un estudio particular.
- Considerando las variables físicas y estacionales propias de cada cuenca, provenientes de la subdivisión en tramos que se haya realizado, se puede estimar un caudal ecológico correspondiente a un valor mínimo medio diario mensual, que debiera permitir un adecuado desarrollo de las comunidades propias del río. El caudal será menor que este mínimo medio diario mensual, solamente cuando se produzca una disminución natural del flujo en el cauce, por efecto de algún fenómeno hidrológico y/o meteorológico. En relación al manejo del recurso, sólo deberán permitirse la extracción de agua y las descargas en aquellos períodos en los cuales el caudal exceda del valor mínimo definido.
- Para que la metodología propuesta sea aplicable a nivel nacional, es necesario en primer lugar efectuar una zonificación hidrológica que agrupe a las cuencas del país según su pluviosidad.
- Con respecto a cada cuenca en particular, será necesario subdividirlas, dentro de una

perspectiva más amplia orientada a la problemática de interés, en sectores homogéneos, subcuencas o tramos, que pueden definirse usando criterios tales como: extensión a lo largo del cauce o superficie de cada sector; extracciones de agua desde el cauce, tanto actuales como posibles futuras; presencia de obras del tipo embalses que alteren su hidrología; descargas a los cauces, tanto actuales como futuras; calidad de esas descargas sin tratamiento o con tratamiento, si lo tienen o lo tendrán.

- Según esto, para todos los sectores o tramos definidos deben generarse las estadísticas de caudales en régimen natural y a partir de ello definir el Caudal Mínimo Hidrológico, de la manera que sea más conveniente.
- No se han considerado dentro de la metodología, los efectos de las descargas contaminantes sobre los cauces; esta situación de suma importancia para la determinación de los caudales ecológicos a adoptar, debe ser acuciosamente tomada en cuenta para cada aplicación particular y debe constituir materia para un estudio posterior, desarrollado en el contexto de la legislación vigente sobre normas de emisión y calidad.

3.1.2 Marco Legal y Revisión de Normas de Calidad de Agua, Vigentes en Chile

Para llevar a cabo un plan de recuperación y preservación de la biota en los ríos, es indispensable que se norme la legislación existente, con el fin de respaldar todas las disposiciones necesarias que se deban adoptar. Se requieren normas para regular el uso de los ríos con una perspectiva ecológica que vaya más allá del mantenimiento de cierta calidad físico-química de las aguas, velando por la preservación del ecosistema acuático. Las normas deben contener prohibiciones o limitaciones en el uso de los recursos naturales que componen los ecosistemas reófilos (en general los recursos más afectados son el agua y el suelo, debido a extracciones no reguladas e indiscriminadas de material), contemplándose restricciones de ciertas actividades en regiones, áreas y localidades, así como también, el otorgamiento de licencias de explotación. Se deben definir estándares de uso y prácticas culturales aceptables, reguladas por la autoridad, de modo que los agentes que degraden el medio en cuestión, sean sancionados judicialmente. Deberá contemplarse también la existencia de incentivos económicos para aquellos agentes que eviten procesos de contaminación y sobre-explotación.

A continuación se abordan algunas de las leyes y normas que regulan, actualmente, la preservación del medio ambiente y que inciden específicamente en la regulación de los recursos acuáticos.

En primer término, la Constitución Política del Estado de 1980 (citado en el estudio Plan Nacional para Combatir la Desertificación"; U.de Chile, 1995), en su artículo 19, asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación y asigna como deber del Estado el velar para que este derecho no sea afectado, tutelando por la preservación de la naturaleza. Esta constitución otorga poder al Estado para que mediante la formulación de leyes establezca restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.

Esta disposición, de la Carta Fundamental, es la base para legislar de acuerdo a los

requerimientos ambientales modernos, que son cada vez más exigentes, y para estructurar mecanismos de manejo y control de la explotación de los recursos naturales .

En los párrafos siguientes se mencionan algunos cuerpos legales que tienen influencia en el manejo de los recursos hídricos y del medio ambiente:

- Ley de Especies Protegidas (1944), Ministerio de Tierras y Colonización.
- Ley de Protección Agrícola (1980), Ministerio de Agricultura. Contiene normas para evitar que los establecimientos industriales fabriles o mineros contaminen con sus residuos a los cultivos agrícolas y particularmente los recursos aire, agua y suelo.
- El nuevo Código de Aguas y la Ley de Fomento de Obras de Riego y Drenaje (1985). Abordan aspectos importantes con respecto al uso y desarrollo de los recursos hídricos. La última, vinculada a la Comisión Nacional de Riego, aprueba la inversión privada en obras de riego y drenaje, estimulando la participación privada en actividades menores de regadío para mejorar la producción y productividad agrícola, crear nuevas fuentes de empleo y mejorar las condiciones de vida del sector rural, adecuándolas para la radicación permanente de la población.
- La Ley del Sistema de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (1984), Ministerio de Agricultura. Refuerza la acción reguladora del Estado sobre 30 parques nacionales, 40 reservas nacionales, y 11 monumentos nacionales terrestres que comprenden una superficie total de 13.834.409 hectáreas.
- La ley N° 19.300. Ley de Bases del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial de fecha 9 de Marzo de 1994. Esta ley entrega las disposiciones que regulan: el derecho a vivir en un medio libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Es significativo que en esta ley se definan términos claves para el presente estudio, como:
 - biodiversidad
 - conservación del patrimonio ambiental
 - contaminación
 - contaminante
 - daño ambiental
 - desarrollo sustentable
 - medio ambiente libre de contaminación
 - preservación de la naturaleza.

Además, el 18 de Diciembre de 1994, la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante efectuó una propuesta a la Comisión General del Medio Ambiente mediante Resolución DGTM y MM. Ord.N°12600/322 VRS., la que pretende regular las descargas de residuos líquidos, a los cuerpos de agua de jurisdicción de dicha dirección. La propuesta está orientada a que los cuerpos de agua, antes mencionados, se mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación, de acuerdo a la Constitución y a la ley, disponiendo para ello de un conjunto de procedimientos y normas. En la resolución se establecen normas con los límites máximos de contaminantes que se permitirán en las descargas de residuos líquidos a cuerpos de agua; diferenciando, para este efecto, entre los distintos cuerpos de agua considerados y entre los diferentes

niveles de impacto ambiental que presenten estos cuerpos. Se diferencia entre cuerpos de agua Marinos, Lacustres y Fluviales con bajo, mediano y fuerte impacto ambiental. Se establecen metas ambientales a corto, mediano y largo plazo, estimándose que en el año 8, de impuesta esta norma, todas las descargas de residuos líquidos deberían cumplir con las exigencias ambientales expuestas en ella.

A continuación se describen las normas sobre calidad de agua que actualmente se aplican en Chile.

La norma chilena (NCh. 1333 Of. 78), modificada en 1987, establece los requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Tal como se aprecia en la tabla 3.2, estos incluyen: agua para consumo humano, bebida de animales, riego, estética, recreación y vida acuática en aguas dulces.

Es de interés destacar el análisis de esta normativa llevado a cabo en un estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile (1995) para CONAMA. En éste se propone definir por norma de calidad de agua, para los efectos señalados en la ley 19300 relativa a Normas de Calidad Ambiental en Chile, a la yuxtaposición de normas de calidad según uso y una definición del uso preferente de un cuerpo de agua específico, declarado por Decreto Supremo o por un instrumento superior.

Tabla 3.2: Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos en Chile (NCh 1333 Of. 78)

PARÁMETROS REQUISITOS FÍSICOS	AGUA POTABLE	RIEGO	ESTÉTICA	RECREACIÓN CON CONTACTO DIRECTO	RECREACIÓN SIN CONTACTO DIRECTO	VIDA ACUÁTICA AGUAS DULCES
Turbiedad	5NTU			50, Sílice		VN+30, Sílice
Color Verdadero (Pt-Co)	20			100		Ausencia
Olor	Inodora					
Sabor	Insípida					
Temperatura Máxima (°C)				30		VN+3
Claridad Máxima (m; Visualización Discos Secchi)				1,2		

Tabla 3.2: Requisitos de Calidad del Agua (NCh 1333 Of. 78)

(Continuación)

PARÁMETROS	AGUA POTABLE	RIEGO	ESTÉTICA	RECREACION CON CONT. DIRECTO	RECREACIÓN SIN CONT. DIRECTO	VIDA ACUÁTICA AGUAS DULCES
REQUISITOS QUIMICOS						
pH	6.0-8.5	5.5-9.0		6.5-8.3		6.0-9.0
Aluminio (mg/l)		5				
Amoníaco (mg/l)	0.25					
Arsénico (mg/l)	0.05	0.10				
Bario (mg/l)		4.0				
Berilio (mg/l)		0.10				
Boro (mg/l)		0.75				
Cadmio (mg/l)	0.01	0.01				
Cianuro (mg/l)	0.20	0.20				
Cromo (mg/l)	250	200				
Cobalto (mg/l)		0.05				
Cobre (mg/l)	1.0	0.20				
Compuestos Fenólicos (mg/l)	0.002					
Cromo (mg/l)		0.10				
Cromo Hexavalente (mg/l)	0.05					
Detergente (mg SAAM/l)	0.5					
Fluoruros (mg/l)	1.50	1.0				
Hierro (mg/l)	0.3	5.0				
Litio (mg/l)		2.5				
Litio (cítricos) (mg/l)		0.075				
Magnesio (mg/l)	125					
Manganeso (Mg/l)	0.10	0.20				
Mercurio (mg/l)	0.001	0.001				
Molibdeno (mg/l)		0.01				
Níquel (mg/l)		0.20				
Nitratos (mg/l)	10					
Nitritos (mg/l)	1.0					
Plata (mg/l)		0.20				
Plomo (mg/l)	0.05	5.0				
Selenio (mg/l)	0.01	0.02				
Sodio Porcentual (%)		35				
Sólidos Disueltos Totales	1000	500				
Sulfato (mg/l)	250	250				
Vanadio (mg/l)		0.10				
Zinc (mg/l)	5.0	2.0				
Razón de Adsorción de Sodio		(1)				
Conductividad Específica		750				

(1) La autoridad competente debe establecer o pronunciarse en cada caso específico

Tabla 3.2: Requisitos de Calidad del Agua (NCh 1333 Of. 78)

(Continuación)

PARÁMETROS	AGUA POTABLE	RIEGO	ESTÉTICA	RECREAC. CON C. DIRECTO	RECREAC. SIN C. DIRECTO	VIDA ACUÁTICA AGUAS DULCES
REQUISITOS RADIATIVOS						
Estroncio 90 (pCi/l)	10					
Radio (pCi/l)	3.0					
Actividad Beta Total (Excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores alfa (pCi/l)	1000					
Actividad Beta Total (incluyendo Sr-90, corregida para el K-40 y otros emisores naturales) (pCi/l)	50					
Actividad Alfa Total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa) (pCi/l)	15					
REQUISITOS BACTERIOLÓGICOS						
Coliformes Totales (NMP/100ml)	Ausencia					
Coliformes fecales (NMP/100 ml)		1000		1000		
Quistes, Protozoos o huevos						(1)
Cloro Libre Residual Mínimo (mg/l)	0.20					
PESTICIDAS Y TRICLOROMETANO						
Herbicidas		(1)				
DDT (µg/l)	1					
Heptaclor (µg/l)	0.1					
2,4-D (µg/l)	100					
Clordano (µg/l)	0.30					
Lindano (µg/l)	3					
Metoxiclor (µg/l)	30					
Hexaclorobenceno (µg/l)	0.01					
Aldrin (µg/l)	0.03					
Dieldrin (µg/l)	0.03					
Endrin (µg/l)	0.2					
2,4,5-TP (µg/l)	10					
Toxafeno (µg/l)	5					
Triclorometano (µg/l)	0.1					
OTROS REQUISITOS						
Sólidos sedimentables			Ausencia			VN
Desechos Flotantes			Ausencia			
Sust. productoras de color, olor, sabor o turbiedad objetable			Ausencia	Ausencia	Ausencia	
Sustancias Tóxicas			Ausencia			(2)
Sust. Prod. de vida acuática indeseable			Ausencia			
Aceites flot. visibles y espumas no nat.				Ausencia	Ausencia	Ausencia
Aceites flotantes y grasas (mg/l)				5	5	
Aceites y Grasas emulsificadas (mg/l)				10	10	
Oxígeno Disuelto (mg/l)						5 (mínimo)
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /l)						20(mínimo)
Petróleo o Cualquier tipo de						Ausencia
Nutrientes (N y P)						(1)

(1) La autoridad competente debe establecer o pronunciarse en cada caso específico; (2) El límite máximo de sustancias tóxicas debe estudiarse mediante bioensayo para cada caso específico. El valor obtenido se expresa en LTm96 (concentración del material en ensayo en un diluyente adecuado, en el cual sobrevive el 50% de los organismos acuáticos de prueba al cabo de un periodo de exposición de 96 horas), debiendo aplicarse los siguientes factores de seguridad según el tipo de tóxico: pesticidas, metales pesados y tóxicos acumulativos y persistentes: 1/100 de la LTm96; cianuros, tóxicos no acumulativos y detergentes: 1/10 de la LTm96.

Lo anterior se apoya en las proposiciones de TESAM (1995, citado en el estudio del Departamento de Ingeniería Industrial) respecto a clasificaciones de usos considerando clasificaciones cruzadas de categorías de aguas (por ej.: continentales superficiales o subterráneas, marítimas costeras, estuarios) y usos tales como: propagación y conservación de vida acuática, pesca, agricultura, recreación con y sin contacto directo, fuente de abastecimiento de agua para propósitos potables (culinarios o de procesamiento de alimentos), uso industrial, cultivo comercial de mariscos. De las combinaciones categorías-usos posibles, se propone en dicho estudio utilizar 11, incluyendo 5 de excepción que corresponden a aquellas cuyas condiciones naturales de calidad y cantidad no permiten clasificarlas en la categoría regular, y, en segundo lugar, aquellas para las cuales se quiera preservar una calidad superior a la de las categorías regulares indicadas en la tabla 3.3.

El estudio citado indica además que el procedimiento de clasificación de las aguas se iniciará identificando los distintos usos actuales del agua al interior de una cuenca, subcuenca, y/o segmento de curso de agua. Luego, se realizaría un estudio exhaustivo de las características de estos cursos de agua, con el objeto de obtener la mayor cantidad de información relevante (calidad actual, usos futuros, descargas, etc.) que permita determinar la clasificación más adecuada o modificar la existente. Posteriormente, una comisión especialmente designada procedería a establecer, públicamente, la categoría escogida.

Se concluye en el estudio que la clasificación de cuerpos de agua según uso, propuesta por TESAM, no sería aplicable en la práctica hasta que se haya completado la dictación de nuevas normas de calidad que correspondan a ella.

Finalmente cabe hacer notar que para ir al ritmo de los tiempos actuales en cuanto a la protección del medio ambiente se refiere, será indispensable que se revise la legislación existente con el fin de incorporar a ella, las normativas que sean necesarias para asegurar la puesta en marcha de todos los proyectos de saneamiento ambiental, y en forma especial, por ser de la competencia de este estudio, introducir normas que aseguren la preservación de los ecosistemas acuáticos y que permitan a los organismos encargados la toma de decisiones para un mejor manejo de este recurso.

Tabla 3.3: Esquema de Clasificación Nacional de las Aguas (TESAM, 1995)

Categoría		Mejor Uso del Agua
1. Aguas Continentales Superficiales Categorías regulares	1C	Recreación sin contacto directo, propagación y mantención de vida acuática (incluyendo peces), pesca, agricultura y cualquier otro uso no incluido en las categorías 1B y 1A. Todas las aguas continentales superficiales, cuyas cantidades y calidades naturales lo permiten, serán clasificadas para proteger estos usos como mínimo.
	1B	Recreación con contacto directo y cualquier otro uso especificado para la clase 1C
	1A	Fuente de abastecimiento de agua para propósitos potables, culinarios o de procesamiento de alimentos y cualquier otro uso especificado para la clase 1B
Categorías de excepción (estudiadas caso a caso)	1EB	Uso superior al establecido en 1A. representan aguas a las que se les quiere preservar una calidad excepcional.
	1EM	Uso inferior al establecido en 1C. Sólo aplicables para aguas cuya calidad o cantidad natural no permitan clasificarlas en categorías regulares.
2. Aguas Continentales Subterráneas Categorías regulares	2B	Uso industrial y otros usos, excepto los usos de la clase 2A
	2A	Fuente de abastecimiento de agua para propósitos potables, culinarios o de procesamiento de alimentos y cualquier otro uso especificado para la clase 2B
3. Aguas Marítimas Costeras y Estuarios. Categorías Regulares	3C	Recreación sin contacto directo, propagación y mantención de vida acuática (incluyendo peces), pesca, agricultura y cualquier otro uso no incluido en las categorías 1B y 1A. Todas las aguas marítimas costeras y estuarios, serán clasificadas para proteger estos usos como mínimo.
	3B	Recreación con contacto directo y cualquier otro uso especificado para la clase 3C
	3A	Cultivo comercial de mariscos y cualquier otro uso especificado para la clase 3B
Categorías de Excepción (estudiadas caso a caso)	3EB	Uso superior al establecido en 3A. Representan aguas a las que se quiere preservar una calidad excepcional

3.1.3 Comentarios sobre los Antecedentes Existentes en Chile

En los dos trabajos referentes a caudales ecológicos realizados en Chile, se realiza una evaluación ambiental general muy completa, de las zonas abarcadas en cada uno de ellos, que es de gran valor por ser las primeras en su tipo.

En ambos estudios queda en evidencia que la única forma práctica de obtener caudales mínimos sustentables en los ríos, pareciera ser la de asociarlos a un caudal hidrológico. Además, para ellos existe información histórica manejable en forma simple. Por otro lado, al usar caudales hidrológicos referenciales es posible plantear ecuaciones a través de las cuales se obtengan los caudales mínimos; pudiéndose, de este modo, formular leyes basadas en dichas ecuaciones, que de otra manera serían difícilmente planteables y/o de interpretación subjetiva.

En cuanto al uso de peces o depredadores tope como indicadores de la sanidad ambiental de los ecosistemas acuáticos, estos no son recomendables para ser usados como indicadores únicos y se aconseja su utilización en la medida que se acompañe de otro indicador biológico que

se ubique en los estratos primarios de la cadena trófica. El problema para usar los peces como indicadores únicos es, entre otras cosas, que al estar ubicados en la cúspide de la cadena alimentaria son los últimos en desaparecer estando, en dicho caso, en su fase terminal la situación de deterioro del río, además, los peces viajan a lo largo de los ríos y el hecho de encontrarlos en un determinado lugar, no siempre significa que las condiciones del entorno, en ese punto, sean las adecuadas para su supervivencia, ya que este lugar puede ser sólo de tránsito.

En la literatura internacional existen múltiples estudios sobre los peces, los que han aportado un conocimiento fidedigno de sus requerimientos ambientales, razón por la cual se usan en forma recurrente como indicadores biológicos.

Es recomendable, en la medida que sea posible, el uso de organismos bentónicos como indicadores de calidad ambiental, así como también la presencia y abundancia de microalgas. En la actualidad, a la escasa información existente sobre estos organismos, se agrega lo restringido de las publicaciones biológicas, lo que impide en gran medida su adopción como indicadores.

En los dos estudios analizados, se pone énfasis en la necesidad de normar eficazmente las descargas contaminantes; pues esto es de vital importancia para que el objetivo de preservación de la biota acuática se cumpla y la obtención de caudales ecológicos con este fin se funde sobre bases reales.

Tanto en el estudio de R&Q, como en el de AC se constata la importancia de establecer tramos homogéneos para aplicar las respectivas metodologías.

En el estudio de AC, se recomienda generar estadísticas en régimen natural en base a las cuales establecer los caudales mínimos hidrológicos, base de los ecológicos. Los antecedentes disponibles indican que en la zona sur del país existe un mayor porcentaje de ríos no intervenidos, en los que por lo tanto aún se cuenta con registros del régimen natural; en el resto de los ríos se debe recurrir al manejo de las estadísticas con el fin de generar los caudales del régimen hidrológico natural.

En el presente estudio también se considerará de vital importancia el establecimiento de zonas homogéneas a lo largo del territorio abarcado en la investigación. Con respecto al régimen hidrológico.

3.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

En este punto se realiza una revisión tanto de las metodologías más usadas a nivel internacional, como de las legislaciones existentes. También se analizan algunos estudios considerados de interés debido a su visión integradora, ya que involucran gran parte de las características que definen la vida en los ríos.

3.2.1 Recorrido Histórico de la Problemática del Uso de las Aguas y el Desarrollo de Técnicas Incrementales para la Preservación de los Recursos Acuáticos.

A mediados del presente siglo, las agencias de financiamiento de los Estados Unidos, comenzaron a preocuparse por la pérdida de miles de peces y de vida salvaje en las orillas de los ríos del Oeste. Consecuentemente con esto, varios estados del oeste comenzaron a emitir regulaciones para la protección de los recursos existentes en las corrientes, impidiendo de este modo el total aniquilamiento causado por el rápido desarrollo de proyectos hidráulicos. Durante los años 60 y principios de los 70, aparecieron muchas técnicas, todas basadas en el análisis de estadísticas hidrológicas y consideraciones relativas a los segmentos críticos de la corriente; aparejadas con observaciones empíricas de la calidad del hábitat y el estudio sobre ecología de peces, especialmente del Salmón del Pacífico y la Trucha de agua dulce. Se realizó un esfuerzo colectivo conducente a generar modelos que permitieran el establecimiento de cuotas de canalización, manteniendo en el río una cuota de agua específica para beneficio de los peces y otras formas de vida acuática (Wesche and Rechard, 1980; Morhardt, 1986; Stalnaker, 1990; citados por Stalnaker et al, 1995). La aplicación de los métodos conduce a un valor fijo del caudal mínimo, por debajo del cual no se puede extraer agua del cauce.

Siguiendo las leyes de la política nacional (NEPA; National Environmental Policy Act de 1970), existente en Estados Unidos, se desviaron los esfuerzos de los caudales ecológicos a la evaluación de diseños alternativos y operación de proyectos de agua. Se necesitaban métodos capaces de cuantificar el efecto de cambios en el incremento de fluido y la evaluación de esquemas alternativos de desarrollo (Stalnaker, 1993; citado por Stalnaker et al, 1995). Esta necesidad llevó al desarrollo de funciones de hábitats versus caudales, que se realizaron a partir de relaciones para estados de vida específicos de especies seleccionadas (en general peces y los estados de vida relacionados, como migración, desove, etc.). Así se generó un análisis que relacionaba el bienestar de la población, en este caso de peces, con varios atributos físicos y químicos del régimen fluviométrico (Binns and Eiserman, 1979; citado por Stalnaker et al, 1995). Se consideraron significativas, en cuanto a su influencia sobre la variación en la producción y población de peces, a las siguientes variables: velocidad del escurrimiento, profundidad mínima, material del sustrato (con particular énfasis en los espacios interticiales), temperatura del agua, oxígeno diluido, alcalinidad total, turbidez y penetración de la luz a través de la columna de agua (Gosse and Helm, 1981; Shirvell and Dungey, 1983; citados por Stalnaker et al, 1995). Estas variables se integraron al análisis de las consecuencias de actividades de extracción de agua o de liberación de ésta desde embalses, en múltiples proyectos (Nestler et al, 1989; citado por Stalnaker et al, 1995).

Durante los años 70 y principios de los 80, en Estados Unidos comenzó la era del desarrollo de pequeñas plantas hidroeléctricas. Numerosos lugares, de las regiones del Noroeste del Pacífico y de Nueva Inglaterra, en los que existían propuestas de plantas de hidro-generación fueron sometidos a un exhaustivo examen por parte del estado y de la administración federal de pesca. Durante este período de transición en que se evaluaron proyectos federales de reservas de agua a gran escala y licencias para plantas de generación pequeñas, el desarrollo de la metodología incremental (IFIM: Intream Flow Incremental Methodology) estuvo bajo la dirección del Servicio de Peces y Vida Silvestre de Estados Unidos (U.S. Fish and Wildlife Service), (Trihey and Stalnaker, 1985). Esta metodología intentó integrar conceptos de planificación para abastecimiento de agua, métodos analíticos de ingeniería hidráulica y de calidad del agua y hábitats derivados empíricamente; versus caudales. La metodología simuló la cantidad y calidad de los potenciales hábitat resultantes del desarrollo de programas de manejo de recursos de agua dulce, estudiados para diversas alternativas de caudal. Estos métodos, que involucraban técnicas incrementales y análisis de alternativas a través del tiempo, fueron mejorados en los 10 años siguientes, como respuesta al incentivo de cientos de solicitudes que fueron sometidas a la Comisión Federal de Energía (Federal Energy Regulatory Commission). La mayoría de dichas solicitudes involucraban a reservas de agua que habían estado en funcionamiento por 30 -50 años sin ninguna consideración, dentro de su programa operativo, con respecto a caudales mínimos.

Por un lado las agencias de recursos naturales vieron la oportunidad de restaurar los recursos acuáticos en ríos impactados (ocasionalmente eliminados) por muchas décadas. Opuestamente, las compañías hidroeléctricas deseaban cambiar su protocolo de operaciones con el fin de mejorar el aprovechamiento de las instalaciones existentes y consecuentemente sus ingresos. Las líneas dictadas por la NEPA, para la evaluación de las distintas alternativas y el otorgamiento de re-licencias a plantas hidroeléctricas, forzó a los encargados de la toma de decisiones a balancear potenciales conflictos entre los usuarios del recurso. El método incremental fue la herramienta elegida para describir cuantitativamente las consecuencias de cada una de las alternativas de manejo de los recursos acuáticos, estableciéndose así el escenario para la negociación entre los distintos grupos de intereses (Stalnaker, 1993; citado por Stalnaker et al, 1995).

En las décadas posteriores, al tiempo que emergió la ética del multiuso, llegó a ser muy claro que el mero establecimiento de una parte de los recursos acuáticos para usos múltiples, no era suficiente para resolver los conflictos generados entre usuarios. Si se optimiza la administración del recurso, la misma agua puede ser utilizada varias veces; por ejemplo, en el momento de liberarse desde los embalses se puede aprovechar para propósitos de Caudal Mínimo Ecológico en este primer tramo, al mismo tiempo que es entregada para abastecimiento de agua potable, aguas abajo (Stalnaker et al, 1995).

3.2.2 Estudios sobre Caudales Mínimos Ecológicos

A continuación se analizan algunos de los métodos más usados, a nivel internacional, para determinar caudales mínimos ecológicos en los ríos.

3.2.2.1 Breve Análisis de las Metodologías de Caudales Mínimos Existentes

Como se mencionó al inicio de este capítulo, los estudios realizados hasta hoy en día, se han abordado desde tres enfoques distintos: empírico, heurístico y holístico. A continuación se hace un análisis de algunos métodos internacionales de base hidrológica, de estimación hidráulica, de estimación de hábitat y de respuestas biológicas, abarcando con ellos, los tres enfoques citados:

A. Métodos de Base Hidrológica

Son todos aquellos que se basan en el análisis de registros estadísticos de caudales. A continuación se describen dos métodos que corresponden a esta clasificación y que se cuentan entre los más usados.

A1. Método de Tennant

Este método (1976), es la herramienta más conocida de planificación a largo plazo utilizada por las pesqueras en Estados Unidos. En su forma original, el método organiza los niveles de caudal, en cada estación, en base a porcentajes del caudal medio anual. Tennant usó 10 años de observaciones personales, realizadas en Montana y el medio oeste, para categorizar las corrientes de acuerdo a las variaciones de la calidad del hábitat de la trucha con respecto a los caudales. Tennant también recomendó que periódicamente escurrieran caudales altos con el fin de remover sedimentos y otros materiales de fondo.

El método de Tennant (Gan y McMahon, 1990), supone que las condiciones del hábitat acuático son similares para diversos flujos que sean un porcentaje del caudal medio anual (QMA). Específicamente recomienda caudales mínimos que sustentan una variada calidad de hábitat para peces, determinados en base a observaciones de como se reproducen de la mejor manera las condiciones hidrológicas naturales. Es decir, clasifica la calidad del hábitat basándose únicamente en el juicio profesional y con la asistencia de información hidrológica mínima. El método, de acuerdo a la clasificación que se haya dado al hábitat y según la época del año, recomienda mantener, como caudal mínimo en el río, un porcentaje del caudal medio anual que varía entre 0 y 200%.

De acuerdo a lo anterior, se clasifica la salud del hábitat para peces como: abundante, óptimo, prominente, excelente, bueno, justo o aceptable, pobre y degradado.

Las ventajas del método son su rapidez, facilidad de aplicación y entendimiento.

Las desventajas son la valoración subjetiva y la necesidad de chequeos visuales, realizados por expertos en terreno.

En la tabla 3.4 se muestran los valores de caudales recomendados por Tennant, según la

clasificación del flujo.

Algunos estados de Norte América, han reconocido que no pueden aplicar directamente las recomendaciones de Tennant, sin antes introducirle modificaciones, de modo que se adecúe a las especies de interés y tipos de escurrimientos propios de la región.

Tabla 3.4: Caudales Recomendados, Método de Tennant

Calificación de la Salud del Hábitat	Caudal Recomendado Otoño-Invierno (Oct.-Mar) [% del QMA]	Caudal Recomendado Primav.-Verano (Abr-Sep) [% del QMA]
ABUNDANTE	200	200
RANGO ÓPTIMO	60-100	60-100
PROMINENTE	40	60
EXCELENTE	30	50
BUENO	20	40
JUSTO O ACEPTABLE	10	30
POBRE O MÍNIMO	10	10
DEGRADACIÓN SEVERA	< 10	< 10

A2. Método del Área Drenante

Cuando las estadísticas hidrológicas no son sustentables se recomienda un indicador sustituto en el que se puedan basar los caudales a recomendar para mantener en el cauce. Un ejemplo de tal indicador es el Área Drenante, en esta técnica el valor del caudal mínimo o base que se recomienda mantener en el cauce durante los meses de estiaje es de $0,0055 \text{ m}^3/\text{s}$ por kilómetro cuadrado de área drenante (Stalnaker et al, 1995). En la época de caudales altos (primavera y otoño), se recomienda adaptar los caudales mínimos a mantener en los ríos, a las necesidades requeridas por las distintas especies de peces existentes, en los períodos de desove e incubación (Larson, 1981; citado por Stalnaker et al, 1995).

B. Métodos de Estimación Hidráulica

Son todos aquellos métodos que crean relaciones entre algunas medidas hidráulicas y el caudal que escurre por un río. Entre estos el más conocido es el "Método del Perímetro Mojado" (Nelson, 1980; citado por Stalnaker et al, 1995).

En el Método del Perímetro Mojado se supone que la optimización de los caudales mínimos para la preservación del hábitat de los invertebrados acuáticos, que son la base alimenticia de los peces, se obtiene en forma inmediata al encontrar la relación entre caudal y perímetro mojado. La técnica selecciona, para el análisis de la curva: perímetro mojado versus caudal, la sección transversal más angosta de la corriente o sección crítica (usualmente de poca profundidad), como un índice de hábitat para el resto de la corriente. Lo anterior se basa en la hipótesis de que el flujo mínimo obtenido en la sección crítica satisface también las necesidades mínimas de producción de alimento, tránsito de peces, desove, etc.; garantizándose supuestamente la protección del hábitat mínimo necesario para preservar la calidad del ecosistema. En la Figura 3.3, se muestra gráficamente la relación entre perímetro mojado y caudal. El procedimiento usual es elegir, para la obtención del caudal con el que se mantenga el hábitat mínimo aceptable, el quiebre o punto de disminución de la pendiente en la curva perímetro mojado versus caudal. Este punto de inflexión representa el caudal por encima del cual la variación de perímetro mojado comienza a disminuir. Se estima que el caudal obtenido con este criterio (Caudal Mínimo Ecológico), es suficiente para mantener protegidas las demás áreas del cauce.

La técnica del perímetro mojado se aplica usualmente en secciones anchas, poco profundas y relativamente regulares, debido a que la forma del canal influencia los resultados del análisis.

Las fortalezas del método son: interpretación simple, extensamente usado en el occidente de E.E.U.U., efectivo en costos y tiempo, los datos hidráulicos necesarios son fácilmente medibles, no requiere de un largo período de estadísticas de caudales y su análisis es rápido.

Las desventajas principales son la ambigüedad en la selección del punto de quiebre de la curva (que es el óptimo buscado), el conocimiento deficiente de la relación entre la biota y el perímetro mojado, es aplicable sólo a algunos tipos de canales y no específica a las especies, ni a sus estados de vida.

Los métodos A y B, se encasillan en el grupo de los enfoques empíricos.

C. Métodos de Estimación de Hábitat

Estos métodos (Gan y McMahon, 1990) transforman las mediciones hidráulicas en un indicador del aprovechamiento potencial del hábitat.

Entre los métodos más usados y destacados, en este campo, se encuentra el IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) o Metodología Incremental de Caudales Sustentables.

Los componentes del método son seleccionados en base a antecedentes específicos de terreno y pueden incluir una negociación del modelo proyectado. El usuario directo es quien desarrolla el plan de estudios, los criterios de sustentabilidad de las especies del microhábitat de la zona que se investiga, la descripción de las estructuras de canales, los modelos de simulación hidráulica, temperatura y calidad de agua, las relaciones de sustentabilidad de las especies del macrohábitat, el análisis de las series de tiempo y la comparación de los regímenes de caudales alternativos.

El método está diseñado para resolver problemas interactivos, se aplica a situaciones y/o lugares específicos adaptándose a cada uno de ellos, es flexible y su uso es reconocido en más de 38 estados de Norte América. Sin embargo, para fortalecerlo aún deben ser estudiados algunos puntos de su concepción como el reforzamiento de sus bases teóricas, las que aún son débiles, y el tratamiento que se da a las interacciones bióticas. El método en su globalidad ha sido objeto de múltiples discusiones y existen muchas discrepancias con respecto a él.

Entre las desventajas más significativas se cuentan: el largo período de tiempo que requiere para su desarrollo, la cantidad considerable de datos que se deben usar y el gran estudio necesario para su aplicación.

En el esquema de la figura 3.4 se resume a grandes rasgos la metodología incremental.

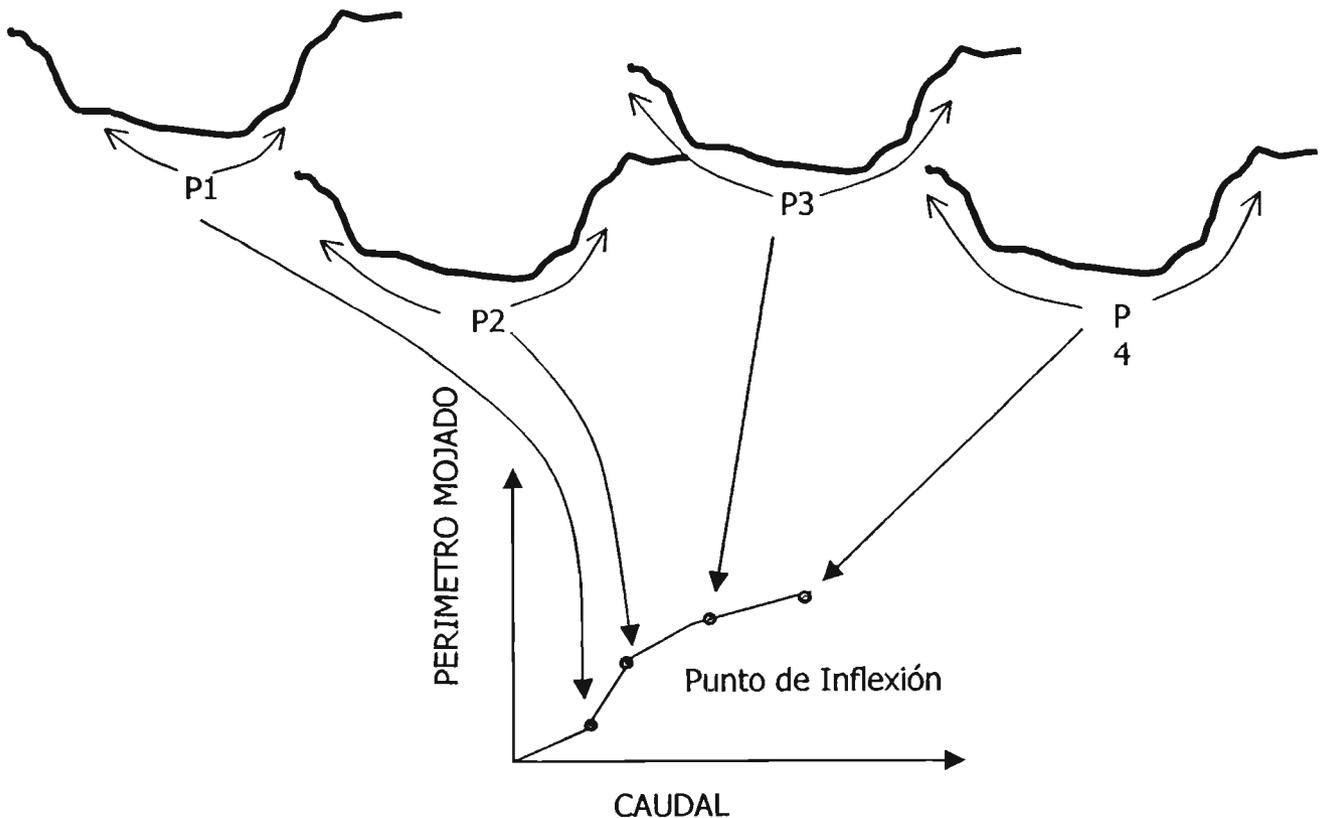


FIGURA 3.3: Esquema del uso del Método del Perímetro Mojado para la estimación de Caudales Mínimos

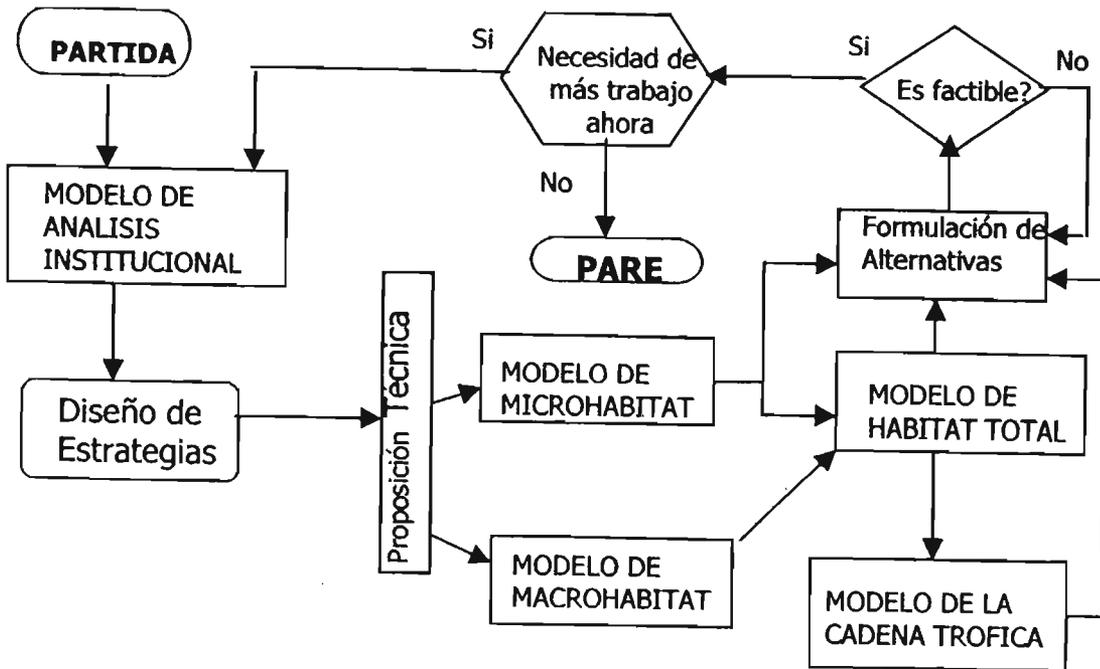


FIGURA 3.4: Esquema de la Metodología IFIM

En el punto 3.2.2.3 se presenta en forma más extensa esta metodología.

D. Métodos de Respuestas Biológicas

Los métodos (Gan y McMahon, 1990) de respuestas biológicas son usados cada vez más en la valoración de los caudales mínimos y la tendencia actual de los estudios relacionados con el tema, es la de instaurar estas metodologías para el manejo óptimo de los recursos acuáticos. Frecuentemente se hacen esfuerzos de investigación en modelos de desarrollo poblacional que incluyan series de tiempo, de hábitat y de caudales. Los esfuerzos de investigación son aplicados en su mayoría a aquellos estudios que se arraigan en modelos tipo de sustentabilidad del hábitat y a la necesidad de nuevas aproximaciones conceptuales. La atención de los investigadores es enfocada a las respuestas biológicas del hábitat frente a eventos de extracciones o embankes significativos, que ocurren con frecuencia en las operaciones de las plantas hidroeléctricas de planta.

Los esfuerzos holísticos son necesarios para:

- Poder predecir, en largos períodos de tiempo, los efectos que producirán distintos caudales en los ecosistemas acuáticos.
- Acrecentar nuestro entendimiento entre las distintas fases de la vegetación, germinación y crecimiento de las plantas de los cuerpos de los ríos, que han sido mucho menos estudiadas que las etapas de vida de los peces e insectos.

En el corto plazo es improbable que se puedan aplicar modelos de estimación de las tasas de caudales mínimos que sean confiables en cuanto a la predicción de las respuestas biológicas a alteraciones en el caudal. Sin embargo, los esfuerzos crecientes de la humanidad por ahondar en el conocimiento de su propio hábitat son alentadores y abren grandes expectativas para las futuras generaciones que tendrán una conciencia ecológica mucho más profunda que la que se ha logrado alcanzar en los tiempos actuales.

3.2.2.2 Caudales Ecológicos. Estudio de Regímenes de Caudales Mínimos en los Cauces de la Comunidad de Madrid

Este estudio fue realizado por la Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid y su primera edición se publicó en 1990.

En el documento se presenta un estudio detallado del régimen de caudales en los tramos altos y medios de los ríos, sean o no regulados, y la valoración ecológica de dichos tramos, tanto para la situación actual, como para la potencial si se modifican las reglas de operación de los embalses de acumulación que abastecen a la Comunidad de Madrid y que regulan la mayoría de sus ríos.

La metodología seguida en esta investigación, para la obtención de caudales mínimos sustentables, fue la siguiente:

a) Selección de Cauces y Tramos a Estudiar:

La elección de los cauces a estudiar se hizo en base a la codificación de cauces existente.

Esta codificación se desarrolló en un estudio especialmente efectuado por la misma institución.

El criterio de selección de los cauces, en base a la codificación, fue el siguiente:

- En los cauces no regulados se seleccionaron todos aquellos cuya superficie aportante era superior a 1.000 has o que fuesen especialmente significativos, si la cuenca era menor.
- En los cauces regulados fueron seleccionados los que tenían cuencas vertientes superiores a 1.500 y 2.000 has, en tramos medios y bajos respectivamente.

b) Estudio de Caudales:

La metodología usada, para abordar el estudio de los caudales, difería según el tipo de tramo considerado:

- En los tramos no regulados se usaron, principalmente, series de caudales medios mensuales. Con estas series se calcularon diversos valores estadísticos, incluyendo la probabilidad de que en determinado mes el caudal tenga un valor dado, incluido el nulo.
- En los tramos regulados, para la obtención de los caudales, fue necesario considerar la regla de operación de los embalses. Se usaron dos reglas de operación:
 - "Conseguir la mayor garantía en el abastecimiento de la población con el menor costo de energía en impulsiones".
 - Como marco de referencia, para acotar la situación se calculó una explotación teórica que sólo consideraba el mejor abastecimiento de la población, olvidando lo que sucediera aguas abajo de los embalses.

c) Valoración Ecológica de la Situación Actual:

Se hizo una evaluación de la situación actual en cada uno de los tramos considerados en el estudio. Los aspectos que se consideraron en esta valoración fueron los siguientes:

- Comunidades piscícolas
- Comunidades de macroinvertebrados
- Vegetación acuática
- Vegetación ribereña
- Morfología del cauce
- Usos de las riberas

Todos estos aspectos fueron abordados en otro estudio específico desarrollado por dicha institución denominado Valoración Ecológica de la Red Fluvial de la Comunidad de Madrid (Agencia del Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, 1990).

d) Obtención de Caudales Mínimos Aconsejables

En primer lugar se estudiaron todas aquellas variables que condicionan el ecosistema que puede ser sustentado en un tramo de río, que son:

- Todos los agentes externos al cauce (clima, lluvia, T°, etc.).
- La morfología del cauce.
- Las características del agua circulante tanto en calidad como en cantidad (calidad físico-química).
- Tipo de hábitat existente en lecho y orillas fluviales.
- Recursos tróficos.

Los caudales mínimos para cada tramo se calcularon considerando básicamente a las comunidades piscícolas y de macroinvertebrados. Sin embargo, debido a la gran dificultad para predecir los cambios que sufren las comunidades de macroinvertebrados y al desconocimiento de las comunidades y especies autóctonas, el estudio se centró en las comunidades piscícolas.

Los macroinvertebrados sufren mayores variaciones que los peces, cuando se mantienen caudales estables debido principalmente a que:

- Se producen sustituciones de unas especies por otras que cumplen la misma función pero tienen distintos requerimientos ambientales y ciclos de vida.
- Se modifican las abundancias poblacionales relativas, variando las relaciones de dominancia en el proceso de autoorganización y estructuración.

La evaluación de la calidad del hábitat acuático en función de los caudales circulantes se hizo usando un modelo matemático de simulación basado en PHABSIM (Physical Habitat Simulation System). PHABSIM es uno de los programas de IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), que fue especialmente adaptado a las características propias de los ríos de la Comunidad de Madrid.

Como datos de entrada, se deben ingresar al programa la velocidad, profundidad, tipo de sustrato y coeficiente de habitabilidad.

Como resultado de la aplicación de PHABSIM se obtiene para cada tramo un índice de habitabilidad con respecto a una especie o a un conjunto de ellas, cuyo resultado final se expresa en un índice denominado: "Ancho Ponderado Útil". Las unidades de este índice son:

$$\left[\frac{\text{Unidades de Superficie}}{\text{Km de cauce}} \right]$$

e) Recuperación Potencial de los Ríos :

Atendiendo a los otros usos posibles de los ríos y sus riberas, se realizó una valoración de la recuperación potencial de aquellos tramos en los que se contaba con un régimen de caudales más abundante.

En dicho sentido, los beneficios que se pueden obtener de una gestión dirigida de los caudales son múltiples; entre los principales se cuentan:

- Abundancia y tipo de especies animales y vegetales que pueden habitar un tramo.
- Existencia de vida piscícola para la pesca deportiva.
- Los beneficios derivados de la existencia de un curso de aguas limpias circulando por un medio poco degradado.

f) Valoración del Mantenimiento de los Caudales Mínimos

En el estudio se realizó un análisis de los costos que significaría la mantención de los caudales ecológicos que se obtuvieron en cada tramo, manteniendo la garantía de abastecimiento a la población y aceptando que estos fallen un máximo de un 15% de los años.

Además, se verificó que los caudales circulantes siempre estuviesen por sobre los ecológicos recomendados, después del análisis de costos y de factibilidad.

g) Estudio de los Tramos Regulados

Se efectuó un estudio específico en los tramos regulados. En estos tramos la variable más condicionante es la calidad físico-química de las aguas, que en ellos empeora como consecuencia de la acumulación de vertidos a lo largo de los ríos. Los vertidos, a pesar de que son depurados en su mayoría, impiden la mantención de un hábitat estable.

Se calcularon las concentraciones de los constituyentes limitantes para la vida piscícola a través del programa computacional "QUAL2E". Este programa es un modelo matemático que simula el comportamiento autodepurador de los ríos. El programa se aplicó para dos situaciones supuestas:

- Manteniendo los caudales óptimos en tramos medios.
- No manteniéndolos.

Se analizaron los siguientes constituyentes: oxígeno, temperatura, nitrógeno amoniacal y DBO_5 . El análisis se hizo para la situación más desfavorable, es decir, la correspondiente al período de estiaje.

h) Tramos no Regulados

Sobre estos tramos no se puede actuar en cuanto a los caudales, pues son naturales, pero se puede mejorar la situación actuando sobre la depuración de los vertidos.

3.2.2.3 Breve Descripción de la Metodología Incremental de Caudales (IFIM) y de su Programa para la Simulación Física del Hábitat (PHABSIM)

Actualmente están disponibles numerosos métodos para la estimación experimental de los requerimientos de caudales mínimos para la sustentación de los ecosistemas reófilos. El objetivo último de los métodos es encontrar el límite de stress de dichos ecosistemas. El método más sofisticado y reconocido, hasta hoy en día, es el IFIM. Esta metodología fue desarrollada por la U.S. Fish and Wildlife Service, específicamente por Bovee, en 1982 (Gan and McMahon, 1990).

IFIM fue desarrollada por un equipo interdisciplinario, se creó sobre la base del entendimiento del abastecimiento de agua y de desarrollo de hábitats. Se consideró esencial, en el diseño de la metodología, el análisis histórico del régimen de flujos, usando calendarios mensuales o semanales, para describir las bases hidrológicas de referencia. Ésto permite comparar la frecuencia y duración de períodos húmedos y secos, examinar la diferencia entre los distintos regímenes (pluviales-nivales), determinar la intensidad y duración de eventos de corta duración tales como la repentina aparición de nubes y ciclos máximos. Se requería de una herramienta que fuese capaz de influenciar la toma de decisiones en la operación de grandes proyectos de manejo de aguas, se debía hacer hincapié en los conflictos y usos complementarios del agua, considerar y evaluar las necesidades de cada uno de los usuarios, y hacer que la metodología fuera comprensible y aceptable para un amplio rango de clientela. Para conseguir este objetivo, se debía involucrar en las decisiones una gran diversidad de disciplinas incluyendo ingenieros, hidrólogos, biólogos, abogados, científicos políticos y planificadores de recreación. Se asignaron profesionales, para que en un esfuerzo cooperativo desarrollaran la metodología. Se reunieron profesionales en recursos acuáticos por un período de hasta cuatro años. Se reunieron ingenieros, expertos en simulación de calidad de las aguas y expertos en planificación. Este esfuerzo integral llevó a la conclusión de que una metodología analítica debería manejar una variedad de problemas, desde simples desviaciones de la corriente hasta complicados esquemas de contención y liberación de aguas desde los embalses, involucrando calendarios para simulación de ciclos máximos en cuencas reguladas y un sistema de conexión entre los embalses existentes, de tal manera que se asistan mutuamente. La metodología, para ser eficaz en la identificación de las alternativas existentes para la explotación del recurso, debía cumplir con las siguientes características:

- ser útil para la evaluación y comparación de las potenciales soluciones,
- adaptarse a cada corriente específica, en la que se aplique, y
- ser extensible a los demás tramos del río analizado e incluso a la cuenca.

A partir de las premisas anteriores, IFIM se ha desarrollado, por más de 15 años, como un sistema de análisis de ríos interconectados que incorpora el hábitat de peces, oportunidades recreacionales, vegetación, etc., como respuesta a esquemas alternativos de administración del agua (Bartholow and Waddle, 1986; Milhous et al, 1989; Auble et al, 1991; citados por Stalnaker et al, 1995). La información se presenta como una serie de flujos y de hábitat a través del tiempo, en puntos seleccionados dentro de un sistema (Milhous et al, 1990; citado por Stalnaker et al, 1995).

IFIM puede entenderse como una colección de modelos computacionales y procedimientos analíticos diseñados para predecir los cambios en el hábitat de los peces o de los invertebrados debidos a la ocurrencia, por causas artificiales o naturales, de distintos caudales.

Para evaluar la capacidad de sustentación de un arroyo, se selecciona una combinación apropiada de costos, riesgos y especies indicadoras. El área sustentable (o ancho ponderado útil) es obtenida en función del caudal para estados de vida particulares de las especies (embrión, juvenil o adulto) o para una actividad específica (desove, alimentación, descanso, etc.). Estas funciones, de área habitable versus descarga, son usadas para la determinación del nivel apropiado de caudal en un río, que debiera mantenerse para lograr los objetivos planteados.

Un importante componente de la metodología de IFIM, y el mayor de ellos, es PHABSIM: una colección de programas computacionales a través de los cuales se obtiene el ancho ponderado útil, o área utilizable de un arroyo, en función de la descarga. Los programas incluyen una gran variedad de opciones tanto para la simulación hidrológica como para la simulación del hábitat.

Los usos sustentables de una localidad se determinan a través de variables que caracterizan al río en forma segura; comúnmente se incluyen profundidad, velocidad, sustrato y cobertura. Para cada una de estas variables se definen curvas de preferencia de hábitat, proveyendo así un índice de sustentabilidad, en cuanto a los usos posibles, sobre un rango de valores factibles de cada variable.

Para cada tramo de río se crea una malla de sustentabilidad de usos, dividiendo la capacidad del río en celdas, cada una de las cuales contiene información de profundidad, velocidad y sustrato. La malla de sustentabilidad para un determinado estado de vida de una especie, en cierta localidad, es cuantificada por el Ancho Ponderado Útil (APU), que puede ser determinado por tres métodos, descritos detalladamente en IFIM. El APU se calcula para cada celda, asumiendo un valor entero. Los resultados se obtienen para descargas específicas del río. Al cambiar el caudal se deben redefinir las condiciones físicas del hábitat para obtener un nuevo cómputo. De este modo se obtiene el APU en función de la descarga.

Existen múltiples alternativas para el cálculo del APU, dependiendo de los programas que se escojan para la simulación del hábitat y para la simulación hidrológica. Los resultados que se obtienen, al aplicar distintas combinaciones entre las opciones de simulación existentes, son muy variados; por lo tanto los cálculos deben ser fundados en suposiciones biológicamente realistas, de lo contrario la potencialidad para obtener resultados falsos, es considerable.

Osborne et al. (1988; citado por Gan y McMahon, 1990), concluyeron que las condiciones de hábitat, para caudales mínimos, no se simulan adecuadamente en ríos de baja pendiente, pues son difíciles de calibrar y proveen estimaciones pobres de profundidad y velocidad.

Gore y Nestler (1988; citado por Gan y McMahon, 1990), defendieron que el nivel de aplicación apropiado del IFIM es en atención a resolver conflictos de asignación de recursos de agua, es decir, para decidir la operación y viabilidad de los proyectos incluyendo consideraciones en cuanto a la predicción de ganancias y pérdidas en el hábitat acuático con respecto a beneficios y costos que se obtendrían en otras actividades.

Jensen (1989; citado por Gan y McMahon, 1990), publicó los resultados de tres estudios, realizados por distintas entidades, que utilizaron el método IFIM para la determinación de caudales mínimos en la Presa Stacy, en el Río Colorado, E.E.U.U.. Las recomendaciones dadas, como resultado de los tres estudios, fueron muy diferentes y los rangos variaron entre 2,5 a 8; 30 a 90 y 15 a 100 (pies³/s), respectivamente. Con esto, queda de manifiesto el cuidado que se debe tener al aplicar PHABSIM y al derivar e interpretar los resultados.

3.2.2.4. Otros Estudios

Davis (1986) pone especial énfasis en la necesidad de tener en cuenta las características del flujo (perfil de velocidades, número de Reynolds, rugosidad, etc.) en los estudios ecológicos y efectúa una extensa presentación sobre los distintos tipos de flujo y las relaciones hidráulicas en éstos. Reconoce la existencia de numerosos estudios que relacionan la distribución de invertebrados bentónicos con la velocidad, composición del sustrato o altura de escurrimiento, sin embargo expresa que pocos han entregado algo más que los datos básicos del flujo, y en consecuencia no se ha podido establecer el mecanismo del efecto del flujo sobre los bentos. Plantea que las descripciones de los flujos bentónicos dadas por Statzner (1981, citado por Davis) y los estudios de Gore (1978, citado por Davis) pueden ser usados por los ecologistas para determinar las mediciones que deben realizarse para caracterizar el sistema biológico o la comunidad que desean estudiar. Este autor indica que además de las adecuadas mediciones físicas y cuantificación de los regímenes de flujos en terreno, se requieren análisis en laboratorio sobre los efectos del flujo, los que deben ser seguidos de manipulaciones en terreno para determinar su significado ecológico.

Gippel y Finlayson (1993) describen los impactos ambientales aguas abajo del lago Eildon, Australia, donde se regulan los caudales del río Goulburn tanto para riego como hidroelectricidad. La regulación ha afectado la variabilidad natural del flujo a nivel anual hasta aproximadamente 200 Km aguas abajo del embalse. Se detectaron variaciones importantes en las temperaturas del agua en verano aunque sin efectos en la concentración de oxígeno disuelto. Inmediatamente aguas abajo del embalse la reducción de temperatura en el mes de Enero fue de 19,5 a 12, 5°C. También a través de la modelación de la situación sin embalse, se detectan las variaciones introducidas por la regulación en otros parámetros (pH, conductividad eléctrica, turbidez); el impacto de éstos sobre peces e invertebrados no se estima significativo. Sin embargo, las modificaciones en el patrón de temperatura y en la frecuencia de crecidas se estiman como factores causantes de la disminución de especies nativas de peces. Reconociendo lo prohibitivo que pueden resultar algunas acciones de operación del embalse, en el sector afectado los autores recomiendan como acciones para paliar dichos efectos la introducción de especies para pesca recreacional; adicionalmente se postula la protección del resto del río.

La National Rivers Authority (1993) describe las acciones adoptadas tendientes a aumentar los caudales en ríos de Inglaterra y Gales donde se han detectado problemas debido, principalmente, a la autorización de excesivas extracciones sin tener en cuenta los impactos ambientales. Las acciones incluyen entre otras la revocación parcial o total de los derechos de aprovechamiento, compensando a quien corresponda; la disminución de pérdidas, revistiendo el cauce; el bombeo de agua subterránea en épocas de estiaje; el bombeo de aguas superficiales desde afluentes de aguas abajo; etc. Las soluciones apropiadas en cada caso son objeto de una evaluación económica y de común acuerdo con los afectados se planifican las acciones a seguir.

Los trabajos presentados en el seminario sobre caudales ambientales (Environmental Flows) realizado en Canberra en 1994 ponen de manifiesto lo siguiente:

- Arthington y Pusey, 1994, describen un programa de investigación llevado a cabo en Queensland, Australia, para el análisis del efecto de la variabilidad del flujo en comunidades piscícolas; en éste se plantea:
 - La necesidad de conocer la hidrodinámica de las macrófitas con el objeto de lograr un mejor entendimiento de la forma en que las especies de peces responden al flujo a través del efecto en su hábitat.
 - La necesidad de abordar estudios propios, que contemplen la variabilidad del hábitat en relación a la variabilidad de la descarga (crecidas, sequías, estacionalidad, etc), durante un tiempo mayor al de la generación de las especies en estudio. En lugares seleccionados se ha planificado un estudio futuro de 10 años de duración que incluye la manipulación experimental del hábitat para, entre otros fines, determinar la tolerancia de las especies a varios niveles, secuencias y duraciones de crecidas y períodos secos, además de emitir un manual resumiendo toda la información disponible destinado tanto a científicos como a grupos encargados del manejo integral de cuencas .

- Boyd (1994) sugiere la información al público acerca tanto de los impactos hidrológicos de las obras existentes como de las necesidades ecológicas fundamentadas científicamente, como un medio de lograr una mejoría en las prácticas de manejo de un río y formar conciencia en aquellos casos que la comunidad debe colaborar. Plantea la necesidad de no otorgar derechos de aprovechamiento en los ríos no regulados mientras no se resuelvan los problemas en aquellos ya desarrollados y en estos últimos sugiere desarrollar proyectos de manejo integral de los recursos. Para estos efectos considera:
 - Resumir el conocimiento acerca del ecosistema en particular y los cambios experimentados (alturas de escurrimiento; calidad del agua; erosión; crecimiento, migración y reproducción de la flora y fauna y efectos de crecidas cortas o largas).
 - Indicar la capacidad que tienen, las distintas obras existentes, para alterar el flujo o profundidades de escurrimiento. Dar a conocer la legalidad respectiva.
 - Identificar el régimen natural de escurrimiento y desarrollar modelos, a nivel diario si fuera necesario, para analizar los posibles efectos de las obras.

- Burch et al (1994) informan sobre el crecimiento excesivo de algas tóxicas (*Anabaena circinalis*) como consecuencia de la ocurrencia de bajos caudales en el río Murray, Australia, junto a temperaturas cálidas y tiempo estable; igualmente Cooney et al (1994) discuten la necesidad de estudios destinados a determinar la relación entre manejo del agua y la prevención y dispersión de algas hacia aguas abajo de los lagos Menindee. Por su parte, Burns et al (1994) plantean que la regulación en el río Murray ha modificado la calidad de los alimentos de los biofilm con las consiguientes repercusiones en la cadena trófica, lo que pone de manifiesto la necesidad de manejar el ecosistema desde "abajo hacia arriba" en el sentido biológico. Cross et al. (1994) indican similares planteamientos aunque ponen de manifiesto la falta de antecedentes cuantitativos al respecto; adicionalmente estos autores identifican la relevancia de los diferentes componentes del

flujo frente a las necesidades del ecosistema con el objeto de seleccionar la metodología apropiada para el análisis.

- Cullen (1994) analiza en detalle el concepto de caudales ambientales y pone de manifiesto que se debe poner atención tanto en los caudales mínimos como en los máximos. Describe también los imperativos biológicos (poblaciones piscícolas, invertebrados, algas, macrófitas acuáticas sumergidas y emergentes, vegetación ribereña, biodiversidad, mantención de la morfología del cauce, sustrato y calidad del agua). Reconoce que la diversidad de métodos usados (empíricos, transecto, hábitat, reuniones de expertos) para definir caudales mínimos suponen una especie indicadora y plantea que ninguno de ellos es capaz de considerar el ecosistema completo. Reflexiona sobre las obras de defensa ribereña, planteando que en términos ecológicos éstas desconectan al río de las planicies de inundación impidiendo así la transferencia natural de nutrientes y materia orgánica que ocurriría en grandes crecidas. Finalmente, concluye que aún no se tienen las especificaciones científicas rigurosas para definir los caudales mínimos apropiados.
- Denham y McAuliffe (1994) describen la exitosa experiencia del manejo ambiental de caudales en ríos regulados en el Valle Lachlan a través de un Comité de Manejo Regional, integrado por representantes de agencias que manejan el recurso, usuarios, representantes de la comunidad y grupos ecologistas. Las reglas de operación incluyen, entre otros aspectos, el control de algas, dilución salina, eutroficación, migración de peces, extensión del período de altos caudales para asegurar la inundación de planicies lo que favorece la crianza de algunas aves. A modo de ejemplo se especifican magnitudes del caudal mínimo requerido para el control de las algas en cierto tramo; éste se determina con el objeto de que la concentración de las algas no supere 15.000 cell/ml y simultáneamente el OD debe mantenerse sobre 50% de saturación.
- Gippel et al. (1994) examinan el impacto ambiental de la regulación en una cuenca específica - la del río Thomson en Australia - donde a pesar de que la hidrología ha sido alterada drásticamente no se han detectado aún impactos serios o permanentes en la ecología acuática. Se comparan los resultados de diversos métodos (maximización de la superficie del hábitat anual; proveer el hábitat que existía con el caudal medio mensual antes de la regulación; proveer el hábitat que existía con el caudal medio mensual aceptando un 5% como porcentaje de pérdida de hábitat; proveer el flujo necesario para mantener el área del hábitat promedio mensual antes de la regulación; suponer que los afluentes al embalse pueden monitorearse diariamente y proveer hacia aguas abajo el caudal necesario para mantener el correspondiente hábitat destinado a formular un régimen de caudales ecológicos mínimos a largo plazo. Se recomienda un régimen que incluye una evacuación de crecidas anual para mantenimiento del cauce y un mínimo caudal hacia aguas abajo de la presa.
- Jensen A. (1994) comenta la estrategia de manejo en la cuenca del río Murray-Darling la que contempla mantenimiento de especies piscícolas, prevención de crecimiento excesivo de algas e incluye en el ecosistema las planicies de inundación y vegas. Discute el cambio en los objetivos del manejo, las restricciones del sistema particular y la necesidad del

debate comunitario. Se afirma que el agua requerida por el medio es un beneficio para todos los usuarios de ese sistema y que no debiera pagarse para conseguirla de vuelta, mas aún si nadie pagó antes para quitársela al medio.

Knights y Fitzgerald (1994) proponen un método alternativo al de considerar las necesidades de los organismos para definir los caudales requeridos para satisfacerlos. Dicho método reconoce que la meta es alcanzar los máximos beneficios económicos, ambientales y sociales. En el estudio se comenta, lo siguiente, sobre las realidades del manejo de los recursos hídricos:

- Para tener el ecosistema natural se deben tener los caudales naturales, lo que muchas veces es imposible. Todo cambio en el régimen de escurrimiento provoca una alteración en el ecosistema, por lo tanto la elección de un caudal ambiental significa un grado de daño o riesgo a aceptar.
- La complejidad del ecosistema indica que los esfuerzos gastados en una detallada determinación de los caudales requeridos no mejoran las inferencias y en consecuencia no se compadecen con el uso de métodos más simples y cualitativos.
- La mayoría de los ríos que requieren la determinación de caudales ambientales, están altamente intervenidos lo que conlleva a la existencia de obstáculos prácticos que afectan la toma de decisiones sobre las magnitudes de los caudales. Estos obstáculos, tendrán mayor influencia que las soluciones científicas. También, en la mayoría de los casos de los ríos en régimen natural, son esos mismos factores los que determinan las magnitudes de los caudales a adoptar.

El método propuesto se basa en una determinación del riesgo aceptado, teniendo en cuenta los aspectos anteriormente citados. Se inicia entonces con la determinación del riesgo ambiental del régimen intervenido propuesto y con el análisis de las medidas de mitigación. Para ello se requiere contar con modelos de simulación hidrológica a nivel diario. Luego, a través de un análisis de sensibilidad de las opciones de manejo, los tomadores de decisiones podrán identificar el mejor manejo o combinación de riesgo aceptable. El índice de riesgo ambiental varía según el nivel de información científica disponible y la sensibilidad económica y social. Se proponen como índices potenciales: la divergencia entre curvas de duración de los regímenes naturales e intervenidos; la divergencia puede ser ponderada según el conocimiento que se tenga sobre las relaciones funcionales y estructurales del ecosistema ribereño con las características del flujo; también puede ponderarse según las estimaciones de los impactos hidráulicos de las divergencias en áreas inundadas, sumergencia de barreras naturales o artificiales; o bien puede ser ponderada según los datos de terreno sobre la sensibilidad local a variaciones del flujo en el hábitat o especies. Se plantea como objetivo inmediato el dirigir los esfuerzos hacia un mejor conocimiento de las relaciones generales de las funciones y estructura del ecosistema y su relación con parámetros del flujo. Reconoce como necesario pero de menor importancia el desarrollo de procedimientos simples para estudiar relaciones específicas en terreno e indica que éstos deben enfocarse a predecir el riesgo frente a los cambios y no los requerimientos de caudal.

- Reeves (1994) discute el concepto de caudales ambientales como parte de las crecientes y urgentes necesidades para la determinación a través de un enfoque holístico y ecológico del manejo de los sistemas ribereños. Mediante ejemplos específicos ilustra la complejidad del problema y la importancia del enfoque holístico para el desarrollo e implementación de las soluciones.
- En Swales (1994) se discute la importancia y efectos beneficiosos de los caudales altos en las distintas etapas del ciclo de vida de especies piscícolas. Swales et al (1994) comparan 3 métodos (análisis de caudales históricos, análisis del hábitat físico y reunión de expertos) para determinar los requerimientos de caudales ambientales de peces nativos del río Peel, Nueva Gales del Sur. Se seleccionan como más apropiado los resultados obtenidos con el método de análisis de los caudales históricos; éste se basa en el uso de curvas de duración mensuales de caudales medios diarios y en la selección de los caudales asociados a ciertos percentiles. Los percentiles se fijan de acuerdo a la actividad: 80 para producción de alimento, 50 para migración y 17 para remover el limo del lecho. Usando las curvas de duración se determina el caudal ambiental para cada mes el que se complementa con aquellos requeridos para simular los efectos de crecidas y sequías.
- Walter et al (1994) presentan la metodología seguida en la cuenca del río Dawson, Queensland, para determinar caudales ambientales. Esta se basó en el método denominado reunión de expertos, que según estos autores conduce a una determinación pragmática de los requerimientos ambientales ya que toma en consideración las restricciones reales del sistema. Los términos básicos de la discusión contemplaron aspectos tales como:
 - ¿Qué hay ahora (biota, hábitats)?
 - ¿Qué se quiere en el futuro?
 - ¿Qué se selecciona (biota específica, hábitats, valores) como indicador de los requerimientos de caudal?
 - ¿Cómo se maneja el sistema para lograr el objetivo?.

3.2.3 Legislación Internacional Existente con Respecto a Caudales Mínimos en Ríos

Las legislaciones más conocidas son la francesa, la suiza y la asturiana. En este ítem se rescata, de cada una de ellas, la parte en que se definen los caudales ecológicos que se deben mantener en los ríos.

A. Legislación Francesa

Esta legislación establece un caudal ecológico igual al 10% del caudal medio anual, o el caudal inmediatamente aguas arriba de la obra si éste fuera menor. Para módulos superiores a 80 m³/s, mediante Decreto del Consejo de Estado, podrá rebajarse el caudal mínimo hasta, a lo sumo el veinteavo del módulo. Dicho caudal debe evaluarse con al menos 5 años de información estadística, medida o transferida al lugar de interés.

B. Legislaciones Suiza y Asturiana

Determinan fórmulas para la obtención de un caudal ecológico en función de un valor que se denomina Q_{347} , caudal medio que anualmente es superado 347 días.

El Q_{347} se debe calcular como media de una serie de datos de al menos 5 años.

B1. Legislación Suiza

Establece el siguiente criterio para el cálculo del caudal en función del Q_{347} .

i) Exigencias mínimas para todas las aguas:

- el caudal mínimo será de 50 l/s,
- para cursos de agua con $Q_{347} < 1000$ l/s, el caudal mínimo debe corresponderse al menos, con el 35% del Q_{347} .

ii) Exigencias mínimas para las aguas piscícolas:

- El caudal mínimo debe representar al menos:

- $Q_{347} \leq 60$ l/s	→ 50,0	l/s
y por cada 10 l/s suplementarios	→ 8,0	l/s
- $Q_{347} \leq 160$ l/s	→ 130,0	l/s
por cada 10 l/s suplementarios	→ 4,4	l/s
- $Q_{347} \leq 500$ l/s	→ 280,0	l/s
por cada 100 l/s suplementarios	→ 31,0	l/s
- $Q_{347} \leq 2.500$ l/s	→ 900,0	l/s
por cada 100 l/s suplementarios	→ 21,3	l/s
- $Q_{347} \leq 10.000$ l/s	→ 2.500,0	l/s
por cada 1.000 l/s suplementarios	→ 150,0	l/s
- $Q_{347} > 60.000$ l/s	→ 10.000,0	l/s

- Para mantener el movimiento migratorio de los peces se debe garantizar una profundidad de 20 cm, si el Q_{347} es superior a 50 l/s.

La legislación establece además una serie de considerandos por los cuales los caudales explicitados deben ser incrementados, como por ejemplo, la obligatoriedad de garantizar la

profundidad necesaria para la libre migración de los peces. Si $Q_{347} > 50$ l/s se debe garantizar una profundidad mínima de al menos 20 cm.

B2. Legislación Asturiana (Resolución de Consejería de la Presidencia del Principado de Asturias)

La resolución aprueba los criterios a los que deberán ajustarse los informes de la Comunidad Autónoma, en relación con la concesión de mini centrales hidroeléctricas.

Establece 3 niveles de protección en los cauces asignando a cada uno de ellos los siguientes criterios:

1. Nivel de protección base I. Aplicado a zonas trucheras. El caudal a mantener es el mayor de los resultantes de la aplicación de las siguientes fórmulas, en las que Q_{347} está en [l/s]:

$$Q_{ec1} = 0.35 * Q_{347}$$

$$Q_{ec2} = \frac{15 * Q_{347}}{[\ln(Q_{347})]^2}$$

$$Q_{ec3} = 0.25 * (Q_{347} + 75)$$

$$Q_{ecI} = M \times [Q_{ec1}, Q_{ec2}, Q_{ec3}]$$

2. Nivel de protección medio II. Aplicable a zonas de interés piscícola.
 $Q_{ecII} = Q_{ecI} + 2$ l/s/km² de cuenca aprovechable.

3. Nivel de protección máximo III. Aplicable a zonas salmoneras.

$$Q_{ecIII} = Q_{ecI} + 4$$
 l/s/km² de cuenca aprovechable.

En el estudio español "Caudales Ecológicos. Estudio de Regímenes de Caudales Mínimos en los Cauces de la Comunidad de Madrid", se obtuvieron los caudales, en cada tramo de río analizado, usando los criterios de estas tres legislaciones y se compararon con los caudales ecológicos calculados en dicho estudio, usando la metodología PHABSIM.

En general los valores resultantes de aplicar la legislación suiza son más bajos que los resultantes de la legislación francesa y los obtenidos en el estudio de los españoles.

Sin embargo para establecer una comparación real entre ellos se debe considerar que la ley suiza establece un incremento sobre los valores calculados tal que permita la libre migración de los peces.

3.2.4 Planes Hidrológicos Propuestos para el Manejo de las Cuencas

A continuación se presentan algunos planes internacionales, que se han propuesto, en regiones específicas, pero que aún no forman parte de la legislación.

3.2.4.1 Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña

En este plan se propone la mantención de un caudal mínimo o ecológico para alcanzar el objetivo de calidad de las aguas, es decir, concibe el caudal ecológico como un caudal de dilución que asegure la "garantía de calidad de las aguas", de acuerdo a los usos demandados en una localidad, cuando ésta no se logre con las obras de saneamiento.

3.2.4.2 Propuesta Plan Hidrológico de la Confederación Hidrográfica de El Ebro

El plan propone la consideración de caudales ecológicos en todos aquellos cauces de la cuenca del Ebro, que sean definidos como cauces de aguas permanentes. En los cauces que se clasifiquen como "cauces de aguas discontinuas" no se impondrá ningún caudal ecológico.

Se considera como cauce de aguas discontinuas a aquel que, en circunstancias normales, baja seco o con caudales inapreciables en el 90% de los días y como cauce de aguas permanentes al que no.

Se define como caudal ecológico al Q_{330} , es decir, al caudal que es superado o igualado al menos 330 días al año. Esta definición debe entenderse referida a la corriente natural, y en año de aportación correspondiente a los alrededores del primer cuartil. Este caudal se impondrá en todos los tramos que cuenten con estaciones de aforo y en aquellos, que sin disponer de estaciones, los valores hidrológicos puedan transferirse desde otras estaciones del mismo río o de ríos próximos de similares características. La transferencia se hará en función de la relación de las superficies de cuenca respectivas, elevadas a 3/4. En los demás tramos se estimará, transitoriamente, un caudal mínimo del 10% del caudal medio anual.

3.2.4.3 Propuesta Plan Hidrológico de la Confederación Hidrográfica del Norte de España

En esta propuesta se define como caudal ecológico a aquel que garantice la conservación de la vida, el movimiento y la reproducción de las especies que pueblan las aguas en el momento de instalación de una obra. El caudal mínimo deberá ser suficiente para respetar las exigencias de calidad, relativa a las aguas superficiales, que se contemplan en la ley aunque existan vertidos. En cualquier caso el valor mínimo del caudal será:

- Para aportaciones anuales medias hasta 30 m³/s el caudal inmediatamente aguas arriba de la obra o el mayor de los caudales siguientes si aquél fuera mayor que estos,

$$Q_{ec} = 50 \text{ l/s}$$

$$Q_{ec} = 10 \% \text{ del caudal medio anual}$$

3.2.4.4 Programa de Caudales de Nueva Inglaterra (Base de los caudales acuáticos):

Este método (Gan y McMahon, 1990) supone que el caudal medio histórico, en el mes de caudales bajos, es suficiente para sustentar a los organismos acuáticos nativos durante todo el año. Los caudales para las épocas de desove e incubación son definidos especialmente durante estos períodos.

La ventaja del método es su consistencia y facilidad de aplicación aunque requiere de un largo período de estadísticas fluviométricas.

3.2.5 Aplicabilidad de Legislaciones y Métodos Internacionales a Chile

Los métodos de base hidrológica y estimación hidráulica son aplicables en el país, debido a su simpleza y a que en su mayoría sólo requieren como base de datos la existencia de estadísticas hidrometeorológicas y otros parámetros geomorfológicos de fácil obtención. Al aplicar alguno de estos métodos a los ríos nacionales, se debe cuidar que los objetivos que se logren coincidan con los objetivos ambientales que se quieren alcanzar; en segundo lugar se debe poner especial cuidado al validarlos para que los períodos del año hidrológico en que se aconsejan los distintos caudales sean correlativos, pues los meses del año, que en un continente corresponden al período seco, en el otro corresponden al período húmedo.

La legislación internacional referente a caudales mínimos, se basa en caudales hidrológicos, por lo tanto el único requisito para aplicarla en Chile es contar con una base de datos, que permita la obtención de los caudales en base a los cuales se obtienen los caudales residuales mínimos que se deben mantener en los ríos; considerando además, lo expuesto en el párrafo anterior. El período de estadísticas históricas que se requiera dependerá del valor del coeficiente de variación; mientras mayor sea la variación, en una determinada zona o cuenca, mayor será la longitud del período de estadísticas que se necesiten, para que los resultados sean representativos; además de la variabilidad interanual, la longitud del período de estadísticas que se adopte debe considerar la intervención del hombre. Los costos de aplicar legislaciones basadas en caudales hidrológicos son los asociados a los estudios hidrológicos requeridos para obtener dichos caudales, en la zona de interés. Se adicionan a los costos mencionados aquellos en los que sea necesario incurrir, con el fin de modificar las normas existentes e instaurar una nueva legislación.

El método de Tennant debe ser adaptado a las características específicas de los ríos chilenos, se debiera definir una escala de evaluación que no necesariamente tenga las mismas categorizaciones de este método.

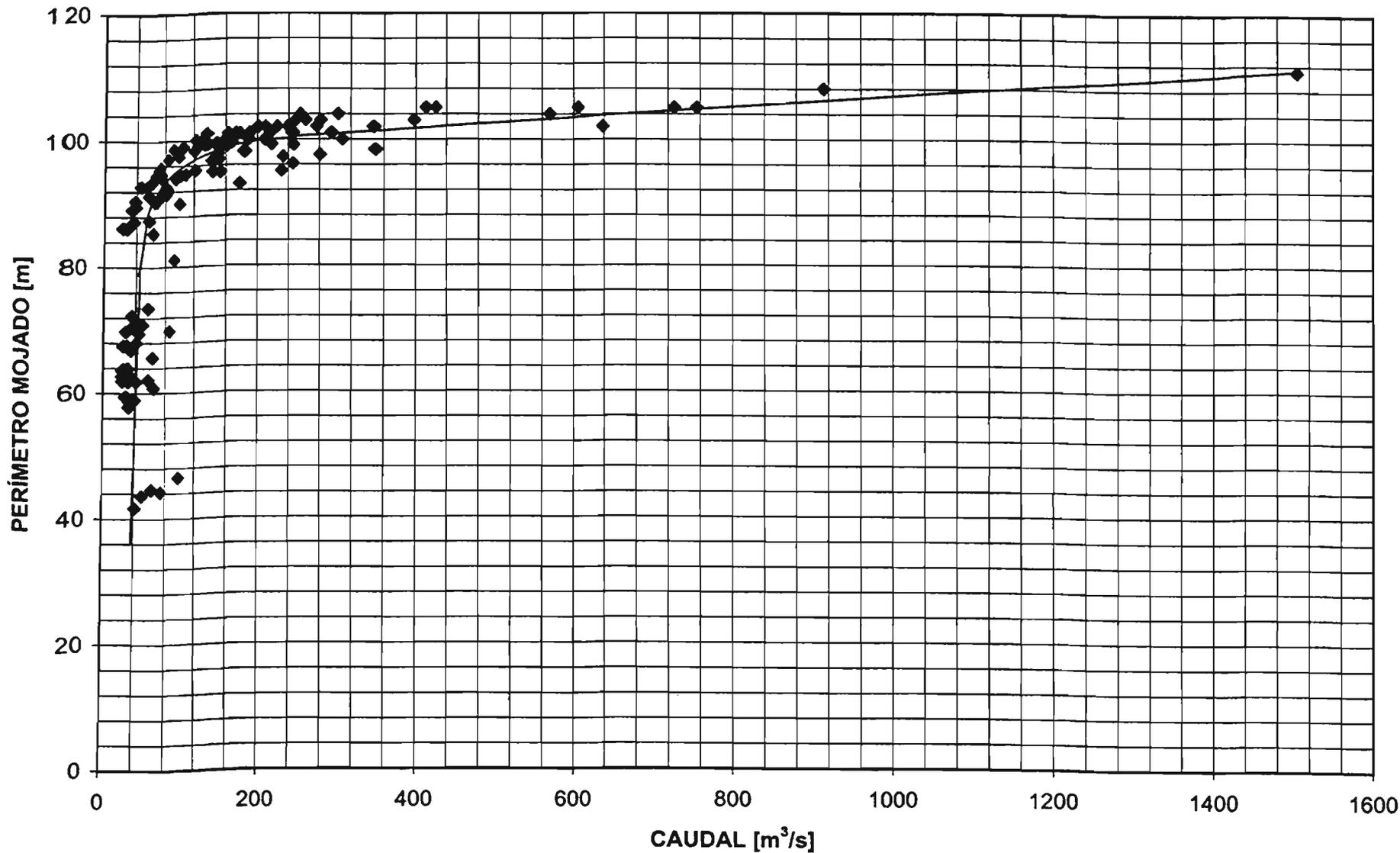
Con respecto al método del perímetro mojado, su aplicación no es directa y requiere del estudio de secciones críticas en cada tramo de modo que el caudal obtenido sea representativo y no caracterice a las secciones de crecidas, pues esto sobrevaloriza en un alto porcentaje los caudales calculados. A modo de ejemplo, se obtuvo la relación Caudal versus Perímetro Mojado para la estación Cautín en Cajón de la cuenca del río Imperial en la IX región, que se grafica en la figura 3.5. En el gráfico se aprecia, que el punto de quiebre o punto de cambio de pendiente de

la curva, arroja un caudal ecológico de probabilidad de excedencia de aproximadamente 55%, lo que significa que el caudal propuesto como mínimo, no se da en forma natural durante 164 días en un año.

Con respecto a las legislaciones internacionales expuestas en este capítulo, en su mayoría se aplicarán para obtener caudales ecológicos en algunos ríos que se encuentran dentro de la zona territorial concerniente a este estudio. Las legislaciones Francesas, Suiza y Asturiana se aplicarán directamente. El plan hidrológico de la Confederación Hidrográfica del Ebro, requiere la obtención del Q_{330} para años con caudal medio anual correspondientes a los alrededores del primer cuartil. En este estudio se usaron, para la generación de las curvas de duración, todos los años correspondientes al primer cuartil.

Con respecto a los métodos de estimación de hábitat, el más aplicado y reconocido a nivel mundial es IFIM. Actualmente es imposible aplicar esta metodología en el país, debido a que requiere de una cantidad considerable de estadísticas, entre las que se cuentan las estadísticas biológicas. En Chile, sólo existen catastros puntuales de la biota existente estos, además de incompletos, se encuentran dispersos y son de difícil acceso, debido a la irregularidad en las publicaciones biológicas. Por otra parte, la aplicación de IFIM requiere de un largo período de estudio para su desarrollo, por lo que se deben programar con antelación tanto los recursos económicos como humanos, que se deben capacitar, en cursos especializados que enseñan la metodología en cuestión.

**FIG. 3.5: CAUDAL VERSUS PERÍMETRO MOJADO
ESTACIÓN RÍO CAUTÍN EN CAJÓN
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN**



4. ANÁLISIS DE PARÁMETROS IMPORTANTES PARA LA PRESERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

En los párrafos siguientes se entrega información sobre los parámetros que se estiman importantes para conocer el estado de salud de un ecosistema. Se incluyen parámetros de calidad bacteriológica de las aguas, que en general servirán como indicadores de aguas contaminadas por desechos antrópicos y de animales; parámetros de calidad físico-química de las aguas que influyen mucho en las características de los organismos que habiten un determinado ecosistema; características mecánico-fluviales que influyen en el ecosistema acuático; e indicadores bióticos de calidad de las aguas.

4.1 ANTECEDENTES SOBRE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE AGUAS SUPERFICIALES

El agua es un elemento esencial para la vida, pero además, puede constituir un vehículo de transmisión de una variedad de agentes infecciosos. Existe amplia información que avala la relación entre la calidad sanitaria del agua y la producción de enfermedades (Snow, 1854; Koch, 1894; Feachem, 1983, McJunkin, 1988). Las enfermedades de transmisión hídrica que más trascienden son las de tipo "fecal-oral", que se manifiestan en infecciones entéricas; la fuente principal corresponde al vertido en las aguas naturales de excretas evacuadas por individuos o animales (de sangre caliente) infectados con microorganismos patógenos. De ahí la importancia de calificar las aguas para diferentes usos, en beneficio de reducir riesgos en la salud pública.

Los patógenos de transmisión hídrica son muy variados, pertenecen a diferentes categorías de microorganismos (bacterias, virus, protozoos), su presencia en el agua depende de diversos factores, de ahí que parezca razonable que su detección en el agua sea un mecanismo para evaluar el riesgo para la salud pública; sin embargo, este enfoque presenta un sinnúmero de limitaciones. Entre ellos, la falta de un procedimiento único para probar la presencia de patógenos (Rohlich, 1977; OMS, 1995), los costos y tiempos involucrados, las habilidades de ejecución confiable de las diversas técnicas y otros aspectos de tipo epidemiológico, hacen que la calificación de las aguas, en base a la búsqueda de patógenos no sea una práctica usual. La alternativa es el uso de "indicadores de contaminación", que corresponde a la detección de ciertos microorganismos componentes de flora normal intestinal humana y de animales de sangre caliente. La detección de indicadores representa la posibilidad general de patógenos acompañantes. Los indicadores son simples de detectar y enumerar y son utilizados, a nivel universal para valorar la calidad del agua, desde el punto de vista sanitario.

Existen diversos tipos de organismos indicadores. Los más usados son las bacterias del Grupo coliforme y sus variaciones: Coliformes totales; *Escherichia coli*, Coliformes fecales o termorresistentes. Otros organismos indicadores propuestos y utilizados como complemento o para casos específicos son: bacterias estreptococos fecales, bacterias sulfito reductoras (*Clostridium* spp.), enterovirus; virus bacterianos (colifagos, RNA F⁺ male específicos, Bacteriodes fragilis phages), etc. (OMS, 1995; Sobsey, 1995a, Jofré et al, 1995).

A continuación se presenta la recopilación y procesamiento de datos de calidad microbiológica, en base a indicadores de contaminación, efectuados en algunas aguas superficiales correspondientes a las cuencas contempladas en este proyecto y su evaluación de calidad, según normativas nacionales vigentes.

4.1.1 Antecedentes sobre organismos indicadores

En las Tablas 1 a 13 del Anexo A, se presenta el procesamiento estadístico de datos (Watt, 1993) de coliformes totales, coliformes fecales y colifagos, en muestras de 10 cuerpos de agua superficiales:

-IV Región en:

Río Elqui, en la entrada de la Planta de Tratamiento de agua potable;

-Región Metropolitana en:

Río Maipo, en la entrada de las Plantas de Tratamiento del complejo Vizcachas; Estero el Manzano, Laguna Negra en acueducto Planta La Obra de EMOS; Estero El Canelo; Estero El Arrayán; Tranque La Dehesa; Río Mapocho en Tabancura; Río Mapocho en zona de riego, sector Pudahuel; Estero El Clarillo, en Pirque;

-IX Región en:

Río Cautín en Cajón.

Los datos se muestran como: media aritmética, media geométrica, mediana, valores mínimo y máximos, y desviación estándar de la media aritmética, de los parámetros indicadores medidos.

En las Figuras 1 a 12 del Anexo A se presenta, en forma de "box-plot", la distribución de frecuencia de los datos recopilados. Esta figura entrega los percentiles 25 y 75, además de los valores mínimo y máximo de los indicadores.

En las Tablas 14 a 21 del Anexo A, se resumen los datos de muestras puntuales de coliformes totales y fecales de algunos ríos de cuencas de la IX y X Región.

Los datos presentados fueron procesados a partir de las siguientes fuentes: Castillo G., 1986-1988; Castillo G. y col., 1991; Prado V. et al, 1993; AyC Ingenieros Consultores Ltda., 1996.

4.1.2 Evaluación de la calidad microbiológica de las aguas

Para la interpretación de los datos se utilizaron dos normas chilenas:

- i) NCh 777 Of. 71: Agua Potable. Fuentes de Abastecimiento y Obras de Captación. Terminología, Clasificación y Requisitos Generales. Instituto Nacional de Normalización,

1971. (Decreto Oficial 398 MOP, Nov. 1971).

- ii) NCh 1333 Of. 78 (modificada en 1987): Requisitos de Calidad de Aguas para Diferentes Usos. Instituto Nacional de Normalización (Decreto Oficial 867 MOP, Mayo 1987, Diario Oficial 22 mayo 1987). En la Tabla 3.2 del Capítulo 3, se incluyen los requisitos de calidad para diferentes usos, establecidos por esta Norma.

Los requisitos de calidad del agua de estas normas son los siguientes:

- i) NCh 777 of 71 (Tabla 1). Califica el agua en base al indicador Coliforme total (CT), determinado según el método del Número Más Probable (NMP x 100 ml), según los siguientes rangos:

<u>Coliformes Totales/ 100 ml</u>	<u>Calidad</u>
≤ 50/ 100 ml	Buena
> 50 < 5000/ 100 ml	Regular
> 5000/ 100 ml	Deficiente

- ii) NCh 1333 Of. 87, indica, en los Punto 6. y 7., Tabla 3., lo siguiente:

6. Requisitos del agua para riego.

6. 2. Requisitos bacteriológicos. "El contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser: ≤ a 1000 Coliformes fecales (CF)/ 100 ml".

7. Requisitos para agua destinada a recreación y estética.

7.2. Recreación con contacto directo.

- 7.2.1. "El agua destinada a recreación con contacto directo (natación, buceo, esquí acuático) debe cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 3 (de la Norma en cuestión).: Coliformes fecales (CF)/ 100 ml, máximo 1000".

Tomando como referencia la media geométrica de los indicadores Coliformes Totales y Coliformes fecales se presenta, en la Tabla 22 del Anexo A, la clasificación de las aguas de los cursos en los cuales se contaba con información (entre 7 y 28 datos).

Según esta evaluación, a excepción de los ríos Cautín en Cajón, y Mapocho en Pudahuel, 10 ríos califican como de calidad "regular" para fuentes de agua potable y calidad "apta" para regadío de cultivos de consumo crudo y recreación con contacto. En ambos casos, las aguas de los ríos Cautín y Mapocho en los puntos mencionados, calificaron como de calidad "deficiente" y "no apta", para fuentes de agua potable y regadío de cultivos de consumo crudo y recreación con contacto.

Cabe destacar que el valor de las medias geométricas de los indicadores medidos en el río Mapocho en Pudahuel son característicos de aguas servidas domésticas, con alto riesgo de patógenos acompañantes y absolutamente inadecuada para cualquier uso relacionado con actividades humanas. De la comparación de estos datos con los obtenidos en el río Mapocho en

Tabancura, se desprende el gran deterioro en la calidad microbiológica de las aguas, ocasionada por su paso a través de la ciudad de Santiago.

Pese a que en el estero Clarillo se cuenta con escasa información, las muestras correspondían a aguas destinadas a fuente de agua potable de población rural dispersa; según ello se consideran absolutamente no aptas para el consumo. En la zona se encuentra además, un balneario del mismo nombre, cuyas aguas estarían en el límite del cumplimiento de los criterios de calidad para recreación con contacto.

4.1.3 Discusión

En general, los datos de los parámetros medidos en las aguas (CT, CF y colifagos) se corresponden entre sí; es decir, se comportan en su globalidad, de la forma esperada.

Los colifagos (virus bacterianos de origen fecal) registrados en algunos puntos de muestreo, son concordantes con la calidad sanitaria entregada por los parámetros bacteriológicos (CF). Según Kott y col. (1974), un nivel de colifagos $< 10/100$ ml es equivalente a aguas de baja contaminación; valores entre 10 y 100/100 ml indican aguas de moderada y reciente contaminación, y > 100 y 1000/100 ml aguas de alta y reciente contaminación. Sobre 1000 colifagos/ 100 ml se considera representativo de aguas servidas.

De la configuración de los box-plots se obtiene, además de la distribución de las muestras dentro de los valores límites, el patrón de comparación de los parámetros medidos. De esto se desprende que los ríos Elqui, Cautín, y Mapocho en Lo Castillo -todos ellos usados como fuentes de agua potable- tienen una importante componente de contaminación de origen fecal. En contraste, la contaminación observada en las aguas de los esteros El Canelo, El Manzano, Arrayán y de la Laguna Negra, sugiere arrastre de suelo o material vegetal. Esto porque, aparte que los coliformes fecales son bajos, en general, los datos se agrupan bajo el 50%.

De la interpretación de los antecedentes sobre valores puntuales de coliformes (CT y CF), reunidos en algunos ríos de la zona sur del país, se puede asumir lo siguiente:

- a) Cuenca del Río Toltén, denota influencia de actividad humana, la que permanece sin mayor variación hasta aproximadamente 30 km aguas abajo de su cabecera.
- b) Cuenca del Río Imperial (unión de los ríos Cautín y Toltén), se podría considerar de calidad bacteriológica regular, sin mayores variaciones aguas abajo, a través de su curso (Coipue, Boroa, Carahue).
- c) Cuenca del Río Bueno de calidad bacteriológica variable, pasando de buena (CF 11/100 ml), a regular (2.400/100 ml) y deficiente (170.000/ 100 ml), notándose en este deterioro, la influencia del paso de las aguas a través de centros urbanos (Osorno). Sin embargo, en ciertas zonas, especialmente en aquellas afectas al procesamiento de madera, se debería verificar posibles resultados falso positivos de coliformes fecales.
- d) Cuenca del Río Valdivia, en general aguas de buena calidad bacteriológica. Se sugiere conseguir más datos de Universidad Austral y empresa sanitaria regional. Igualmente sería

interesante verificar posible influencia de residuos industriales en el parámetro coliformes fecales.

- e) Cuenca Río Maullín, variando de regular a buena.
- f) Cuenca Río Chamiza, aguas de muy buena calidad bacteriológica.

Como comentario final se sugiere la conveniencia de continuar con la búsqueda de antecedentes sobre calidad microbiológica de las cuencas incluidas en este estudio. Se tiene conocimiento somero acerca de estudios sobre el tema realizados por universidades regionales y de monitoreos periódicos sobre calidad bacteriológica de fuentes de agua potable realizados por las empresas sanitarias. Es muy probable que exista información regional dispersa en instituciones como el SAG, DPA de los Servicios de Salud, DGA, y mayores datos en empresas de acuicultura, y otros rubros que requieran de agua de cierta calidad para uso industrial.

No se tiene conocimiento sobre recomendaciones de monitoreo microbiológico de aguas, con fines de preservación del recurso. Solamente se sabe de la disposición del Ministerio de Salud a las empresas productoras de agua potable. Esta reglamentación establece control sistemático de coliformes con frecuencia mensual para las fuentes superficiales y cada tres meses para las fuentes subterráneas.

4.2 PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS DE INTERÉS EN LA PRESERVACIÓN DEL ECOSISTEMA ACUÁTICO

El ecosistema acuático está compuesto por la comunidad biológica (productores, consumidores, descomponedores) y sus interacciones. Dentro del ecosistema acuático existe una compleja interacción de ciclos físicos y bioquímicos y los cambios no ocurren en forma aislada.

El sistema acuático está en constante cambio. El ecosistema ha evolucionado en un largo período de tiempo y por ello los organismos se han adaptado a su ambiente. Los cambios rápidos pueden producir efectos dañinos o desastrosos.

En la programación de planes de control de calidad de aguas de interés en la preservación del ecosistema acuático, el ecosistema debe considerarse como un todo, no como organismos aislados afectados por un (o unos pocos) contaminante(s). El sistema acuático es parte de un complejo sistema con componentes diferentes y no debería ser estudiado en forma aislada.

Entre los parámetros de calidad de agua de significancia en preservación del ecosistema acuático se encuentran: oxígeno disuelto, pH, temperatura, dureza, conductividad, metales y nutrientes.

4.2.1 Oxígeno Disuelto (OD).

i) Antecedentes Generales.

La presencia de oxígeno disuelto en los sistemas de aguas naturales es esencial para la

mantención de la vida acuática y de los procesos de autopurificación.

El oxígeno disuelto en aguas puede provenir de la atmósfera o de actividad fotosintética de algas y plantas acuáticas superiores.

La cantidad de oxígeno disuelto en aguas naturales depende de las especies de fitoplancton presentes, penetración de la luz, disponibilidad de nutrientes, temperatura, salinidad, movimiento del agua, presión parcial del oxígeno atmosférico en contacto con el agua, grosor del film superficial y tasa de biodegradación y descomposición. El oxígeno es moderadamente soluble en agua.

Las concentraciones de oxígeno disuelto en aguas están controladas por los procesos de consumo biológico, re-aeración y oxidación y por la respiración de animales y plantas, presentes en el agua, que consumen grandes cantidades de oxígeno disuelto. Adicionalmente, la oxidación química de materias orgánicas disueltas y la descarga de nutrientes desde fuentes naturales o antrópicas puede originar disminución del oxígeno disuelto, alcanzando algunas veces a condiciones potencialmente anaeróbicas.

Bajo tales condiciones los organismos acuáticos pueden resultar afectados por los efectos del bajo nivel de oxígeno disuelto y por los cambios químicos que se pueden producir en la columna de agua Ej. aumento de solubilidad de elementos traza adsorbidos en sedimentos de fondo.

La solubilidad del oxígeno atmosférico (ej. saturación) en aguas dulces varía, aproximadamente, entre 15 mg/l a 0°C y 8mg/l a 25°C a nivel del mar. El contenido de oxígeno del agua decrece con aumentos de temperatura y salinidad. En el agua de mar se tiene alrededor de 20% menos de oxígeno disuelto que en el agua dulce.

En relación al contenido de oxígeno disuelto del agua, se pueden producir importantes variaciones diarias, estacionales y geográficas. Estas variaciones son, en parte, el resultado de variaciones en temperatura, actividad fotosintética y descarga de aguas residuales, y pueden ser observadas en una escala de tiempo prolongada o corta.

La concentración de oxígeno disuelto en aguas naturales no debiera ser menor que las concentraciones mostradas en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1: NIVELES GUÍA PARA OXÍGENO DISUELTO

Categoría de Biota	Concentración de OD(mg/l)	
	Etapas iniciales de la vida	Otras etapas de la vida
Aguas templadas	6.0	5.0
Aguas frías	9.5	6.5

La Tabla 4.2 resume los límites de oxígeno disuelto recomendados para la mayoría de los grupos comunes de especies y un grado de riesgo intermedio.

TABLA 4.2: OXÍGENO DISUELTO RECOMENDADO POR DAVIS (1975)

TEMPERATURA	OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS					
	BIOTA DE AGUAS TEMPLADAS		BIOTA DE AGUAS FRÍAS		PRINCIPALMENTE SALMONIDEOS	
	% Sat.	mg/l	% Sat.	mg/l	% Sat.	mg/l
0	47	7	54	8	57	8
5	47	6	54	7	57	7
10	47	5	54	6	57	6
15	47	5	54	6	59	6
20	47	4	57	5	65	6
25	48	4	63	5	72	6

La combinación de Oxígeno Disuelto bajo y presencia de tóxicos puede conducir a situación de stress en los organismos acuáticos. La toxicidad del cinc, plomo, cobre, pentaclorofeno, cianuro, hidrógeno sulfurado y amonio es acrecentada cuando el oxígeno disuelto es bajo.

ii) Recomendaciones sobre Muestreo y Análisis.

Las muestras para determinación de oxígeno disuelto deben ser tomadas muy cuidadosamente para evitar el contacto con aire y cualquier agitación. Se han desarrollado varios procedimientos y equipos para muestrear aguas bajo presión y no confinadas como arroyos, ríos y reservorios. Si la muestra no va a ser analizada inmediatamente y se requiere agregar preservantes químicos, éstos deberán agregarse inmediatamente después de la colección de la muestra, ya que los cambios en el OD pueden ocurrir rápidamente. Es recomendable además registrar la T° de la muestra al °C más próximo y si se requieren registros muy precisos se debe anotar la presión barométrica.

Para la determinación de OD se describen 2 métodos: el test iodométrico (método Winkler) y el método del electrodo de membrana. El método Winkler y sus modificaciones es el procedimiento titrimétrico más preciso y confiable para analizar OD. El método del electrodo es adecuado para análisis de terreno, especialmente, para uso in situ y para monitoreo continuo.

4.2.2 pH

i) Antecedentes Generales.

El pH de aguas naturales se relaciona, en alguna medida, con la geología de la cuenca y está gobernado por el equilibrio $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$. El pH del agua puede resultar afectado por la

presencia de ácidos orgánicos y por procesos biológicos (por Ej.: fotosíntesis y respiración) y procesos físicos (turbulencia y aeración) que pueden variar la concentración de dióxido de carbono disuelto.

El pH del agua afecta los procesos de transformación entre las varias formas de nutrientes y metales, e influencia la toxicidad de algunos contaminantes (ácidos y bases) por efecto de la ionización de éstos. El pH determina la especiación química de muchos metales, su solubilidad en agua y su biodisponibilidad.

Para la protección de la vida acuática, el pH del agua no debería variar más allá del rango 6.5 - 9.0. En la Norma Chilena 1333 of. 78, modificada en 1987, se establece un pH entre 6.0 - 9.0, como requisito de calidad química del agua para la preservación de la vida acuática.

En el caso de descargas de aguas residuales, las descargas no deberían modificar el pH en el límite de la zona de mezcla en más de 0.5 unidades. Cuando los valores de pH se alejan de su rango normal se produce un deterioro gradual de la calidad del agua. El rango de pH que no es letal a peces, en forma aguda, es 5 - 9. Las especies individuales de peces tiene un pH óptimo dentro de este rango. La toxicidad de varios contaminantes comunes se ve notoriamente afectada por cambios de pH dentro de este rango y aumentos en la alcalinidad o acidez pueden conducir a que ellos sean más tóxicos.

Se han reportado efectos crónicos dentro del rango de pH 5-6. En la Tabla 4.3 se entregan antecedentes sobre efectos del pH del agua en los peces.

El pH también influye en la toxicidad respecto a peces del amonio no ionizado (NH_3) la principal forma tóxica del amonio. La toxicidad varía con el pH y la temperatura, y la fracción del amonio total que está no-ionizado también varía con el pH y la temperatura. Los niveles guía recomendados en la Tabla 4.4 reflejan ambas variaciones.

ii) **Recomendaciones sobre Muestreo y Análisis.**

El ideal es la determinación de este parámetro en terreno mismo, para evitar las variaciones que pueden producirse durante el transporte y almacenamiento.

El método más exacto y relativamente libre de interferencias para medir pH es el método electrométrico. Con este método, en mediciones de terreno, bajo condiciones normales de operación, se puede tener un límite de exactitud de ± 0.1 unidades de pH .

TABLA 4.3: EFECTOS DEL pH DEL AGUA EN PECES

Rango pH	Efecto
3.0 - 3.5	Es difícil que algún pez puede sobrevivir por más de unas pocas horas en este rango.
3.5 - 4.0	Este rango es letal para salmonídeos.
4.0 - 4.5	Probablemente sea dañino para salmonídeos que no han estado previamente aclimatados a valores de pH bajos, aunque la resistencia a este rango de pH aumenta con el tamaño y edad del pez.
5.0 - 6.0	Es difícil que sea dañino para alguna especie a menos que la concentración de dióxido de carbono libre sea superior a 20 mg/l o que el agua contenga sales de hierro que estén recién precipitadas como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ cuya toxicidad precisa no se conoce. El extremo inferior de este rango puede resultar dañino para salmonídeos no aclimatados si las concentraciones de calcio, sodio y cloruro o la temperatura del agua son bajas.
6.0 - 6.5	Es difícil que resulte dañino para los peces a menos que el dióxido de carbono libre este presente en concentración superior a 100 mg/l.
6.5 - 9.0	Inofensivo para peces, La toxicidad de otros contaminantes puede resultar afectada por cambios dentro de este rango.
9.0 - 9.5	Probablemente puede resultar dañino a salmonídeos si está presente por un período prolongado de tiempo.
9.5 - 10.0	Letal para salmonídeos si se presenta por períodos de tiempo prolongados, pero puede ser resistido por períodos cortos.
10.0 - 10.5	Puede ser tolerado por salmonídeos por períodos cortos, pero, puede resultar letal por períodos prolongados.
10.5 - 11.0	Rápidamente letal para salmonídeos.
11.0 - 11.5	Rápidamente letal para todo tipo de peces.

Fuente: Alabaster and Lloyd 1982.

4.2.3 Temperatura

i) Antecedentes Generales.

La temperatura de un cuerpo de agua refleja el régimen climático, pero la actividad antropogénica puede alterar la temperatura de cuerpos de agua receptores.

Las variaciones de temperatura de los cuerpos de agua son parte del régimen climático normal y por ello exhiben variaciones estacionales y diurnas tanto como estratificación vertical.

La temperatura de un cuerpo de agua superficial está influenciada por factores tales como latitud, elevación, estación, hora del día, tasa del flujo y profundidad.

La temperatura juega un rol controlador importante en el ambiente acuático al condicionar la influencia de una variedad de parámetros físico-químicos. Los organismos acuáticos tienen límites superiores e inferiores de tolerancia térmica; gradientes de temperatura óptimos para crecimiento, migración, desove e incubación de huevos.

Los cambios en la temperatura de un cuerpo de agua pueden alterar la comunidad acuática existente. Por ej.: la predominancia de algas cambia de diatomeas a algas verdes y luego algas azul-verdes a medida que la temperatura del agua aumenta.

La exposición crónica a temperaturas ligeramente elevadas, en aguas ricas en materia orgánica, generalmente, provocará un aumento de la productividad. También se ha observado disminución en la diversidad de especies. El límite superior de tolerancia para la población bentónica es, generalmente, superior al límite para peces. La fauna bentónica no está habilitada para salir de la zona que alcanza niveles intolerables de temperatura.

La tolerancia de los organismos a temperaturas extremas es función de su habilidad genética de adaptarse a cambios térmicos, de la temperatura de aclimatación previa a la exposición y del tiempo de exposición.

La literatura informa que los organismos sujetos a stress por sustancias tóxicas son menos tolerantes a temperaturas extremas.

Para satisfacer las necesidades, de las diferentes etapas de la vida de los peces, se requieren diferentes condiciones de temperatura en diferentes épocas del año. Por ej. los huevos y larvas de salmonideos son extremadamente sensibles a temperaturas elevadas. Los cambios naturales de temperatura son necesarios para inducir los ciclos reproductivos de los organismos acuáticos y para regular otros factores. Un cambio en el régimen natural de temperatura puede producir cambios en la composición de las comunidades acuáticas y en el comportamiento de las especies acuáticas.

ii) Recomendaciones para Muestreo y Análisis.

El análisis de temperatura debe hacerse en terreno. Las medidas de temperatura pueden ser hechas con un termómetro Celsius relleno con mercurio, calibrado para lecturas con una resolución de al menos $0,1^{\circ}\text{C}$.

TABLA 4.4: CALIDAD DE AGUA PARA PECES. NIVELES GUÍA RECOMENDADOS PARA AMONIO TOTAL (NH₃) EN AGUAS

pH	CONCENTRACIÓN DE AMONIO(mg/l) A DISTINTAS TEMPERATURAS(°C)						
	0	5	10	15	20	25	30
6.50	2.5	2.4	2.2	2.2	1.49	1.04	0.73
6.75	2.5	2.4	2.2	2.2	1.49	1.04	0.73
7.00	2.5	2.4	2.2	2.2	1.49	1.04	0.74
7.25	2.5	2.4	2.2	2.2	1.50	1.04	0.74
7.50	2.5	2.4	2.2	2.2	1.50	1.05	0.74
7.75	2.3	2.2	2.1	2.0	1.40	0.99	0.71
8.00	1.53	1.44	1.37	1.33	0.93	0.66	0.47
8.25	0.87	0.82	0.78	0.76	0.54	0.39	0.28
8.50	0.49	0.47	0.45	0.44	0.32	0.23	0.17
8.75	0.28	0.27	0.26	0.27	0.19	0.16	0.11
9.00	0.16	0.16	0.16	0.16	0.13	0.10	0.08

Fuente: U.S. EPA 1985.

4.2.4 Dureza

i) Antecedentes Generales.

La dureza del agua es una medida de cationes, predominantemente, cationes divalentes, disueltos en agua. Es originada por cationes metálicos tales como calcio, magnesio, estroncio, bario y por iones manganosos, ferrosos y de aluminio. Estos cationes están asociados con aniones en solución, principalmente, carbonato, bicarbonato, sulfato, cloruro y silicato. El Ca y Mg se consideran los principales cationes que producen dureza en aguas naturales.

Las fuentes naturales de dureza son principalmente la lixiviación de formaciones de piedra caliza, filtraciones y runoff de suelos. Las aguas en zonas que contienen roca carbonatada son duras y en zonas donde drenan rocas ígneas son blandas.

El grado de dureza se expresa numéricamente. La Tabla 4.5 muestra una escala de dureza usada internacionalmente.

TABLA 4.5: DUREZA DE AGUAS DULCES

Dureza (mg/lCaCO ₃)	Grado de Dureza
0 - 30	Muy blanda
31 - 60	Blanda
61 - 120	Moderadamente Blanda (dura)
121 - 180	Dura
180 y superior	Muy dura

Fuente: Thomas 1953.

La dureza del agua se usa muchas veces para evaluar la calidad del agua. La dureza varía considerablemente de acuerdo a las condiciones ambientales e influencia antropogénica.

La dureza es un factor modificador importante de la calidad del agua en el sentido que puede influenciar, significativamente, la forma y por lo tanto, la toxicidad de numerosos metales pesados. En la Tabla 4.6 se entregan antecedentes sobre esta materia.

ii) Recomendaciones para Muestreo y Análisis.

Las muestras para análisis de dureza deberían ser tomadas en botellas de plástico o vidrio de borosilicato sin adición de preservantes.

La dureza puede determinarse por 2 métodos: por cálculo si se dispone del análisis mineral de la muestra o por el método titrimétrico EDTA que mide los iones Ca y Mg.

TABLA 4.6: NIVELES DE TÓXICOS RECOMENDADOS PARA PRESERVAR LA VIDA ACUÁTICA (µg/l)

Metal	DUREZA EN AGUA (mg/lCaCO ₃)			
	0 - 60	60 - 120	120 - 180	> 180
Cadmio	0.2	0.8	1.3	1.8
Cobre	2	2	3	4
Plomo	1	2	4	7
Niquel	25	65	110	150

4.2.5 Conductividad

i) Antecedentes Generales.

La conductividad (conductancia específica) es una expresión numérica de la habilidad del agua de conducir una corriente eléctrica. Los principales factores que influyen la conductividad de una solución acuosa incluyen: naturaleza, concentración total y relativa de los solutos presentes, grado al cual los solutos se disocian en iones, valencia iónica, movilidad iónica y la temperatura de la solución.

La conductividad es particularmente sensible a las variaciones en sólidos disueltos. Su medida, sin embargo, no entrega indicaciones sobre las cantidades relativas de los varios componentes que conforman los sólidos disueltos, pero permite tener una estimación global de ellos.

ii) Recomendaciones sobre Muestreo y Análisis.

Este parámetro puede medirse, sin grandes dificultades, en terreno mismo. Por la información que entrega, permite una evaluación global rápida del contenido de sales disueltas en el agua.

La conductividad específica puede medirse instrumentalmente o calcularse a partir de las concentraciones iónicas de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^- y Cl^- . El método de cálculo puede aplicarse a aguas con un contenido de sólidos disueltos menor de 2500 mg/l. El método instrumental es el de más amplia aplicación, sobre todo si la medición de conductividad se hace en el terreno mismo.

4.2.6 Metales

i) Antecedentes Generales.

Los metales pueden existir en forma natural en los ecosistemas acuáticos o llegar a ellos a través de descargas de aguas servidas, principalmente, de origen industrial.

Los metales se presentan en el medio acuático en forma soluble como iones metálicos libres simples o complejos, pares iónicos, compuestos de coordinación o complejos organometálicos no ionizados. El grado de especiación y la biodisponibilidad de los metales está regulado por el pH del agua, la estabilidad de los productos de hidrólisis y la tendencia de los iones metálicos a formar complejos con otros ligados orgánicos e inorgánicos. Los iones metálicos puede ser removidos de la columna de agua por procesos de adsorción, precipitación y coprecipitación.

Las condiciones de óxido reducción del ecosistema acuático son importante en la especiación de metales porque ellas afectan directamente el estado de oxidación del ión metálico.

Como los metales no se degradan, ellos son transferidos o almacenados en el medio acuático y deberían ser considerados como "disponibles" si se producen las condiciones apropiadas. El transporte y especiación de los metales en el medio acuático, en sedimentos por ejemplo, también puede ser el resultado de procesos microbiológicos.

La distribución espacial de los metales en el agua es función del movimiento del agua (ej. corrientes, fenómenos de mezcla) y de la especie química y su solubilidad. En el caso de los metales asociados con coloides y material particulado en suspensión, la removilización está regulada por el tamaño forma y densidad de la partícula, y por la turbulencia del medio acuático.

En el ambiente acuático los sedimentos y el film superficial son dos sitios de enriquecimiento con metales. Las concentraciones de metales en estos sitios son varias órdenes de magnitud superiores a aquellas disueltas en agua. Esta materia está muy bien documentada en la literatura especializada.

La vida acuática, en general, es sensible a la presencia de metales pudiendo tolerar concentraciones más elevadas en el caso de Cd, Cu, Pb y Ni, a medida que el agua presenta niveles de dureza mayores (ver Tabla 4.6).

Para los elementos As, Hg, Se, Ag, Cr y Al, no hay antecedentes a este respecto.

ii) **Recomendaciones sobre Muestreo y Análisis.**

Con el objeto de proteger, realmente, el ecosistema acuático se recomienda analizar la concentración total de metales.

4.2.7 **Nutrientes**

i) **Antecedentes Generales.**

Los nutrientes N y P principalmente, juegan un rol importante en la síntesis de material vivo. Las variaciones en la concentración y distribución de nutrientes en el medio acuático dependen de muchos factores, incluyendo variaciones estacionales y variaciones en la actividad biológica del área.

Por ejemplo, la descarga de aguas servidas de origen doméstico al sistema acuático introduce formas de N que alteran el ciclo natural de este nutriente debido al gran aporte de amonio (NH_3) que contiene este tipo de descargas. La toxicidad del amonio a la vida acuática depende de factores como pH (ver Tabla 4.4), oxígeno disuelto, temperatura, concentración de calcio, alcalinidad y presencia de otros contaminantes. Adicionalmente, el amonio puede modificar el impacto de algunos elementos en la vida acuática. En la Tabla 4.7 se muestra el efecto en la vida acuática de algunas mezclas de amonio y tóxicos.

Las formas de P llegan al medio acuático por desgaste de rocas, a través de descargas de

aguas residuales o por fuentes difusas. El fosfato reacciona con los cationes disponibles en el agua (Ej. Fe, Al, Ca) formando complejos insolubles, quelatos y sales. Este mecanismo remueve fosfatos del sistema y reduce la concentración de metales en solución.

TABLA 4.7: EFECTO EN VIDA ACUÁTICA DE COMBINACIONES AMONIO-TÓXICOS

COMBINACIÓN	EFECTO
amonio y cobre	sinergismo
amonio y cinc	sinergismo
amonio y nitrato	sinergismo
amonio y HCN	sinergismo
amonio y fenol	sinergismo

ii) Recomendaciones sobre Muestreo y Análisis.

El muestreo de nutrientes debe ser acompañado de una inmediata preservación de las muestras para evitar las transformaciones que experimentan en el desarrollo de su ciclo.

En las tablas del Anexo B se incluyen las variaciones de los parámetros de calidad físico-química, analizados en este ítem, para cada una de las cuencas consideradas en este estudio en las que existían estadísticas.

4.3 ALGUNAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICO-FLUVIALES RELACIONADAS CON EL ECOSISTEMA ACUÁTICO PARA CAUCES DE LA IV A X REGIÓN

El estudio de ecosistemas acuáticos en cauces naturales es complejo debido a lo intrincado de la red de interacciones entre la biota, el medio fluido, la sección de escurrimiento y las características del suelo. En general, las interacciones entre el medio fluido y la sección de escurrimiento definen las características mecánico-fluviales del cauce natural. Estas características incluyen tanto aspectos hidráulicos y sedimentológicos como aspectos geomorfológicos. Dentro de los dos primeros aspectos pueden considerarse características tales como alturas y velocidades de escurrimiento, granulometría del sedimento del lecho, concentraciones de sedimento en suspensión, etc., en tanto que dentro de los aspectos geomorfológicos pueden contarse características tales como la presencia de estructuras sedimentarias, meandros, sistemas de caídas y pozas, etc.

Debido a la complejidad del problema y a que éste ha recibido atención sólo recientemente, el nivel de conocimiento actual acerca de la interacción entre la biota y las características mecánico-fluviales de los cauces naturales cubre sólo los aspectos más obvios de este fenómeno, siendo dicho nivel insuficiente para realizar un análisis profundo del problema. Por ejemplo, es claro que la cantidad de sedimento en suspensión influye en el tipo de vida acuática que puede encontrarse en el cauce, sin embargo no existe información respecto de los rangos de variación de la concentración de sedimento en suspensión tolerados por los distintos organismos. Por otro lado, se desconoce el tipo y nivel de interacción de la biota con otras características mecánico-fluviales de los cauces, tales como la morfología de éste.

Las características mecánico-fluviales de los cauces se determinan por lo general con objetivos distintos al del estudio del ecosistema acuático, y principalmente con miras al proyecto y diseño de obras tales como embalses, defensas fluviales, puentes y otras obras de infraestructura. No se cuenta en la actualidad con una metodología clara que permita realizar la caracterización mecánico fluvial desde una perspectiva ecológica. Por este mismo motivo, la única información mecánico-fluvial disponible en el país no toma en cuenta ningún aspecto del ecosistema acuático en particular, sino que corresponde más bien a información de tipo ingenieril.

El objetivo de este capítulo es caracterizar algunos cauces entre las regiones IV y X desde la perspectiva mecánico-fluvial relacionada con el ecosistema acuático a partir de información disponible en el país. Adicionalmente se darán algunas recomendaciones para la adquisición de información de terreno que permitirá construir una base de datos para realizar un seguimiento y un catastro de estos antecedentes.

4.3.1 Características Mecánico-Fluviales relacionadas con el ecosistema acuático

Como se indicó anteriormente, la interacción entre el flujo, el sustrato y la biota es compleja, difícil de establecer y la información de terreno relacionada con las características mecánico-fluviales es escasa y más escasa aún es la información que liga dichas características con las del ecosistema acuático.

La caracterización mecánico-fluvial es un problema resuelto desde el punto de vista de la ingeniería, existiendo una sólida base teórica que la fundamenta y, en general, suficientes antecedentes experimentales o de terreno que la avalan. No sucede lo mismo, sin embargo, con los antecedentes de tipo biológico que se requieren para aplicar dicha caracterización con fines de estudiar el ecosistema acuático.

La primera dificultad surge al tratar de establecer las necesidades ambientales y rangos de tolerancia de los organismos que componen la biota, siendo aún más difícil tratar de establecer una condición hidráulica única que asegure la supervivencia de todo el ecosistema. La complejidad aumenta al tratar de establecer la ligazón entre las características del escurrimiento, del lecho del cauce y las necesidades mínimas que requieren los organismos para sobrevivir. Cuando esta información existe, usualmente está limitada a los requerimientos de una especie en particular que ha sido estudiada con algún objetivo específico, como puede ser, por ejemplo, la explotación de ciertas especies de peces, por lo que no es posible generalizar los resultados a todo el ecosistema

A continuación se indican algunas de las características mecánico-fluviales que más claramente inciden en el ecosistema acuático:

Velocidad del flujo: La velocidad del agua y las fuerzas físicas asociadas a ella (fuerzas hidrodinámicas de arrastre y sustentación) representan el factor ambiental más importante que afecta a los organismos del ecosistema en cursos de agua, ya que éstas determinan la distribución de las especies, así como las características anatómicas de los organismos. Esto último se manifiesta en las estructuras anatómicas que desarrollan los organismos para adaptarse al flujo, de tal manera que le permitan moverse en la corriente, ser arrastrado por ella, o adherirse al fondo para no desplazarse.

Además, la velocidad del escurrimiento incide en el tamaño y cantidad de las partículas finas del sustrato que pueden ser resuspendidas o arrastradas, tal como se señala más adelante.

Altura de escurrimiento: Incide en la presión que deben soportar los organismos acuáticos. Influye también en el mayor tamaño que pueden alcanzar dichos organismos.

La altura de escurrimiento condiciona además la cantidad de radiación solar que alcanza los niveles más profundos del flujo, la que está relacionada con la temperatura del agua, el proceso de fotosíntesis, etc.

Existe una interrelación entre la altura y las distintas características del escurrimiento. Hay una relación directa entre la altura y el caudal y la rugosidad del lecho del cauce, e inversa con la pendiente. En general, ríos de alta pendiente, como lo son los cauces cordilleranos están asociados a grandes velocidades y alturas de escurrimiento pequeñas, muchas veces comparables al tamaño del sedimento que define la rugosidad del lecho. Por el contrario, los cauces de grandes alturas corresponden usualmente a ríos de llanura, cuyo sustrato está formado por sedimentos finos, presentando meandros y concentraciones altas de sedimento en suspensión.

Características de la sección del flujo: La forma y presencia de obstáculos puede incidir en el nivel de turbulencia del flujo, el que a su vez influye en otros fenómenos importantes para el

mantenimiento de la biota, como lo son las tasas de transferencia de oxígeno y calor. Obstáculos como grandes rocas, troncos de árboles caídos, etc., facilitan las condiciones para que los organismos establezcan su hábitat en el cauce.

La forma de la sección influye, además, en la posibilidad de crecimiento de vegetación en la ribera. Cauces rocosos y encajonados no permiten el crecimiento de vegetación en las zonas aledañas, en tanto que cauces con planicies de inundación permiten el desarrollo de todo un ecosistema en las inmediaciones de ellos.

Morfología del cauce: A diferencia de las características anteriores, cuya influencia en la biota es más obvia, el efecto que tiene la morfología del cauce sobre el ecosistema acuático es menos claro, con algunas excepciones. Por ejemplo, se sabe que en el caso de cauces con presencia de series de caídas y pozas, las primeras incrementan la tasa de reaireación del flujo, en tanto que las condiciones hidráulicas que se generan por dicha secuencia de rápidos y pozas son requeridas para el desarrollo de algunas especies orgánicas.

Por otro lado, en cauces trenzados, con presencia de canales múltiples e islas, se favorece el crecimiento de vegetación y el desarrollo de un ecosistema variado en las islas e inmediaciones del cauce.

En el caso de otros tipos morfológicos, tales como canales meandrosos o cauces con presencia de barras u otras estructuras sedimentarias, el efecto de sus características sobre la biota es más incierto que en los casos citados previamente.

Sedimentos que componen el lecho: El sedimento tiene una gran importancia en la selección, distribución y abundancia de la biota. En general, los lechos de los cauces naturales están formados por sedimentos inorgánicos, que varían en tamaño desde las arcillas o limos hasta grandes gravas y rocas. También se encuentran sedimentos de origen orgánico, provenientes de la descomposición de material orgánico propio del cauce o incorporado externamente a él. El sedimento inorgánico se caracteriza en cuanto a sus dimensiones geométricas mediante la curva granulométrica, la que especifica la distribución de tamaños del sedimento que constituye el lecho. En general, la granulometría del sedimento condiciona el tipo de biota del ecosistema acuático.

Existe una correlación entre la granulometría y la pendiente. A mayor pendiente se tiene material más grueso y con una curva granulométrica extendida, en tanto que los sedimentos finos y de tamaños más uniformes se encuentran típicamente en cauces de baja pendiente.

Sedimento en suspensión: Está relacionado también con el tipo de sedimento que compone el lecho, requiriéndose la presencia de finos. El sedimento en suspensión tiene efecto en la turbidez del agua. Esto afecta directamente la calidad del recurso y a su vez determina la cantidad de luz que pueden recibir los organismos que viven en el cuerpo de agua.

Arrastre de fondo: El arrastre de sedimento de fondo o gasto sólido de fondo también incide en la selección de los organismos que existen en el medio acuático. Por ejemplo, en cauces con lechos de arena se generan formas de fondo, tales como dunas, las que migran hacia aguas abajo debido

a la interacción entre el sedimento y el flujo. Estas formas de fondo pueden interferir con los procesos de reproducción o crecimiento de especies que requieren estar algún período en los lechos de los cauces. Por el contrario en lechos de granulometría gruesa y extendida, el arrastre es esporádico, ocurriendo sólo en el caso de crecidas.

Nivel de turbulencia del flujo: Incide principalmente en los procesos de reaireación y está condicionada por muchos de los factores mencionados anteriormente tales como altura de escurrimiento, pendiente, obstáculos, etc. El nivel de la turbulencia influye en los niveles de fluctuación de la velocidad y presión, las que pueden tener influencia o condicionar las características de organismos con dimensiones del orden de las microescalas turbulentas.

En general las características antes mencionadas son particulares de ciertos tramos del cauce solamente, teniéndose que estas características cambian a lo largo de él, desde su origen hasta la desembocadura en otro cuerpo de agua. En su origen, los cauces cordilleranos son de pendiente alta, con sedimento grueso, alturas de escurrimiento pequeñas y grandes velocidades; hacia aguas abajo, las características cambian, de modo que el cauce disminuye su pendiente, el sedimento del lecho se hace más fino y el escurrimiento es más lento y de mayor altura.

4.3.2 Caracterización de algunos ríos de las regiones IV a la X

En el punto anterior se discutieron las principales características mecánico-fluviales que inciden en el ecosistema acuático. En esta sección se determina la factibilidad de reunir toda la información antes indicada para algunos ríos de las regiones IV a X. Como se verá más adelante, la información disponible no es uniforme y no se encuentra centralizada en algún organismo o institución. Además, ella ha sido recogida con objetivos distintos a los del presente estudio, e incluso con objetivos distintos entre sí, por lo que no representa un conjunto homogéneo de información.

En general, la información requerida es costosa, involucra campañas de terreno y análisis especializado que requiere personal calificado. Gran parte de la información que se obtuvo para los ríos de este estudio fue gentilmente facilitada por oficinas consultoras privadas, por lo que no necesariamente podría ser de libre acceso si un particular la requiere. También se utilizaron antecedentes de memorias desarrolladas para obtener el título de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile e informes de proyectos desarrollados para la Dirección General de Aguas y para el Departamento de Defensas Fluviales del Ministerio de Obras Públicas. No se ha pretendido en esta recopilación ser exhaustivo en la identificación de fuentes de información.

Ríos seleccionados: Se seleccionaron más de 50 ríos de 16 cuencas ubicadas entre la IV y X Regiones. Las cuencas seleccionadas son las mismas utilizadas en el resto de este informe, las que se definieron en cuanto a su tamaño y disponibilidad de antecedentes biológicos. La ubicación de los ríos y respectivas estaciones o puntos de muestreo o de estudio utilizados en el presente análisis se muestran en el mapa de la Fig. 1, Anexo C.

Características mecánico-fluviales recopiladas: De los antecedentes disponibles se recopilaron las características del cauce y escurrimiento que a continuación se señalan: pendiente media, área de la cuenca, parámetros granulométricos, caudales, gasto sólido en suspensión y concentración. Las tres últimas características se recopilaron como valores medios mensuales y estacionales cuando estaban disponibles.

La información granulométrica se sintetiza en términos de los diámetros D_j , diámetro medio (D_m) y desviación geométrica estándar (S_g). En la definición de D_j , j indica el porcentaje en peso de la muestra que tiene un tamaño menor o igual a D_j , con j igual a 16, 50, 84 y 90.

Un resumen de las características mecánico-fluviales recopiladas se presenta en la Tabla 1 del Anexo C (Antecedentes Mecánico-Fluviales) en el cual además se incluye información detallada. El tipo de información disponible en cada una de las estaciones o puntos de estudio se muestra mediante un código en el mapa de la Fig. 1, Anexo C. La nomenclatura usada para interpretar dicho código es la siguiente:

i	: Pendiente media del cauce
A	: Área de la cuenca
D	: Granulometría
Q	: Caudal
G _s	: Gasto sólido en suspensión
C	: Concentración

Discusión: Hay que notar que desde el punto de vista de la interacción de las características mecánico-fluviales con el ecosistema acuático, más importante que el caudal resulta ser la velocidad y altura del escurrimiento. Sin embargo, estas variables no están siempre disponibles en los estudios consultados, y ellas dependen de las características geométricas del cauce y del caudal, variando a lo largo del cauce en la medida que varía el eje hidráulico.

Dependiendo del objetivo del estudio de la referencia consultada, el caudal está asociado a un período de retorno en particular. Por ejemplo, para fines de diseño de obras hidráulicas importantes, usualmente se utilizan caudales asociados a períodos de retorno altos. Caudales asociados a períodos de retorno bajos se emplean, por ejemplo, en el diseño de alcantarillas de aguas lluvias para obras viales, en la definición de deslindes de cauces, etc.

En general, de los estudios e informes revisados, se dispone de antecedentes respecto a la altura de escurrimiento y velocidad sólo en algunos tramos de ríos y para caudales de gran magnitud. La estimación de las alturas y velocidades de escurrimiento para caudales menores, asociados a condiciones típicas del ecosistema acuático, deberá hacerse a partir de estudios específicos.

Tal como se aprecia en la Tabla 1 del Anexo C, la información mecánico-fluvial disponible es en general insuficiente. Existe una carencia de información de las características granulométricas del lecho. Los ríos para los que se cuenta con esta información indican la presencia de lechos gruesos, con diámetro D_{50} superiores a los 10 mm, excepto el río Bío-Bío cerca de su desembocadura, cuyo lecho está constituido por material arenoso. Hay que insistir que la información granulométrica es puntual, y que las características granulométricas varían a lo largo

del cauce, haciéndose más fina hacia aguas abajo, debido a la abrasión natural de las partículas.

Lo mismo sucede con la información referente a la concentración o gasto sólido en suspensión. En este caso, los valores medios de la concentración varían entre las decenas de mg/l a más de 1000 mg/l, siendo este valor dependiente de la productividad de sedimentos de cada cuenca en particular. En general, se hace una distinción de la concentración agrupándola en los períodos nivales o pluviales. Los ríos analizados, de la zona norte hasta la Región Metropolitana, presentan valores medios de la concentración mayores durante el período nival que en el pluvial. Lo opuesto sucede para los ríos de las Regiones VI a X, en los que las concentraciones son mayores durante el período pluvial.

Es necesario indicar que la información granulométrica puede obtenerse directamente de una campaña de terreno, realizando los muestreos en la zona de interés para el estudio, en un plazo relativamente breve. Por el contrario, la información de gasto sólido en suspensión requiere de registros sistemáticos durante varios años, para que los parámetros estadísticos inferidos sean representativos.

4.3.3 Recomendaciones para futuros estudios. Programa de registro de las estadísticas de las características mecánico-fluviales de los cauces.

Ha quedado claro en el desarrollo del presente trabajo que existe un déficit de información desde el punto de vista biológico respecto a los requerimientos de las distintas especies orgánicas para asegurar su supervivencia. Esto se ve agravado por el hecho de que es necesario tener estadísticas suficientemente largas y completas que permitan extraer correlaciones y conclusiones valederas. Se hace necesario, por lo tanto, definir un programa de registro de estadísticas de las distintas variables involucradas en el problema, tanto desde el punto de vista biológico, como ambiental y mecánico-fluvial, con el objeto de tener un banco de datos suficientemente amplio y confiable que permita buscar las correlaciones antes mencionadas.

Dado que las estadísticas hidrológicas y sedimentológicas con que se cuenta actualmente en el país han sido en su mayoría obtenidas con fines de proyectos de obras de ingeniería, los datos que ellas recogen tienen una orientación distinta a la requerida para establecer necesidades mínimas para el mantenimiento del ecosistema, por lo que en general la información obtenida es insuficiente para ser aplicada directamente en el problema de interés.

Desde el punto de vista mecánico-fluvial, es necesario contar con los antecedentes que se indican a continuación:

Topografía: Se requiere contar con información topográfica en tramos representativos del cauce, consistente en perfiles transversales. En el proceso de cálculo se necesitará conocer la pendiente longitudinal del cauce, la que puede obtenerse a partir de la información anterior. También es deseable contar con la pendiente del pelo de agua, ya que ella puede ser utilizada para el cálculo de la pendiente del plano de carga en caso de tener un fondo demasiado irregular que no permita definir bien la pendiente de fondo.

Hidrología: Se requiere una estadística de caudales que permita calcular caudales medios mensuales y estimaciones de caudales de crecida para distintos períodos de retorno. Dependiendo de los objetivos del estudio podrá requerirse información a nivel de caudales medios diarios. También es necesario conocer las condiciones extremas (caudales máximos y mínimos). La estadística puede estar formada a partir de datos medidos o, en caso de no estar disponible, deberá ser generada sintéticamente.

Granulometría: Es necesario hacer muestreos del material de depósito del cauce con el objeto de caracterizar su granulometría. Para obtener la curva granulométrica integral del lecho deben realizarse muestreos mediante calicatas. En caso de cauces con granulometría gruesa y extendida, se requiere también determinar la distribución granulométrica de la coraza mediante muestreos superficiales.

Estadística de sedimentos en suspensión: Se requiere conocer estadísticas de concentración de sedimentos en suspensión. Generalmente estas estadísticas se obtienen a partir de muestreos puntuales, los que son correlacionados con concentraciones obtenidas de muestreos integrados en la sección del flujo. Es deseable también poder contar con la curva granulométrica del material en suspensión.

Estudio geomorfológico: Se requiere un estudio geomorfológico que permita definir características del cauce tales como presencia de meandros, canales múltiples o trezados, etc.

Con los antecedentes anteriores es posible realizar cálculos hidráulicos y de gasto sólido para el cauce, o tramo de cauce, en estudio, los que permitirán caracterizar parámetros del escurrimiento tales como altura y velocidad y tasas de sedimento transportado por el flujo.

Cálculos hidráulicos:

- Cálculo del coeficiente de rugosidad: En general, la ley friccional que se utiliza es la de Manning, cuyo parámetro conocido como "n" de Manning, puede determinarse a partir de los valores dados por V.T. Chow. Para cauces de granulometría gruesa puede estimarse considerando un tamaño característico de la coraza del lecho, mediante la relación de Strickler. Efectos tales como irregularidades de la sección, presencia de meandros, obstáculos, etc. pueden incorporarse utilizando la relación de Cowan si previamente se ha estimado un coeficiente de rugosidad base. Para cauces en los que la altura del escurrimiento es del orden del tamaño del sedimento del lecho, situación típica de los cauces cordilleranos, debe utilizarse una relación que considere este efecto, como por ejemplo, la relación de Limerinos. Para lechos de granulometría fina es necesario considerar el efecto de las formas de fondo mediante el uso de relaciones tales como las de Einstein-Barbarossa, Engelund, etc. En este último caso existe una fuerte dependencia entre el coeficiente de rugosidad y el caudal.

- Alturas y velocidades normales y críticas: Para la determinación de las condiciones normal y crítica deben conocerse las características geométricas de la sección (área, perímetro mojado, radio hidráulico y ancho superficial), las que se evalúan a partir de las secciones transversales del cauce obtenidas del levantamiento topográfico.

La condición de escurrimiento normal se calcula mediante la relación de Manning, considerando que la pendiente del plano de carga se iguala a la del fondo. La pendiente del fondo puede determinarse a partir del perfil longitudinal del cauce.

La condición crítica se determina imponiendo que el número de Froude del flujo sea igual a 1.

- Eje hidráulico y velocidades asociadas: Al no tenerse una situación de escurrimiento uniforme, debe calcularse el eje hidráulico a lo largo del cauce. Frecuentemente el cálculo se hace mediante el método estándar por pasos.

Cálculos de gasto sólido:

- Gasto sólido en suspensión: Esta variable puede inferirse a partir de estadísticas de concentraciones del sedimento en suspensión si se cuenta con ellas. Hay que tener presente que en este caso, el gasto sólido incluye tanto al material fino del lecho que el flujo es capaz de resuspender como al proveniente del lavado de la cuenca.

En caso de no contarse con estadísticas, debe calcularse separadamente la cantidad de material fino que puede aportar la cuenca y el material que proviene directamente del lecho. Para estimar la contribución de la cuenca, puede recurrirse a algún método indirecto que estime su productividad. Es necesario ser cauto en este caso y aplicar los métodos de cálculo para las condiciones en que han sido validados. Para el cálculo del aporte del gasto sólido en suspensión proveniente del material fino del lecho, puede utilizarse el método de Einstein o algún otro que permita estimar la variación de la concentración a través de la columna de agua. En este caso es necesario conocer la granulometría del lecho.

- Gasto sólido de fondo: En general, no existen mediciones de terreno de este antecedente y lo que más puede hacerse es estimarlo a partir de relaciones empíricas o semi-empíricas tales como la de Meyer-Peter y Müller para el caso de material de granulometría uniforme; la de Parker para granulometría gruesa y extendida, donde es necesario tomar en cuenta el efecto de acorazamiento del lecho; la de Engelund-Hansen para granulometrías finas, etc.

Con el objeto de estudiar la interacción entre la mecánica fluvial y el ecosistema acuático, la recopilación o determinación de los antecedentes antes indicados no bastan por sí solos, sino que deben correlacionarse con información de tipo biológico y ambiental. Esto requiere en primer lugar, tener registros de suficiente calidad para todas las variables que intervienen en el fenómeno, lo que demanda planificar y llevar a cabo campañas de obtención de datos en forma continua y sistemática. Sólo con toda esta información disponible, será posible llevar a cabo el estudio que permita establecer las interrelaciones buscadas.

Lo anterior constituye un programa de investigación y desarrollo de largo plazo, el que involucra la interacción de grupos interdisciplinarios de trabajo. Dicho programa demanda la voluntad de cooperación de distintas instituciones u organismos y un adecuado financiamiento.

4.4 PARÁMETROS BIÓTICOS

Existe la necesidad de lograr un buen manejo de los ríos, esto es utilizar en forma racional y planificada los caudales, para así evitar daños ecológicos que pueden ser irreversibles. Para ello es necesaria una comprensión de las relaciones íntimas, poco visibles del ecosistema, que permitan formular un buen diagnóstico sobre la calidad de las aguas para sus diferentes usos. Con este propósito se reunió información de las principales cuencas, desde la IV a la X región del país, en cuanto a hidrología, parámetros físico-químicos y biota acuática.

Se realizó una caracterización del hábitat de diferentes especies, lo cual serviría como indicador del grado de deterioro del cauce.

De especial importancia resulta la descripción de la biota acuática, la cual da una visión de la diversidad de especies que podrían estar presentes al conocer los distintos eslabones de la cadena trófica. Además, cabe destacar que muchas especies tienen requerimientos de hábitats muy restringidos y podría esto servir como primer indicador de disturbios del sistema.

Como ejemplo de organismos que sólo pueden subsistir en condiciones de vida específicas se puede nombrar al grupo de insectos Trichóptera cuya diversidad específica está relacionada con la presencia de carbonatos, pH, O.D. , temperatura, turbiedad y velocidad de la corriente.

Además de la información sobre la existencia de organismos indicadores, se deberá recopilar información sobre la calidad del recurso en general, como por ejemplo calidad físico-química de las aguas, grado de intervención, explotación de riberas y lecho, etc.; que permitan tener una visión general del estado del ecosistema.

4.4.1 Organismos bioindicadores seleccionados

El territorio nacional se dividió en cuatro grandes macrozonas biológicas: Zona Norte, Zona Centro-Norte, Zona Centro-Sur y Zona Sur; en cada una de las cuales se identificaron organismos indicadores que cumpliesen con las características mencionadas y que fuesen propios de cada zona.

Las zonas fueron definidas entre cuencas hidrográficas (ver Anexo E), tal como se indica a continuación:

	Desde	Hasta
N	Elqui	La Ligua
C-N	Aconcagua	Mataquito
C-S	Maule	Bío-Bío
S	Imperial	Bueno

En la tabla 4.8 se entregan los grupos de taxas que fueron seleccionadas como indicadores, en cada una de las macrozonas.

En base a la presencia de estos indicadores y a las apreciaciones ambientales generales que se hagan, se calificará la calidad del hábitat de acuerdo a la escala que se incluye a continuación:

1. Óptimo: que posee las mejores condiciones para ser habitado por la especie en cuestión, de tal modo que ésta abunda.
2. Bueno: Las condiciones existentes son aceptables. El número de individuos es considerable aunque no abundante.
3. Regular: El medio no tiene las características óptimas para la especie y ésta existe pero con una población baja.
4. Pobre o degradado: El hábitat está contaminado o sus características son tales que lo hacen inhabitable para la especie, pudiendo de vez en cuando encontrarse algún ejemplar en tránsito.
5. Degradación Severa: La contaminación es alta. La especie no existe.

TABLA 4.8: INDICADORES BIOLÓGICOS

ZONA NORTE	ZONA CENTRAL		ZONA SUR	TIPO INDICADOR
	NORTE	SUR		
Trichóptera Chilina Cryphiops caementarius Basilichthys Oncorhynchus mykiss Macrófitas	Trichóptera Physa Oncorhynchus mykiss Macrófitas	Aegla y/o Trichomycterus aerolatus Trichóptera Physa Oncorhynchus mykiss Macrófitas	Aegla Trichóptera Physa Oncorhynchus mykiss Macrófitas	Calidad Calidad Calidad Calidad y Volumen (h. v) Calidad y Volumen (h. v) Volumen (h. v) Calidad y C.E.

Notas: -C.E.: condiciones de escurrimiento
-Se eligió como indicador a *Oncorhynchus mykiss* (Trucha arcoiris), que a pesar de no ser una especie nativa es de gran abundancia y está inserto en el territorio nacional por largo tiempo.

4.4.2 Criterios de selección de puntos de muestreo o recopilación de información

En cada uno de los lugares escogidos se midieron parámetros físico-químicos, se definieron características hidrológicas y se determinó biota acuática. Para la selección de los puntos de muestreo se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- i) Orden jerárquico de los ríos, tomado esto de acuerdo con la información disponible en las cartas del Instituto Geográfico Militar (escala 1:50000).
- ii) Naturaleza del sustrato, el cual es importante en la presencia o no de pequeños peces y en la determinación de zonas de reproducción. En general los cauces elegidos presentan fondos pedregosos, con gravilla de alrededor de 5 cm de diámetro.
- iii) Accesibilidad para el monitoreo el cual debe ser bueno en la mayor parte del año.
- iv) Representatividad de la diversidad de estados de deterioro ambiental de los ríos.
- v) Condiciones morfológicas, hidrológicas y actividades que se realizan en las vecindades del cauce.
- vi) Disponibilidad de información en la literatura.

Las cuencas finalmente seleccionadas según los criterios antes mencionados fueron:

- IV REGIÓN : *Río Limarí, Río Elqui, Río Choapa*
- V REGIÓN : *Río La Ligua, Río Petorca, Río Aconcagua.*
- REGIÓN METROPOLITANA : *Río Maipo*

- VI REGIÓN : Río Rapel
- VII REGIÓN : Río Mataquito, Río Maule
- VIII REGIÓN : Río Itata, Río Bio-Bio
- IX REGIÓN : Río Imperial, Río Toltén
- X REGIÓN : Río Calle-Calle, Río Bueno, Río Maullín, Río Puelo.

4.4.3 Parámetros medidos y métodos utilizados

Todas las mediciones efectuadas en terreno, están sujetas al efecto de múltiples variables (por la heterogeneidad del hábitat), por esta razón cada uno de los parámetros controlados fueron registrados en duplicado.

a. Parámetros físico-químicos

- i) Temperatura del agua, medida con un termómetro protegido de mercurio.
- ii) pH, medido con pHmetro digital.
- iii) O.D., medido con método modificado de Winckler, adaptado a equipo portátil de Merck.
- iv) Conductividad eléctrica, medida con conductivímetro.
- v) Dureza, medida con equipo de terreno de determinación rápida con varillas indicadoras (Merckoquant). En caso que no se tuviera información de este parámetro, se reemplazó por turbiedad, medida en FTU, mediante espectrofotómetro.

b. Biota Acuática

b1. Bentos

Se colectó con red SURBER, de 900 cm² de marco base, sólo donde fue posible usarla dado que esta red opera eficientemente sobre un sustrato pedregoso y poca profundidad de agua (menos de 30 cm). La muestra de bentos se complementó mediante la observación y colecta de ejemplares bajo piedras, hojarascas y ramas sumergidas. Además se hizo un recorrido en busca de hábitat de peces. Las muestras fueron fijadas con una mezcla de formalina-alcohol al 10 % para ser posteriormente analizadas en laboratorio.

Este muestreo favorece el objetivo de enfatizar la diversidad existente, en desmedro de la cuantificación de las abundancias relativas.

b.2 Fauna íctica

La captura de peces se realizó mediante un chingullo con aro circular de 40 cm de diámetro y 1 mm² de apertura de malla y otro de aro elíptico con un diámetro mayor de 95 cm, diámetro menor de 50 cm y 1 mm² de apertura de malla.

La elección de estas artes de pesca se debió a la rapidez y facilidad de desplazamiento con un equipo sencillo para las condiciones de la campaña de terreno.

A los peces capturados menores de 10 cm de longitud total fueron sumergidos completamente en formalina al 10 %. A los peces de mayor tamaño se les inyectó formalina no diluida en la cavidad abdominal.

Un concepto útil es la captura por unidad de esfuerzo. Los pescadores saben que los peces ribereños no se distribuyen al azar si no que se concentran en ciertos microambientes que les son favorables. Por lo tanto, se definió un esfuerzo de pesca común para todos los sitios de muestreo que incluye:

- i) 30 minutos de búsqueda y captura en lugares de confluencia de pequeños esteros o caudales de río, por ser lugares protegidos con maleza y donde hay una mezcla de nutrientes.
- ii) 30 minutos de búsqueda en pozones a orillas del río, donde podrían encontrarse estados juveniles.
- iii) 30 minutos de búsqueda en zonas pedregosas y de escasa profundidad del río (< 30 cm), pero con corriente moderada. Se remueven piedras y bolones para hacer escapar bagres u otros peces escondidos.

En todos los sitios de muestreo se usó la metodología de observación visual (Power, 1992), la cual resultó adecuada en la mayoría de los sitios por tener aguas transparentes. Además se registró la hora del muestreo, porque la experiencia de pescadores indica que en ciertas horas del día como el amanecer y el atardecer se produce un desplazamiento de la línea de luz-sombra sobre el agua, situación que utilizan los peces para desplazarse en busca de alimento. También se utilizaron otras señales como por ejemplo la presencia y actividad de garzas en determinados lugares, indicando casi inequívocamente la presencia de peces.

En los pozones donde se encontró un gran número de estados juveniles, se estimó un orden de magnitud para la población observada, en lugar de realizar capturas y recuento detallado.

Se muestrearon las siguientes zonas:

IV región: Río Choapa en Chellepín

Río Choapa en Cuncumén

Río Choapa en Huentelauquén

V región: Río Aconcagua en Quillota

R.M. : Río Maipo en Maipo

Río Angostura frente a peaje

VI región: Río Cachapoal en Coya

VII región: Río Maule aguas abajo de Central Pehuenche

Río Claro en Buena Fe

Río Lircay en las Lajas

Río Perquilauquén antes de Río Catillo

VIII región: Río Diguillín en los Cipreses

Río Ñuble en Nahueltoro

En el Anexo D: "Antecedentes Bióticos", se incluyen los datos de estos muestreos conjuntamente con los datos obtenidos de publicaciones. Además, de los antecedentes de la biota acuática colectada u observada, se consignan los datos de los parámetros físicos y químicos controlados durante los muestreos. Adicionalmente se anexa la entrevista realizada a la Sra. Fresia Rojas sobre los insectos del orden Tricóptera, incluidos como indicadores de la calidad del hábitat.

5. ZONIFICACIÓN

En este capítulo, para la aplicación de criterios de caudales ecológicos, se trata tanto la zonificación climática, efectuada para todo el territorio incluido en el presente estudio tomando como base las cuatro grandes zonas biológicas que se detallaron en el Capítulo 4, así como la zonificación de cuencas y ríos. La elección de las cuencas analizadas se basó por un lado en la importancia de la cuenca (en cuanto al área que drenan) y a la información disponible. En general se escogieron estaciones ubicadas en la parte alta de los ríos, que corresponden a las zonas menos intervenidas y por tanto aquellas que interesa proteger con mayor vehemencia.

5.1 SISTEMAS CLIMÁTICOS EXISTENTES DENTRO DE CADA ZONA BIOLÓGICA

Para la evaluación de los caudales ecológicos se ha subdividido al país en cuatro macrozonas o sistemas que comprenden grandes zonas biológicas. Dentro de dichas unidades territoriales coexisten macroclimas cuyas características a grandes rasgos se entregan en los párrafos siguientes.

En general los sistemas adoptados organizan el territorio nacional según latitud y condiciones zonales, dividiendo transversalmente al país.

Dentro de la primera macrozona, que se ha identificado como Norte (N), coexisten dos sistemas climáticos de tendencia mediterránea: el Árido y el Semiárido. En la zona Centro-Norte (C-N) se tiene, en la mayor parte de su extensión, el sistema Semiárido. En la zona Centro-Sur (C-S) coexisten los sistemas Semiárido, Subhúmedo, Húmedo y Perhúmedo. Finalmente en la zona Sur (S) se tienen climas de tendencia Mediterránea (Sistema Perhúmedo) y climas de tendencia oceánica. Además se diferencia dentro de todos los sistemas climáticos el territorio Andino.

En el Anexo E se incluyen figuras en las que se identifican gráficamente las subdivisiones adoptadas para las macrozonas biológicas y los sistemas climáticos.

Como punto de partida para efectuar la división del país en zonas climáticas homogéneas se adoptó la división realizada en el estudio "Plan Nacional para Combatir la Desertificación" (U. de Chile, 1994). Éste basó la subdivisión en la longitud de la estación seca. Se dejaron de lado todas las divisiones y subdivisiones administrativas del territorio, así como también los límites de las cuencas hidrográficas. La zona comprendida por dicho estudio fue de la I a IX región. La zonificación obtenida se comparó con la realizada por Rapoport (1968) en todo el territorio nacional.

Finalmente para definir la extensión de cada zona, adaptada a los objetivos específicos del presente estudio, se consideraron los límites de las cuencas hidrográficas.

Como criterio para clasificar los sistemas climáticos se tomó la longitud de la estación seca y según ésta se definieron siete sistemas que se muestran en la tabla 5.1.

TABLA 5.1: CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS SEGÚN LA LONGITUD DE LA ESTACIÓN SECA

Régimen	Longitud de Estación Seca [meses]
Desértico	12 *
Sub-Desértico	11 *
Árido	9-10
Semiárido	7-8
Sub-Húmedo	5-6
Húmedo	3-4
Per-Húmedo	1-2

* El área de estudio no incluye estos sistemas.

5.1.1 Climas de Tendencia Mediterránea

Se extiende entre los 25° y 40° latitud sur. Para el estudio interesa esta zona a partir de los 29° de latitud, aproximadamente.

Sus principales características son la presencia de lluvias regulares en invierno, aunque suelen ser insuficientes, y un período variable de sequía en verano. Esta zona se degrada al norte por el desierto y al sur en el bosque valdiviano, es de una extensión bastante homogénea desde el punto de vista térmico; además posee todos los grados de aridez, desde 12 meses hasta sólo 1 mes de sequía.

El bioclima marítimo, debido a la influencia oceánica presenta diferencias térmicas menores, con mínimas mayores y máximas menores.

El bioclima de montaña es más lluvioso, pero presenta una humedad relativa más baja en relación a la zona interior con diferencias térmicas acentuadas, donde se observan mínimas inferiores.

A. Sistema Árido

Corresponde a la zona del territorio nacional comprendida aproximadamente entre los 26° y 32° latitud sur, es decir, desde la línea divisoria norte de la cuenca del río Copiapó hasta la divisoria norte de la cuenca del río Aconcagua. Se desarrolla al oeste de la Cordillera Volcánica a menor altitud que el sistema altiplánico que se da más al norte del país.

Dentro de este sistema quedan comprendidas las siguientes regiones, que competen al estudio: IV (oeste de la Cuenca del Río Elqui, Cuenca del Río Limarí a excepción de la subcuenca de Río Grande, Cuenca del Río Choapa a excepción subcuenca de Estero La Canela) y V (Cuenca

del Río Petorca).

Las precipitaciones varían de norte a sur entre 50 y 250 mm al año, concentrándose en invierno; además se presenta un aumento de esta en sentido de oeste a este.

La cantidad de agua existente en la zona se ve disminuida por las altas temperaturas y la radiación, lo que da un déficit de humedad durante todo el año, esto da como consecuencia la existencia de vegetación estacional en el extremo norte y permanente en el sur.

En el sector costero se aprecian relieves entre 600 a 700 m.s.n.m., en cambio la Cordillera de los Andes se presenta alta y maciza, lo que posibilita el descenso de masas de aire cálidas y secas con fuertes vientos en invierno. Entre ambas cordilleras existen valles a lo largo de todo el sistema.

Valores promedios para el sistema:

- Precipitación media anual : 133 mm, de los cuales se estima que se evaporan aproximadamente 126 mm y sólo el 5% escurre superficialmente.
- Radiación : 130 Kcal/cm²/año, en La Serena.
220 Kcal/cm²/año, en la cuenca alta del Copiapó.

B. Sistema Semiárido

Este sistema es dominante entre los paralelos 32° y 35° de latitud sur, entre las cuencas de los ríos Aconcagua por el norte y la parte norte de la cuenca del río Maule por el sur.

Se incluyen dentro de este sistemas las siguientes cuencas, consideradas en el presente estudio:

- IV región: este de la Cuenca del Río Elqui; subcuenca Río Grande en la Cuenca del Río Limarí y subcuenca Estero La Canela en la Cuenca del Río Choapa.
- V región: Cuenca del río Aconcagua a excepción de Subcuenca Río Colorado (zona cordillerana).
- RM: Cuenca del Río Maipo a excepción subcuenca de Ríos Maipo y Colorado en zona cordillerana.
- VI región: Cuenca del Río Rapel a excepción subcuenca de Río Cortaderal en zona cordillerana.
- VII región: Cuenca del Río Mataquito a excepción de zona cordillerana y Subcuenca del Río Claro en la Cuenca del Río Maule.

El comportamiento pluviométrico de este sistema se ejemplifica por los montos medios anuales de precipitaciones que oscilan entre aproximadamente 300 mm en la ciudad de Los Andes, en la parte norte del sistema, hasta alrededor de 1000 mm en Chillán, en el extremo sur.

El clima de este sistema corresponde al mediterráneo, que presenta períodos de sequía en alternancia con intensas lluvias.

Térmicamente se puede mencionar que los gradientes varían entre $-0.68^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ en la cordillera Central Aconcagua-Maipo y $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ en la cordillera del río Itata. En la zona costera se ven menores amplitudes térmicas debido a la presencia del océano.

En el interior del sistema se aprecia una alta variabilidad climática, particularmente significativa en el caso de las precipitaciones, que presenta períodos de sequía y otros excesos de lluvia, lo que constituye una problemática ambiental debido a inundaciones, desbordes de ríos y aluviones.

Los valores obtenidos para la radiación son, $120\text{ Kcal}/\text{cm}^2/\text{año}$ en la costa y $170\text{ Kcal}/\text{cm}^2/\text{año}$ en la alta cordillera al NE de Santiago.

C. Sistema Subhúmedo y Húmedo

Ambos sistemas dominan entre los paralelos 35° y 38° de latitud sur. Se extienden desde el sur de la Subcuenca del Río Claro en la Cuenca del Río Maule, hasta el oeste de la Cuenca del Río Bío-Bío. En general domina el sistema Subhúmedo en la parte oeste y el Húmedo en la parte este. Dentro de la región abarcada por estos sistemas se incluyen las siguientes cuencas:

VII región: Cuenca del Río Maule a excepción Subcuenca Río Claro

VIII región: Cuenca del Río Itata y Cuenca del Río Bío-Bío a excepción de la parte cordillerana.

Se caracterizan por tener un período húmedo sensiblemente más largo que el árido y régimen de precipitaciones invernales. La temperatura media no supera los 10°C .

D. Sistema Perhúmedo

Este sistema es dominante entre los paralelos 38 y 39° de latitud Sur, en la Cuenca del Río Imperial y la parte cordillerana de la Cuenca del Río Bío-Bío.

Se caracteriza por la existencia de un corto período árido en verano. Posee 1-2 meses semi-áridos en años más secos.

En el período de invierno las temperaturas no superan los 10°C , esto es durante 4-5 meses en la parte central y 0-3 meses en la parte costera. En la faja pre-andina se tiene largos inviernos de aproximadamente 7 meses.

La pluviosidad media varía entre 1100 en la faja costera a 2000 en los territorios preandinos. La humedad relativa varía entre 75 y 85 %.

Según todos los valores de esta zona se observa la constancia térmica de la zona mediterránea de Chile: por ejemplo; el promedio de las mínimas en la costa de esta región es sensiblemente igual al de la costa semi-árida; igualmente, las mínimas en Temuco son casi las mismas que las del valle longitudinal de la región semi-árida.

5.1.2 Climas de Tendencia Oceánica

Aquí se incluye todo el territorio austral de Chile, desde el sur de la zona mediterránea hasta la Patagonia, la tierra del fuego, isla Navarino y el Cabo de Hornos. Se distinguen en la parte continental, que compete a esta investigación las cuencas del Río Toltén en la IX región y las cuencas de los ríos Calle Calle, Bueno, Maullín y Puelo en la X Región.

Las lluvias están repartidas generalmente sobre todos los meses, la sequía de la banda oriental es debido a un decrecimiento regular de la pluviosidad a lo largo de todo el año por el efecto de la cadena andina que actúa como una pantalla sobre las infiltraciones oceánicas. Sin embargo la dominancia del clima oceánico en la región trasandina chilena es indiscutible.

Se aprecia una importancia decreciente de la aridez, excepto parcialmente frente a las estepas fueguinas y patagónicas, reemplazado por otros factores de limitación que aumentan hacia el sur, como el frío, los vientos y lo difícil del drenaje.

En esta zona tenemos las regiones oceánicas: de influencia mediterránea, temperada fría, sub-antártica y trasandina. Para los límites que competen al estudio interesa sólo la región oceánica de influencia mediterránea.

La Región Oceánica de Influencia Mediterránea, comienza en la parte sur de la provincia de Cautín y termina al sur de la isla de Chiloé, su pluviosidad decrece netamente en verano con 3-4 meses sub-húmedos y condiciones de aridez en los años de sequía, por lo tanto se dice que tiene influencia mediterránea. Posee un período temperado-frío que dura entre 4-6 meses con temperaturas medias superiores a los 5°C, por consiguiente no hay condiciones microtérmicas. La pluviosidad media, en esta región, varía entre 2000 y 2500 mm anuales con temperaturas medias entre 6.9°C la mínima y 14.2°C la máxima; la pequeña amplitud de las temperaturas máximas y mínimas hace resaltar las tendencias oceánicas, ya que estos valores son superiores a los de la región anterior (mediterránea per-húmeda).

5.1.3 Territorio Andino

Además de las tendencias y sistemas descritos, debido a las características del relieve del país, se debe diferenciar de todos ellos a la Cordillera de los Andes. En la zona andina existe un clima de marcadas tendencias continentales. En nuestro país no existe un clima verdaderamente continental, debido a su estrechez, que acerca mar y cordillera, sin embargo se ven marcadas influencias continentales en el territorio central al este de la cordillera de la costa, en la zona trasandina austral y, sobre todo, en la Cordillera de los Andes.

La región andina encierra a todos los Andes chilenos. Hacia el sur, esta región, está interrumpida porque la cordillera desciende frecuentemente a alturas accesibles por las formaciones forestales, pero se extiende igualmente en forma discontinua hasta el extremo meridional del continente.

No se pueden dar promedios sobre el clima de esta región debido a su extensión, pero podemos dar algunas características generales:

- Gran amplitud térmica de una estación a otra y de la mañana a la noche
- Temperatura medias mínimas menores a 0°C
- Humedad relativa muy baja
- Pluviosidad mayor que en la llanura

5.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS RÉGIMENES HIDROLÓGICOS Y ZONIFICACIÓN POR TRAMOS

Con el fin de desarrollar la metodología de evaluación de caudales mínimos ecológicos, en los ríos de la IV a la X región, se deberá reconocer, en cada uno de los ríos en que se aplique ésta, tanto el régimen hidrológico imperante como el tipo de tramo.

En la tabla 5.2 se resumen los regímenes hidrológicos en algunos ríos considerados en el presente estudio.

Según el grado de intervención, los tramos se han definido, como naturales e intervenidos.

A. Tramos Naturales

Se entenderá como tramo natural a cualquier tramo de río en el que no exista una regulación artificial importante y/o en el que las extracciones sean inferiores al 20% del Caudal Medio Anual. Se identificarán como "TN".

B. Tramos Intervenidos

Serán todos aquellos no contemplados en la clasificación de tramos naturales. Se subdividirán, según el grado de intervención, en:

- i) Tramos poco intervenidos: todos aquellos en los que no existan obras de regulación artificial importantes y en los que las extracciones sean mayores o iguales al 20% del Caudal Medio Anual, no superando el 40%. Se identificarán como "I.1".
- ii) Tramos medianamente intervenidos: aquellos en los que existan obras de regulación que causen un efecto moderado sobre el régimen hidrológico y/o en los que las extracciones sean mayores o iguales al 40% del Caudal Medio Anual, no superando el 60%. Se identificarán como "I.2".
- iii) Tramos muy intervenidos: aquellos en los que existan obras de regulación importantes que provocan un gran efecto sobre el régimen hidrológico natural y/o aquellos en los que las extracciones superen el 60% del Caudal Medio Anual. Se identificarán como "I.3".

TABLA 5.2: REGÍMENES HIDROLÓGICOS

REGIÓN	CUENCA	RÍO	RÉGIMEN	OBSERVACIONES
IV	ELQUI	ELQUI TURBIO	NIVO-PLUVIAL NIVO-PLUVIAL	INTERVENIDO INTERVENIDO
IV	LIMARÍ	LIMARÍ GRANDE	PLUVIO-NIVAL NIVO-PLUVIAL	INTERVENIDO INTERVENIDO
IV	CHOAPA	CHOAPA	NIVO-PLUVIAL	INTERVENIDO
V	LA LIGUA	LA LIGUA ALICAHUE	PLUVIO-NIVAL PLUVIO-NIVAL	INTERVENIDO INTERVENIDO
V	ACONCAGUA	ACONCAGUA	NIVO-PLUVIAL	INTERVENIDO
RM	MAIPO	MAIPO ALTO MAIPO BAJO MAPOCHO	NIVO-PLUVIAL PLUVIO-NIVAL NIVO-PLUVIAL	INTERVENIDO INTERVENIDO INTERVENIDO
VI	RAPEL	RAPEL CLARO TÍNGUIRIRICA	MIXTO PLUVIO-NIVAL NIVO-PLUVIAL	INTERVENIDO INTERVENIDO INTERVENIDO
VII	MATAQUITO	MATAQUITO TENÓ	PLUVIO-NIVAL NIVO-PLUVIAL	INTERVENIDO INTERVENIDO
VII	MAULE	MAULE PERQUILAUQUÉN PURAPEL LIRCAY	NIVO-PLUVIAL PLUVIAL PLUVIAL PLUVIAL	INTERVENIDO INTERVENIDO INTERVENIDO INTERVENIDO
VIII	ITATA	ITATA CHILLÁN	PLUVIO-NIVAL PLUVIO-NIVAL	INTERVENIDO INTERVENIDO
VIII	BÍO-BÍO	BÍO-BÍO MULCHÉN CARAMAVIDA	PLUVIO-NIVAL PLUVIAL PLUVIAL	INTERVENIDO
IX	IMPERIAL	IMPERIAL PURÉN QUINO CAUTÍN	PLUVIAL PLUVIAL PLUVIAL PLUVIO-NIVAL	INTERVENIDO INTERVENIDO INTERVENIDO INTERVENIDO
IX	TOLTÉN	TOLTÉN ALLIPÉN	PLUVIAL PLUVIO-NIVAL	REGULACIÓN NATURAL
X	CALLE-CALLE	CALLE-CALLE CRUCES	PLUVIAL PLUVIAL	REGULACIÓN NATURAL
X	BUENO	BUENO PILMAIQUÉN	PLUVIAL PLUVIAL	REGULACIÓN NATURAL REGULACIÓN NATURAL

NOTAS: INTERVENIDO POR OBRAS DE REGULACIÓN O EXTRCCIONES
REGULACIÓN NATURAL DE LAGOS

Además, se distinguirán los tramos según los vertidos que reciban en:

- I.. Sin vertidos significativos: aquellos cuyos vertidos sean inferiores al $0.2\bar{Q}_{\text{anual}}$. Se identificarán como "V.1".
- II. Con vertidos medianamente significativos: aquellos cuyos vertidos estén entre $0.2\bar{Q}_{\text{anual}}$ y $0.4\bar{Q}_{\text{anual}}$. Se identificarán como "V.2".

III. Con vertidos muy significativos: aquellos cuyos vertidos sean superiores a $0.4\bar{Q}_{\text{anual}}$. Se identificarán como "V.3".

En la Tabla 5.3 se identifican, a modo de ejemplo, los tipos de tramos de río, para algunas de las cuencas comprendidas dentro del área de estudio. La identificación se basó en el juicio de expertos y no en un análisis detallado de las extracciones y descargas existentes, por lo que la clasificación es válida sólo como referencia.

TABLA 5.3: CLASIFICACIÓN DE TRAMOS DE RÍO

Río Choapa	-aguas arriba de Cuncumén -entre Cuncumén y confluencia con el río Illapel -entre influencia con Illapel y Desembocadura	TN; V.1 I.3; V.2 I.2; V.2
Río Illapel	-aguas arriba de las Burras -entre Las Burras y confluencia con Choapa	TN; V.1 I.3; V.2
Río Yeso (hoya Maipo)	-aguas arriba Embalse El Yeso -entre Embalse y confluencia Maipo	TN; V.1 I.3; V.1
Río Maipo	-hasta BT Maipo central Queltehues -entre BT Maipo central Queltehues y confluencia con Yeso -entre confluencia con Yeso y confluencia con Colorado -entre Colorado y BT Canal San Carlos -entre BT San Carlos y río Mapocho -entre confluencia Mapocho y Desembocadura	TN; V.1 I.3; V.1 I.2; V.2 I.2; V.1 I.3; V.3 I.2; V.2
Río Mapocho	-desde confluencia Molina y San Fco. hasta confluencia río Maipo	I.3; V.3
Río Cautín	-aguas arriba de Rari-Ruca -entre Rari-Ruca y Cajón -entre Cajón y Almagro	TN; V.1 I.2; V.2 I.2; V.3
Río Imperial	-entre Almagro y Desembocadura	I.2; V.2
Río Chol-Chol		I.3; V.1

6. ELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS O HERRAMIENTAS ADECUADAS PARA LA EVALUACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS

Cada decisión sobre la administración del agua que incluya caudales mínimos para protección ecológica, ofrece un desafío único. Cada decisión relativa a caudales ecológicos puede incluir permisos municipales especiales para algunas actividades, calendario de operaciones de los recursos almacenados en que se considere el uso ecológico, derechos de agua establecidos para caudales mínimos, o algún otro elemento a considerar dentro de un plan global de administración del agua (Stalnaker et al., 1995). No importa cual sea la decisión que se esté considerando, cada una requiere del entendimiento de varios factores antes de escoger una técnica de evaluación para caudales ecológicos. Se debe considerar, por ejemplo, los cuerpos legales existentes, el uso de las aguas, los recursos fiscales disponibles para la evaluación, así como el tiempo en el cual sea necesario entregar una respuesta. Todos los factores engrandecen el desafío de seleccionar una técnica adecuada para guiar el establecimiento de caudales ecológicos de protección. En la actualidad, los analistas deciden el uso de una técnica específica tanto porque se ajusta a los problemas políticos y ecológicos que se enfrentan como porque la tecnología se ajusta a los estándares científicos (Lamb, 1986; citado por Stalnaker et al, 1995).

Los problemas políticos y de medio ambiente, han sido abordados desde dos grandes puntos de vistas que se pueden dividir en dos categorías dependiendo del objetivo que se tenga en el proceso de toma de decisiones:

1. Establecimiento Estándar, en el cual se proponen caudales ecológicos en forma general, y usualmente en casos en que las decisiones a tomar no involucran grandes impactos sobre el medio ambiente. Se establece, de este modo, un límite por debajo del cual el agua no puede ser desviada de los cursos naturales (Trihey and Stalnaker, 1985). A este proceso se podría denominar Planificación Preliminar.
2. Establecimiento con base en caudales incrementales, este procedimiento se aconseja para negociaciones específicas en proyectos de alto impacto y envergadura. El término incremental implica responder a la siguiente pregunta: ¿qué sucede a la variable de interés (por ejemplo, hábitat acuático, valor recreacional, etc.) cuando el caudal cambia?.

En lugar de ver estas categorías como puntos totalmente aislados, sería apropiado considerarlas en un rango continuo, de modo de establecer inicialmente estándares de planificación, que son el objetivo de este trabajo, para en el futuro desarrollar técnicas incrementales cuyos estudios debieran concebirse conjuntamente con el inicio de los estudios de factibilidad de todas las obras civiles de gran envergadura que se proyecten.

Una segunda pregunta importante ya sea que se apliquen técnicas estándares o incrementales es ¿cuántas variables son importantes para considerar en el establecimiento de caudales mínimos?. La respuesta puede ser tan simple como decir que el objetivo es proteger un determinado pez o la preservación de objetivos turístico-recreacionales; o que persiga establecer un caudal que satisfaga las necesidades de múltiples variables (vida en las riberas, hábitat para peces, vida acuática en general, valor

escénico, etc.). En el caso específico de la presente investigación el objetivo es el establecimiento primera instancia de caudales ecológicos destinados a preservar la biota existente.

Ya sea que se aplique la categoría estándar o incremental, es necesario el análisis científico, pues las respuestas deben ser confiables y se requiere en ambos casos el juicio de expertos. Las técnicas estándares son inapropiadas para casos que se pueden resolver a través de varias alternativas de aprovechamiento de una cuenca; en otras palabras el estándar que ha sido establecido es por definición no negociable. Estas técnicas podrían ser apropiadas para decisiones de arbitraje inmediato donde no exista información suficiente para una evaluación detallada. Las técnicas estándares tienen la ventaja de ser directas, simples y de bajo costo. Por el contrario las técnicas incrementales requieren de un profundo conocimiento de los requerimientos de flujos para peces y vida acuática en general, de calidad de las aguas, de uso de éstas y muchas otras variables, además de la capacidad de integrar estos conceptos dentro de los planes de un proyecto específico.

Para el establecimiento de una técnica estándar de determinación de caudales ecológicos, se debieran considerar los siguientes elementos (Beecher, 1990; citado por Stalnaker et al, 1995):

- i) El objetivo (por ejemplo, la no degradación).
- ii) Los recursos existentes (por ejemplo, especies de peces).
- iii) Unidades de dimensionamiento (por ejemplo, caudal en m^3/s o hábitat en peso por unidad de área utilizable).
- iv) Estadísticas hidrológicas, si el método las requiere.
- v) Estadísticas de hábitat, si existen.

Como se mencionó en capítulos anteriores, de las muchas técnicas estándares desarrolladas las más simples de aplicar son las que requieren el tratamiento de estadísticas hidrológicas. El uso de datos estadísticos de fluvimetria supone que los caudales obtenidos (que hayan sido dimensionados a niveles aceptables) son capaces de sostener los recursos acuáticos (Wesche and Rechar, 1980; citado por Stalnaker et al, 1995). En todo caso la selección de caudales ecológicos obtenidos de estadísticas históricas, en cauces en los que existen obras de intervención, es una técnica limitada de planificación a largo plazo.

Al usar estadísticas históricas para definir caudales se deben responder varias preguntas:

- a. ¿es mejor recomendar un caudal basado en condiciones naturales o alteradas?
- b. ¿qué porcentaje del caudal medio histórico debiera recomendarse?

Una técnica hidrológica inapropiada para establecer caudales ecológicos es la del 7Q10 (caudal mínimo en 7 días con período de retorno de 10 años), esta técnica fue desarrollada para asegurar la calidad de las aguas en las plantas de tratamiento durante los períodos de sequía (Velz, 1984; citado por Stalnaker et al, 1995). Esta técnica establece un caudal muy bajo de cierta calidad que no debe ser disminuida por las aguas que se descarguen en el curso, por lo que requiere un alto nivel de tratamiento de todos los afluentes; no se mencionan los requerimientos de agua para peces.

Finalmente se puede concluir que las técnicas simples, tipo receta, son útiles en el desarrollo de recomendaciones de planificación de gran alcance o generales, aún cuando ellas podrían ser criticadas por razones técnicas (Kulik, 1990; citado por Stalnaker et al, 1995). La mayoría de estas

técnicas están enfocadas a la preservación de recursos pesqueros, debido a su influencia en la economía.

6.1 METODOLOGÍA PROPUESTA

Para decidir la técnica a aplicar en cada caso, como medida relativamente inmediata y sólo en cauces en que no existan o se proyecten obras de aprovechamiento de importancia, se propone la utilización del macrozoobentos como indicador del estado de salud del hábitat considerando conjuntamente la existencia de peces y evaluaciones generales del estado del hábitat.

Con este fin se propone utilizar la escala de calificación de sanidad del hábitat, entregada en el capítulo 4 (punto 4.4), basada en la presencia de organismos indicadores, en su mayoría pertenecientes al macrozoobentos.

Se obtendrán los caudales ecológicos con las técnicas y legislaciones más usadas y que sean aplicables en forma simple de acuerdo a la discusión expuesta en el Capítulo 3 (punto 3.2.5). De acuerdo a la evaluación de la calidad del hábitat se optará por los criterios más conservadores, si éste ha sido bien calificado o por el contrario se optará por criterios más restrictivos del caudal si los resultados de la evaluación han sido negativos.

Una vez obtenido el caudal ecológico, los caudales mínimos en cada subdivisión política de un río o en cada uno de los tramos considerados se pueden obtener a través de un índice de caudal mínimo, dado por:

$$I_{Qmín} = \frac{Q_{ec}}{A_{\text{subcuenca analizada}}}$$

De este modo se conocerá en forma directa el caudal ecológico en primera instancia que se debe conservar en el río. La aplicación del índice de caudal mínimo es válida en zonas que posean las mismas características ambientales, en el sentido que los hábitat sean calificados dentro de los mismos órdenes (entendiéndose de buena o mala calidad), puesto que el método escogido será distinto en tramos degradados que en tramos no degradados.

Para aquellas zonas o tramos en los que no se cuente con la información hidrológica necesaria para la obtención de los caudales se deberá recurrir a métodos de transferencia de datos desde zonas similares, rigiéndose por los métodos estándares existentes para el manejo de estadísticas.

6.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LAS ZONAS ANALIZADAS

A continuación se realiza la descripción de aspectos ambientales generales en cada una de las zonas que competen a la presente investigación. Se realiza en primer lugar una descripción general en cada una de las regiones involucradas incluyendo un análisis específico de los ríos o estaciones

consideradas en el estudio ya sea por su importancia y/o por la existencia de información.

6.2.1 Cuarta Región

Se ubica entre los 29° y 32° latitud sur, en esta región se observa la presencia del sistema árido y semiárido, se caracteriza por presentar un régimen de precipitaciones invernales.

En esta región se miden precipitaciones medias anuales entre 50 y 280 mm, aumentando hacia el sur; la mayor parte de las aguas caídas se pierde por evaporación y por evapotranspiración. Presenta temperaturas medias entre 13,7 y 18,8° y un gradiente de temperatura del orden de -0.67°C/100 m, a partir de los 1000 m.s.n.m..

Se analizaron las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa. En primera instancia se estudiaron aquellos parámetros considerados de vital importancia para la preservación de la biota acuática (caudal, conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura). Los análisis se enfocaron a encontrar relaciones entre los diversos parámetros de calidad seleccionados y el caudal, de tal manera que se pudiesen reconocer aquellos parámetros que resultaran limitantes para el caudal. Asimismo se buscaron las variaciones estacionales de los parámetros.

Se utilizaron las estadísticas de calidad existentes en la estación Turbio en Varillar de la Cuenca del Río Elqui y la estación Grande en las Ramadas en la Cuenca del Río Limarí.

Con respecto a las variaciones estacionales, no se detectó ninguna tendencia en el pH; la conductividad sólo fue modelable para el río Elqui en el cual se registró un aumento de ésta en la época de otoño-invierno. Tal como se esperaba el oxígeno y la temperatura presentaron tendencias estacionales claras, siendo el primero más elevado en los meses de bajas temperaturas (otoño-invierno).

Cabe hacer notar que las tendencias estacionales se obtuvieron con las estadísticas de calidad existentes, que se realizan en horarios arbitrarios por lo que fue imposible obtener valores medios diarios o mensuales y se trabajó directamente con los valores instantáneos medidos. Debido a esto las tendencias obtenidas son meramente referenciales, lo que es válido para todas las estadísticas utilizadas en la presente investigación.

Para el análisis de las tendencias de variación de los parámetros con respecto al caudal, se utilizaron las estadísticas de calidad instantáneas existentes en la DGA y los valores del caudal medio diario en el día de medición, puesto que en dichas estadísticas no se registraba el valor del caudal medido en el momento en el que se tomaron los datos (válido para todas las estadísticas utilizadas en el presente estudio).

Gran parte de las estadísticas registradas fue tomada en días de caudales medios bajos y sólo unas pocas para caudales mayores, por lo que se cuenta con una nube de valores para los caudales bajos y algunos valores puntuales para los altos. El pH presentó un rango de variación de 6,7 a 8,8 sin registrarse tendencias con respecto al caudal. Ni el oxígeno, ni la temperatura presentaron una tendencia de variación con respecto al caudal, además los datos existentes de estos parámetros no

eran suficientes (en al menos una de las estaciones analizadas) como para asignarles una tendencia. Con respecto a la conductividad, se registra una tendencia más o menos clara en la cual el caudal cobra una gran importancia en el rango de caudales bajos (entre 0 y 20 m³/s), para los cuales, a pesar de que existen rangos amplios de variación para caudales similares, es clara la disminución de la conductividad en la medida en que estos aumentan. Para el rango de caudales mayores, pese a que los datos registrados no son suficientes parece lógico pensar que la conductividad tiende a un valor constante.

En los anexos F Y G se incluyen los gráficos de tendencia de los parámetros versus el caudal y de la variación estacional de éstos, para cada una de las estaciones analizadas en cada región.

En la tabla 6.1 se presentan los rangos mínimos y máximos de los parámetros de calidad físico-química seleccionados, medidos en cada una de las cuencas consideradas, de acuerdo a los antecedentes consignados en el Capítulo 4 (punto 4.2); así como los rangos de variación en las estaciones específicas que fueron analizadas.

Según se aprecia de la tabla, los valores mínimos registrados del oxígeno disuelto están por sobre los límites recomendados por Davis para la preservación de la biota, a excepción del valor mínimo registrado en la Cuenca del Limarí, que está un punto por debajo del mínimo recomendado, de acuerdo a su temperatura ($t=7^{\circ}\text{C} \Rightarrow \text{O.D.}_{\text{min}}=5.6$). En cuanto al pH, los valores mínimos y máximos registrados resultan adecuados para la vida de los peces, según los rangos detallados en el Capítulo 4 (punto 4.2).

De los antecedentes de calidad bacteriológica recopilados se califica la calidad del Río Elqui como regular para su uso como fuente de agua potable y apta o buena para otros usos.

Los datos de indicadores biológicos, tomados en el río Choapa, indican que en la parte rítrónica el hábitat puede calificarse como de buena calidad. Se tomaron muestras en tres estaciones: en la localidad de Chellepín (aguas abajo de Cuncumén) y dos muestreos en Cuncumén, se encontraron ocho tipos de organismos pertenecientes al macrozoobentos, entre ellos *Trichoptera* indicador de calidad; además se constató la presencia de macrófitas, indicadoras de calidad y de condiciones de escurrimiento; no se observaron peces. En la parte baja del río (localidad de Huentelauquén, desembocadura) la velocidad del viento aumenta en la medida que las aguas varían de transparentes a turbias, en la tarde se observó la presencia de muchos peces pequeños, provenientes del mar y, un total de seis organismos del macrozoobentos. Se realizó además un muestreo aguas abajo de la junta del río Illapel con el Choapa, dicha zona, en la época del muestreo (Enero), se conformaba por pozones con una pequeña corriente interna imperceptible desde la superficie, las aguas tenían oxígeno a saturación y se encontraron 12 organismos distintos en el macrozoobentos (también se observó *Trichopteras*), además existían macrófitas y mudas de camarón (*Cryphiops caementarius*). Se calificó la calidad del hábitat en toda la extensión del río Choapa como "Buena".

TABLA 6.1: RANGOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD. IV REGIÓN

CUENCA	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
ELQUI	6.9	11.1	5.0	24.0	4.80	8.20	110	1600	49.9	759.6
LIMARÍ	4.7	12.0	7.0	15.5	7.20	8.40	156	170	73.3	288.5
CHOAPA	8.0	11.4	8.0	17.0	6.40	8.10	128	1115	48.0	447.5
ESTACIÓN	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
Turbio en Varillar (Elqui)	7.1	10.9	5.0	23.0	6.85	8.50	320	913	-	-
Grande en las Ramadas (Limarí)	6.1	10.2	9.5	21.0	6.73	8.75	105	390	-	-

6.2.2 Quinta Región

En ella alcanza a estar presente una pequeña parte del sistema árido y el resto es el sistema semiárido, su ubicación es entre los 32° y 33° latitud sur, presenta un régimen de precipitaciones invernales, con ríos de régimen principalmente pluvial en las cuencas costeras, régimen nival en las cuencas cordilleranas y de régimen mixto, principalmente nival, en las cuencas que nacen en la cordillera de Los Andes.

La precipitaciones medias anuales registradas en las distintas estaciones pluviométricas de la región cubren el rango de 183 a 1114 mm/año. La mayor parte de ésta se pierde por evaporación y evapotranspiración. A partir de los 1500 m.s.n.m. el gradiente de temperatura es de $-0.68^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Dentro de esta región se consideraron para el análisis de los parámetros anteriormente mencionados las cuencas de los ríos Petorca y Aconcagua, con las estaciones de muestreo permanente de la calidad de las aguas de los ríos Sobrante en Piñadero y Aconcagua en Chacabuquito.

No hay variaciones estacionales claras, salvo para la temperatura y el oxígeno que se comportan en la forma esperada.

Con respecto a las variaciones con el caudal, para el oxígeno, pH y temperatura se registran rangos de variación para cada rango de caudales sin apreciarse tendencias en la medida que estos aumentan. Para la conductividad se mantiene la tendencia descrita para la IV región, apreciándose una clara influencia del caudal para magnitudes bajas de éste.

En la tabla 6.2 se presentan los valores mínimos y máximos de los parámetros de calidad considerados en el estudio, para las cuencas y estaciones específicas utilizadas.

TABLA 6.2: RANGOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD. V REGIÓN

CUENCA	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
LA LIGUA	9.3	11.4	8.6	16.0	6.45	7.40	224	825	98.5	357.0
PETORCA	11.2	12.8	8.0	18.0	7.50	7.75	140	490	58.2	222.7
ACONCAGUA	7.1	12.8	5.0	16.0	7.25	8.10	245	720	111.9	332.6
ESTACIÓN	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
SOBRANTE EN PIÑADERO (PETORCA)	8.4	12.1	4.0	21.0	7.10	8.25	96	418	-	-
ACONCAGUA en Chacabuquito (ACONCAGUA)	7.7	12.4	3.0	16.0	7.3	8.45	180	508	-	-

Los niveles de oxígeno mínimo están por sobre los niveles límites recomendados por Davis, en todas las cuencas y estaciones analizadas, tal como se observa en la tabla anterior; incluso los valores superan los mínimos recomendados para los salmonídeos, que son los más exigentes de acuerdo a la clasificación de requerimientos de Davis.

En cuanto a datos biológicos, se realizó un muestreo en el río Aconcagua en la localidad de Quillota, en el cual se colectaron los siguientes organismos: *Odonata*, *Plecoptera*, *Trichoptera* y *Physa sp.* De acuerdo a la zonificación biológica, el río Aconcagua corresponde a la zona Centro-Norte y en el se muestrearon dos organismos, de los tres seleccionados como indicadores de la zona, ambos organismos (*Trichoptera* y *Physa sp.*) indicadores de calidad. No se observó la presencia de peces y se definió el tramo como Estación Potamónica de Regular Calidad.

6.2.3 Región Metropolitana

La Región Metropolitana se ubica entre los 33° y 34° latitud sur, en ella coexisten el sistema

semiárido y el sistema sub-húmedo, en una pequeña porción del territorio; la región presenta un régimen de precipitaciones invernales.

La precipitación media anual en la región, fluctúa según los datos medidos en las estaciones pluviométricas entre 250 mm/año medidos en la estación Rincón de los Valles y 728 mm/año medidos en la estación Las Melosas, la mayor parte de las aguas precipitadas se pierde por evaporación y evapotranspiración. A partir de los 1500 m.s.n.m. el gradiente de temperatura es de $-0.68^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Se analizaron los parámetros físico-químicos en las estaciones Maipo en las Melosas y Puangue en Boquerón, ambas de la cuenca del río Maipo; los resultados del análisis fueron los siguientes:

- el pH no presenta variaciones estacionales claras; la conductividad forma una nube dispersa de valores a lo largo de todo el año en la estación Maipo en las Melosas, fluctuando aproximadamente entre 500 y 1700 unidades de pH; los valores registrados en la estación Puangue en Boquerón son relativamente constantes, variando aproximadamente entre 140 y 350 $\mu\text{hos}/\text{cm}$, a excepción de un par de puntos. La temperatura y el oxígeno no presentan variaciones estacionales claras en las Melosas, lo que se atribuye a los horarios dispersos de muestreo; en Puangue se registra la tendencia estacional esperada con bajas temperaturas entre Junio y Septiembre.
- el pH no presenta tendencias con respecto al caudal; no existen datos suficientes de oxígeno disuelto; la temperatura en la estación Las Melosas presenta grandes rangos de variación para los caudales menores (hasta $40\text{ m}^3/\text{s}$), no existiendo más que algunos valores para caudales mayores. En la estación Puangue los valores del caudal medio diario registrados para los días de muestreos son bajos, no superando los $3,5\text{ m}^3/\text{s}$; en este rango de caudales bajos se aprecia una tendencia a la disminución de la temperatura con el caudal. La conductividad conserva la tendencia indicada para las estaciones de las regiones precedentes, observándose la disminución de ésta en la medida que aumenta el caudal; sin embargo, en la estación Las Melosas existen valores que quedan fuera de la tendencia general, que también se cumple en ella, por lo que estos puntos se atribuyen a fallas en la toma o transposición de los datos.

En la tabla 6.3 se resumen los valores mínimos y máximos de los parámetros de calidad físico-química observados en las cuencas y estaciones analizadas, de esta región.

Según se observa en la tabla, existen en la zona altos niveles de oxígeno, por lo que este parámetro no es limitante del desarrollo de la vida ecosistémica en la zona.

En cuanto a la calidad bacteriológica se recopiló información de 10 estaciones (en Río Maipo, Río Mapocho, Estero El Canelo y El Arrayán, Laguna Negra y Laguna La Dehesa) y en todas se calificó a las aguas como regulares según la Norma 777 de Agua Potable y Apta según Norma 1333 (otros usos del agua).

TABLA 6.3: RANGOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD - RM

CUENCA	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
MAIPO	1.1	11.6	11.0	24.0	4.50	7.95	130	1495	56.0	544.0
ESTACIÓN	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
Maipo en las Melosas (Maipo)	8.0	11.8	6.0	14.0	7.15	8.25	576	1799	-	-
Puangué en Boquerón (Maipo)	-	-	11.0	25.0	6.95	8.60	130	756	-	-

El valor ennegrecido fue medido el 4/08/86, 9:00 horas, según estadísticas pertenecientes a la D.G.A. Por lo que dicho valor reemplazaría al máximo anotado en la Cuenca del Maipo de acuerdo a las fuentes citadas en el Capítulo 4.

En la región Metropolitana se realizaron dos muestreos, descritos a continuación:

1. Estero Angostura frente a peaje: se encontraron *Chironomidae*, *Gambusia gillissi*, *Trichoptera* y *Physa sp*, los dos últimos indicadores de calidad del hábitat. No se encontraron peces nativos. Se calificó la estación como de "Buena" calidad.
2. Río Maipo en la localidad El Manzano: se encontraron sólo tres organismos del macrozoobentos: *Plecoptera*, *Anelida* y *Physa*; este último indicador de calidad. No se observó la presencia de peces. Se calificó la calidad del tramo como estación de calidad pobre o degradada.

6.2.4 Sexta Región

Al igual que la Región Metropolitana presenta en gran parte del territorio un sistema semiárido y en una porción menor se da el sistema sub-húmedo, se ubica entre los 34° y 35° latitud sur, con un régimen de precipitaciones invernales, con ríos de régimen principalmente pluvial en las cuencas costeras y de régimen mixto en las cuencas que nacen en la cordillera de Los Andes.

Las precipitaciones medias anuales en esta región varían entre 406 mm en la estación Rancagua S/E y 1058 mm medidos en La Rufina; la mayor parte de la precipitación se pierde por evaporación y evapotranspiración. A partir de los 1500 m.s.n.m. presenta un gradiente de temperatura del orden de $-0.68^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Se analizaron las estadísticas de calidad existentes en las estaciones de muestreo permanente Tinguirica en Bajo los Briones y Alhué en Quilamuta, ambas pertenecientes a la cuenca del río Rapel que domina la región.

En ambas estaciones se observan rangos aproximadamente constantes de variación del pH, a lo largo del año, sin que obedezcan a una tendencia estacional; lo mismo sucede con la conductividad en el río Tinguiririca, en el estero Alhué sólo se tienen los registros del año 1986 en los cuales la conductividad registra valores mínimos para los meses de otoño-invierno (Junio a Septiembre); el oxígeno y la temperatura presentan las tendencias esperadas, con bajas de la última en el invierno y el comportamiento inverso del oxígeno.

Con respecto a la variación de los parámetros con el caudal, no existen tendencias parejas en las dos estaciones analizadas. En la estación Tinguiririca en Bajo Los Briones los caudales medios registrados en los días de muestreo fluctuaron entre 0 y 200 m³/s, el pH registra rangos de variación constantes para todo el rango de caudales; la temperatura no presenta tendencias claras por falta de estadísticas, lo mismo que el oxígeno; la conductividad conserva la tendencia observada en las estaciones anteriores con una notoria disminución en la medida que aumenta el caudal, para caudales hasta 60 m³/s, tendiendo a una constante para caudales mayores. En la estación Alhué en Quilamuta los caudales medios registrados en los días de muestreo no superaron los 30 m³/s, para este rango el pH presenta una notoria tendencia a disminuir con el aumento del caudal, pese a que las estadísticas son escasas para todos los parámetros; la temperatura presenta también una clara disminución con el aumento del caudal para valores hasta 5 m³/s tendiendo luego a hacerse constante; el oxígeno presenta tendencia inversa, es decir, aumenta con el aumento del caudal, en el rango de caudales pequeños; la conductividad tiene amplios rangos de variación para caudales pequeños, registrando valores aproximadamente constantes y bajos para caudales a partir de los 15 m³/s, aproximadamente.

En la tabla 6.4 se presentan los rangos de variación de parámetros de calidad físico-química de las aguas, registrados en las cuencas y estaciones consideradas.

TABLA 6.4: RANGOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD. VI REGIÓN

CUENCA	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
RAPEL	9.8	12.0	14.0	22.0	5.80	8.30	200	670	78.8	270.0
ESTACIÓN	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
Tinguiririca Bajo Los Briones (Rapel)	8.0	11.6	10.0	26.0	6.30	8.12	128	430	-	-
Alhue en Quilamuta (Rapel)	4.6	10.3	11.0	17.0	7.0	8.36	107	1732	-	-

Los valores mínimos del oxígeno superan los valores recomendados por Davis en la estación Tinguiririca bajo los Briones, no así en la estación Alhué en Quilamuta en la cual de acuerdo a la

temperatura medida (11°C), el oxígeno mínimo recomendado para aguas templadas es de 5 mg/l. Según se observa en la tabla los valores mínimos del oxígeno obtenidos de las estadísticas de cada estación, proporcionadas por la DGA, no coinciden con el valor mínimo dado para la cuenca según las fuentes citadas en el Capítulo 4 (punto 4.2).

Se muestreó el macrozoobentos en el río Cachapoal en la localidad de Coya, encontrándose sólo Plecóptera y Coleóptera, no se encontró ninguno de los indicadores propuestos para esta zona; se calificó el tramo como Estación Ritrónica de calidad Pobre o Degradada.

6.2.5 Séptima Región

Se ubica entre los 35° y 36° latitud sur, en esta región están presentes los sistemas semiárido, sub-húmedo y húmedo; al igual que en la región anterior se aprecia un régimen de precipitaciones invernales.

Las precipitaciones medias anuales en esta región varían entre 624 mm en la estación Curepto Sendos y 2559 mm medidos en la estación Claro en San Carlos. El gradiente de temperatura es del orden de $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. a partir de los 800 m.

Se analizaron las estadísticas de calidad de las estaciones Palos Antes Junta con Colorado perteneciente a la cuenca del río Mataquito y Purapel en Nirivilo de la Cuenca del Río Maule. En la primera no existían estadísticas de oxígeno y en la segunda ni de éste ni de temperatura.

La variación estacional de la temperatura registrada en la estación del río Palos, es la esperada, con bajas en el invierno. El pH, en ambas estaciones, presenta rangos constantes de variación a lo largo del año, por lo que no se le atribuyen cambios estacionales; la conductividad presenta este mismo comportamiento.

En el río Palos la temperatura no registra variaciones con el caudal, que fluctuó en el rango de 0 a $80\text{ m}^3/\text{s}$, lo mismo que el pH. La conductividad presenta una baja notoria con el aumento del caudal para el rango de 0 a $20\text{ m}^3/\text{s}$, tomando valores aproximadamente constantes para caudales mayores (media de 80 mhos/cm). En la estación del río Purapel, los caudales medios diarios fluctuaron entre 0 y $9\text{ m}^3/\text{s}$; en este rango el pH presenta una clara tendencia a la disminución en la medida en que el caudal aumenta; no existen valores suficientes en el rango alto de los caudales registrados como para emitir una opinión sobre la tendencia de la conductividad.

A continuación se presentan los valores extremos registrados en los parámetros de calidad físico-química considerados (Tabla 6.5). Se entregan los valores correspondientes a las cuencas y estaciones analizadas.

TABLA 6.5: RANGOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD. VII REGIÓN

CUENCA	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
MATAQUITO	8.5	11.9	16.0	23.0	8.0	8.15	150	360	43.8	123.3
MAULE	5.2	11.3	13.0	20.0	6.15	8.35	80	186	28.7	48.0
ESTACIÓN	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
PALOS en Junta con Colorado (Mataquito)	-	-	6.0	18.0	6.20	8.10	67	410	-	-
Purapel en Nirivillo (Maule)	-	-	-	-	4.80	8.10	64	220	-	-

Los valores mínimos registrados, de acuerdo a las fuentes citadas en el Capítulo 4, cumplen con los niveles límites recomendados por Davis para la preservación de la biota. En la cuenca del río Mataquito el nivel mínimo es superior a los límites recomendados para salmonídeos, que son los más exigentes dentro de la clasificación de Davis. En la cuenca del Río Maule el nivel mínimo es superior al límite recomendado para la biota en aguas templadas, pero inferior al recomendado para aguas frías (6 mg/l, para una temperatura de 13°C).

Se tomaron muestras de la biota en cuatro estaciones:

1. Río Maule aguas abajo de Central Pehuenche: se recolectaron ocho tipos distintos de individuos entre ellos tres indicadores: *Trichoptera* y *Trichomycterus aerolatus*, indicadores de calidad y el pez *Oncorhynchus mykiss*. El hábitat de la estación se clasificó como de Buena calidad.
2. Claro en Buena Fe: se muestrearon *Plecoptera*, *Ephemeroptera* y *Trichoptera*; siendo el último uno de los indicadores de calidad de la zona. De acuerdo a ésta se calificó la calidad del hábitat en el tramo como "Regular".
3. Lircay en Las Lajas: se muestrearon siete tipos de individuos, entre ellos tres de los cinco indicadores propuestos para la Zona Centro-Sur: *Trichomycterus aerolatus*, *Trichoptera* y *Oncorhynchus mykiss*. Se definió el tramo como Estación Ritrónica de Buena Calidad.
4. Pilmaiquén antes de Río Catillo: se muestrearon *Chironomidae*, *Ephemeroptera*, *Odonata* y *Plecoptera*, no se observó la presencia de peces. Se calificó como Estación Ritrónica de Buena calidad.

6.2.6 Octava Región

Se ubica entre los 36° y 38° latitud sur, los sistemas que se encuentran en esta región son los sub-húmedos, húmedos y una pequeña porción del sistema per-húmedo.

Las precipitaciones medias anuales medidas en las distintas estaciones pluviométricas de la región fluctúan entre 496 mm/año registrados en la estación Punta Hualpen y 4080 mm/año registrados en la estación Ralco (Pangué). Las temperaturas medias anuales varían entre 6,9 y 14,2°C, en las distintas localidades.

Se analizaron los parámetros de calidad de las estaciones Ñuble en San Fabián y Diguillín en San Lorenzo, ambas pertenecientes a la cuenca del río Itata y la estación Butamal en Butamal ubicada en las Cuencas Costeras Lebu-Paicaví. En las dos últimas estaciones sólo existían estadísticas de pH y conductividad.

En las dos estaciones consideradas de la Cuenca del Río Itata el pH no presenta variaciones estacionales. En la estación Butamal, sólo se tienen estadísticas de tres años, pero se logra apreciar una tendencia a valores más bajos de dicho parámetro en los meses del período Otoño-invierno. En las tres estaciones consideradas la conductividad registra rangos notoriamente más bajos en los meses de Junio a Diciembre. En la estación Ñuble en San Fabián los rangos de temperatura son menores entre los meses de Julio a Noviembre; con respecto al oxígeno no existen tendencias claras, además los datos estadísticos son insuficientes.

En la tabla 6.6, se entregan los parámetros de calidad físico-química de las aguas (valores extremos registrados).

Como se observa en la tabla los niveles de oxígeno están por sobre los límites recomendados por Davis para la preservación de la biota.

En esta región se realizaron dos muestreos:

1. Río Diguillín en los Cipreses: se encontraron siete tipos de individuos, tres de los cuales corresponden a los indicadores propuestos para la zona (*Trichomycterus aerolatus*, *Trichoptera* y *Oncorhynchus mykiss*). La calificación fue Estación Ritrónica de Buena Calidad.
2. Río Ñuble en Nahueltoro: se encontraron seis tipos de individuos, entre los que se contaron los tres indicadores muestreados en el Río Diguillín. La calificación fue de Buena calidad.

TABLA 6.6: RANGOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD. VIII REGIÓN

CUENCA	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN	MÁX	MÍN.	MÁX.	MÍN	MÁX	MÍN.	MÁX.	MÍN	MÁX
ITATA	6.8	11.8	9.0	20.0	6.90	8.05	38	95	12.6	20.3
BÍO-BÍO	10.1	12.8	2.0	13.0	6.60	7.70	30	140	5.1	8.2
ESTACIÓN	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN	MÁX	MÍN.	MÁX.	MÍN	MÁX	MÍN.	MÁX.	MÍN	MÁX
Ñuble en San Fabián (Itata)	6.7	11.5	5.0	23.0	6.00	8.05	34	164	-	-
Diguillín en San Lorenzo (Itata)	-	-	-	-	5.70	8.00	40	230	-	-
Butamal en Butamal (C. Lebu-Palcavi)	-	-	-	-	6.40	7.90	34	121	-	-

6.2.7 Novena Región

Se encuentra entre los 38° y 39,5° latitud sur, en esta región se encuentran los sistemas húmedo, en una pequeña parte, y per-húmedo en su gran mayoría.

Las precipitaciones medias anuales fluctúan entre 721 mm/año en Nueva Imperial y 3768 mm/año en Caburga. Las temperaturas medias anuales varían entre 10,3°C medidos en la estación Victoria (Las Mercedes) y 12,7°C registrados en la estación Contulmo.

Se analizaron los parámetros de calidad en las estaciones Purén en Tranamán, Cautín en Rari-Ruca y Cautín en Cajón ubicadas en la Cuenca del Río Imperial; se analizó además la estadística de la estación Puyehue en Quitratue de la Cuenca del Río Toltén.

El pH presenta cierta tendencia a disminuir en el período Otoño-Invierno, que se acentúa en la estación Purén. Sólo existían estadísticas de temperatura y oxígeno en la estación Cautín en Rari-Ruca, donde se observa claramente la tendencia estacional de ambos parámetros con bajas del primero en el período Otoño-Invierno y el comportamiento inverso del segundo. La conductividad registra rangos de variación relativamente constantes a lo largo del año, a excepción de los datos registrados en la estación Cautín en Rari-Ruca, donde dichos rangos tienden a disminuir en el período Otoño-Invierno.

Con respecto a las variaciones del pH en función del caudal, se registran nubes dispersas de puntos, sin tendencias generales definidas. Lo mismo sucede con los valores de temperatura y

oxígeno registrados en la estación Cautín en Rari-Ruca. La conductividad presenta en la mayoría de las estaciones analizadas, el comportamiento descrito para la mayor parte de las regiones precedentes.

En la tabla 6.7, se resumen los valores máximos y mínimos de los parámetros de calidad físico-química seleccionados.

TABLA 6.7: RANGOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD. IX REGIÓN

CUENCA	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
IMPERIAL	7.0	12.0	12.0	20.0	6.55	7.75	54	118	17.2	52.5
TOLTÉN	8.6	9.8	12.0	18.5	6.80	7.80	43	110	15.8	28.8
ESTACIÓN	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
Purén en Tranamán (Imperial)	-	-	10 ¹	10 ¹	6.00	7.80	31	150	-	-
Cautín en Rari-Ruca (Imperial)	8.0	12.3	6.0	19.0	6.60	8.30	40	141	-	-
Cautín en Cajón (Imperial)	-	-	-	-	5.65	7.60	46	80	-	-
Puyehue en Quitratue (Toltén)	-	-	16 ²	16 ²	5.9	7.70	26	140	-	-

(1)* Sólo existe el registro de temperatura en una medición puntual realizada el 24/08/83, 10:15 hrs.

(2)* Sólo existe el registro de temperatura en una medición puntual realizada el 18/08/83, 14:15 hrs.

Como se observa en la tabla los niveles de oxígeno son altos, por lo tanto de ninguna manera este factor es limitante para la vida acuática en esta región.

Con respecto a la calidad bacteriológica, se reunieron antecedentes existentes en la estación Río Cautín en Cajón, cuyos resultados califican la calidad de las aguas como Deficiente para su uso como fuente de agua potable (Norma 777) y no apta para otros usos (Norma 1333).

Se cuenta con muestreos de gran parte de los ríos de la región, que forman parte del estudio "Caudales Ecológicos. Caracterización Hidroambiental. Etapa I", encargado por el Ministerio de Obras Públicas a AC Ingenieros Consultores Ltda.; además, en dicho estudio, se realizó una caracterización detallada de la Cuenca del Río Imperial.

A continuación se entregan los resultados obtenidos en algunas de las estaciones de muestreo:

1. Río Quino: se muestrearon *Trichopteras* y *Oncorhynchus mykiss*. Se calificó a la estación como rítrónica de buena calidad.
2. Río Cautín en Cajón: se muestrearon *Aeglas*, indicadoras de calidad del hábitat y peces. Se calificó la calidad general del hábitat como "Buena".
3. Río Allipén en los Laureles: en esta estación una crecida del río inhabilitó el método de muestreo. Se observaron peces.
4. Río Toltén en Villarrica: Se observaron peces. Una crecida inhabilitó el método para muestrear el macrozoobentos.

6.2.8 Décima Región

Se encuentra entre los 39,5° y 44° de latitud sur. Toda la región presenta un clima Oceánico de tendencia Mediterránea.

Las precipitaciones medias anuales varían entre 994 mm/año medidos en la estación Trumao y 5343 mm/año registrados en la estación Riñihue. La temperatura media anual toma valores entre 9,2 °C medidos en la estación Futaleufú y 12,2°C en Isla Teja.

En la tabla 6.8 se resumen los valores máximos y mínimos de los parámetros de calidad físico-química registrados en las principales cuencas de esta región.

TABLA 6.8: RANGOS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD. X REGIÓN

CUENCA	OXÍGENO		TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		DUREZA	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
VALDIVIA	9.2	11.0	10.0	18.0	7.09	7.30	40	64	14.6	19.5
BUENO	9.2	11.4	9.0	16.0	6.92	7.77	44	108	15.0	32.0
MAULLÍN	10.4	10.4	11.0	11.0	7.38	7.38	80	80	20.5	20.5

De acuerdo a los datos proporcionados por cuenca, los niveles de oxígeno en toda la zona son elevados.

Con respecto a la calidad biótica, esta región quedaba incluida, al igual que la anterior, en el estudio "Caudales Ecológicos. Caracterización Hidroambiental. Etapa I"; en el cual se realizaron muestreos dentro de la mayor parte de los ríos. A continuación se citan dos de las estaciones muestreadas:

1. Río Cruces en Rucaco: se detectó la presencia de *Chironomidae* y peces. Se calificó la estación como rítrónica de Regular calidad.
2. Río Pilmaiquén en San Pablo: el método de muestreo del macrozoobentos quedó inhabilitado por una crecida del río. Se observó la presencia de peces.

6.3 CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

Se obtuvieron los caudales ecológicos en todas las estaciones seleccionadas y para cada una de las técnicas aplicables según discusión del Capítulo 3.

En la tabla 6.9 se consigna información de las zonas seleccionadas, necesaria tanto para la evaluación de los caudales, como para conocer los procesos con los que se trataron las estadísticas hidrológicas utilizadas. Se trabajó con estadísticas de años completos de Caudales Medios Diarios, en la tabla se indica el período de registros y el número de años con información completa, dentro de dicho período, con los cuales se generaron las curvas de duración tanto para la obtención del Q_{347} como del Q_{330} , base de algunas técnicas. Además en la tabla se incluyen: la altitud de la estación fluviométrica, el área aportante a cada estación y el mes en el cual se produce el mínimo valor histórico del caudal de acuerdo al análisis de los Caudales Medios Mensuales.

En la tabla 6.10, se resumen los Caudales Ecológicos obtenidos aplicando las legislaciones y metodologías revisadas en capítulos anteriores, para cada una de las zonas bajo análisis; en estos resultados queda de manifiesto la gran diversidad de criterios existentes para conseguir un mismo fin: la preservación de los ecosistemas acuáticos. Esto evidencia la inexactitud y subjetividad de los métodos que se han desarrollado hasta hoy en día, a nivel mundial. La principal causa de estas diferencias es el desconocimiento de los procesos evolutivos temporales y espaciales de los ecosistemas y la imposibilidad de modelarlos conjuntamente con los demás factores que condicionan la vida en los ríos (topográficos, climáticos, hidrogeológicos, hidráulicos, sedimentológicos, geográficos, etc.).

El desarrollo de los modelos ambientales de simulación requiere, como se ha reiterado en el desarrollo de este documento, la incorporación de bases de datos de todos los factores ambientales y ecosistémicos, además de las relaciones entre los distintos componentes, por lo tanto la aplicación de ellos es aún parte del futuro y en el largo plazo. Por está razón se recurre aún a los modelos de base hidrológica e hidráulica para determinar los caudales mínimos que se deben preservar en los cauces para su mantención. Estos métodos, a pesar de que entregan resultados muy diversos, son en general conservadores y no perderán su vigencia para la realización de evaluaciones globales de caudales ecológicos, justificándose la aplicación de técnicas holísticas sólo para casos específicos de evaluación, por ejemplo la construcción de una central hidroeléctrica que modificaría completamente el hábitat en derredor y cuya alternativa económica óptima es la generación del

máximo caudal que le sea posible utilizar.

Dentro de este marco y considerando que en el país los datos de biota acuática publicados son escasos, se deben usar en Chile algunos de los métodos o legislaciones existentes con el fin de limitar la utilización del recurso permitiendo el desarrollo y supervivencia de las especies existentes.

De la tabla 6.10 se observa la gran diversidad de valores de caudales ecológicos, obtenidos con distintos métodos. Para cada estación fluviométrica analizada se tiene un resultado distinto, así por ejemplo en la estación Grande en las Ramadas el criterio menos conservador es el de las legislaciones Francesa y Asturiana Nivel I, seguido por la legislación Suiza; en un punto intermedio se encuentra el caudal ecológico obtenido aplicando el criterio de la Confederación Hidrográfica del Ebro, siendo los criterios más conservadores los del Programa de caudales de Nueva Inglaterra y el Área Drenante, conjuntamente con los niveles II y III de la Legislación Asturiana. Un caso distinto es el de la estación Maipo en el Manzano en que el criterio menos conservador es el de la legislación Suiza cuyo caudal es aproximadamente un 50% del de los valores entregados por las legislaciones Francesa y Asturiana nivel I; los valores obtenidos con la Confederación del Ebro y el método del Área Drenante son del mismo orden de magnitud y superan en el doble de los caudales obtenidos con la legislación Francesa y Asturiana nivel I; a su vez el Programa de Caudales de Nueva Inglaterra entrega un caudal del orden de dos veces el obtenido con el método del Área Drenante y de la Confederación del Ebro.

Debido a esta gran diversidad en los caudales mínimos recomendados es indispensable, para la aplicación de alguno de los criterios expuestos en los cauces de Chile, combinarlos con otro criterio que permita la toma de decisión con respecto a cual de las metodologías es más recomendable en cada caso; para lo cual se aplicará el criterio descrito en el punto 6.1.

TABLA 6.9: INFORMACIÓN POR ESTACIÓN

R	CUENCA	RÍO	ESTACIÓN	PERÍODO DE REGISTRO	# AÑOS COMPLETO	ÁREA [km ²]	ALTITUD [m.s.n.m.]	MES DE QMÍN
IV	ELQUI	TURBIO	VARIABLE	1968-1994	21	4196	860	AGOSTO
IV	LIMARÍ	GRANDE	LAS RAMADAS	1968-1994	10	545	1380	MARZO
IV	CHOAPA	CHOAPA	PURTE NEGRO	1969-1994	8	3725	200	MARZO
IV	CHOAPA	CHOAPA	ANTE EST. LA CANELA	1968-1994	6	6192	40	MARZO
V	LA LIGUA	ALICAHUE	COLLIGUAY	1968-1995	12	265	1780	ABRIL
V	ACONCAGUA	ACONCAGUA	CHACABUQUITO	1971-1995	17	2097	1030	MAYO
RM	MAIPO	MAIPO MAPOCHO	EL MANZANO LOS ALMENDROS	1969-1995 1975-1995	16 13	4968 620	850 1024	JUNIO ABRIL
VI	RAPEL	CLARO TÍNGUIRICA	HACIENDA LAS NIEVES BAJO LOS BRIONES	1968-1993 1971-1991	9 9	276 1435	720 518	ABRIL ABRIL
VII	MATAQUITO	MATAQUITO TENÓ	LICANTÉN LOS QUEÑES	1991-1994 1970-1984	3 8	- 830	- 900	MARZO ABRIL
VII	MAULE	MAULE PURAPEL LIRCAY	ARMERILLO NIRIVILO PUENTE LAS RASTRAS	1968-1977 1978-1986 1968-1991	4 6 11	5520 258 376	450 80 240	MARZO MARZO MARZO
VIII	ITATA	CHILLÁN ITATA	ESPERANZA CHOLGUÁN	1968-1994 1968-1994	15 7	224 852	467 260	MARZO MARZO
VIII	BÍO-BÍO	BÍO-BÍO MULCHÉN CARAMAVIDA	RACALHUE MULCHÉN CARAMAVIDA	1969-1995 1968-1994 1968-1990	15 15 12	7044 434 94	310 128 8	MARZO MARZO MARZO
IX	IMPERIAL	PURÉN QUINO CAUTÍN CAUTÍN	TRANAMÁN PANAMERICANA RARI-RUCA CAJÓN	1968-1993 1970-1994 1984-1994	17 14 8	354 344 1170 2604	73 285 420 120	MARZO MARZO MARZO
IX	TOLTÉN	ALLIPÉN TOLTÉN	LOS LAURELES VILLARRICA	1969-1994 1981-1995	15 13	1544 2805	204 213	MARZO MARZO
X	CALLE-CALLE	CRUCES	RUCACO	1970-1992	15	-	-	MARZO
X	BUENO	PILMAIQUÉN	SAN PABLO	1979-1995	10	2936	50	FEBRERO

TABLA 6.10: CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS CON DISTINTOS MÉTODOS Y NORMATIVAS INTERNACIONALES

REGIÓN	RÍO	ESTACIÓN	Q his.n.b.c. [m3/s]	Q anual [m3/s]	Q 330 [m3/s]	Q 347 [m3/s]	Francesca [m3/s]	Suiza [m3/s]	Asturiana			Confed. del Ebro [m3/s]	Conf.Norte de España [m3/s]	Prog. Qe Nueva Ing. [m3/s]	Área Drenante [m3/s]
									Nivel I [m3/s]	Nivel II [m3/s]	Nivel III [m3/s]				
IV	TURBIO	VARILLAR	4,420	7,100	2,015	2,060	0,710	0,764	0,721	9,113	17,505	2,015	0,710	4,420	-
IV	GRANDE	LAS RAMADAS	1,600	2,660	0,507	0,630	0,266	0,320	0,227	1,317	2,407	0,507	0,266	1,600	2,998
IV	CHOAPA	PUENTE NEGRO	2,050	9,303	0,210	0,242	0,930	0,166	0,120	7,570	15,020	0,210	0,930	2,050	20,488
IV	CHOAPA	EST. LA CANELA	3,770	17,690	0,252	0,319	1,769	0,200	0,144	12,528	24,912	0,252	1,769	3,770	34,056
V	ALICAHUE	COLLIGUAY	0,375	0,915	0,138	0,151	0,092	0,123	0,090	0,620	1,150	0,138	0,092	0,375	1,458
V	ACONCAGUA	CHACABUQUITO	15,080	37,500	8,585	8,410	3,750	2,159	2,944	7,138	11,332	8,585	3,750	15,080	11,534
RM	MAIPO	EL MANZANO	60,690	123,980	30,500	34,800	12,398	6,220	12,180	22,116	32,052	30,500	12,398	60,690	27,324
RM	MAPOCHO	LOS ALMENDROS	3,040	6,710	1,585	1,680	0,671	0,646	0,588	1,828	3,068	1,585	0,671	3,040	3,410
VI	CLARO	HACIENDA LAS NIEVES	2,850	6,780	1,040	1,080	0,678	0,460	0,378	0,930	1,482	1,040	0,678	2,850	1,518
VI	TINGUIRIRICA	BAJO LOS BRIONES	22,340	51,902	14,150	12,050	5,190	2,808	4,218	7,088	9,958	14,150	5,190	22,340	7,893
VII	MATAQUITO	LICANTÉN	40,000	163,620	28,800	41,900	16,362	7,285	14,665	-	-	28,800	16,362	40,000	-
VII	TENO	LOS QUEÑES	18,680	41,350	8,000	11,200	4,135	2,680	3,920	5,580	7,240	8,000	4,135	18,680	4,565
VII	MAULE	ARMERILLO	70,650	152,180	55,200	52,800	15,218	8,920	18,480	29,520	40,560	55,200	15,218	70,650	30,360
VII	PURAPEL	NIRIVILO	0,300	2,960	0,197	0,168	0,296	0,134	0,096	0,612	1,128	0,197	0,296	0,300	1,419
VII	LIRCAY	PUENTE LAS RASTRAS	3,110	10,890	0,668	0,700	1,089	0,342	0,245	0,997	1,749	0,668	1,089	3,110	2,068
VIII	CHILLÁN	ESPERANZA	5,190	14,700	3,200	3,280	1,470	1,066	1,148	1,596	2,044	3,200	1,470	5,190	1,232
VIII	ITATA	CHOLGUÁN	14,670	40,830	10,250	9,000	4,083	2,285	3,150	4,854	6,558	10,250	4,083	14,670	4,686
VIII	BIO-BIO	RACALHUE	115,270	455,970	80,000	81,900	45,597	10,000	28,665	42,753	56,841	80,000	45,597	115,270	38,742
VII	MULCHEN	MULCHEN	4,360	17,970	3,320	3,300	1,797	1,070	1,155	2,023	2,891	3,320	1,797	4,360	2,387
VIII	CARAMAVIDA	CARAMAVIDA	1,320	5,720	0,900	0,919	0,572	0,410	0,322	0,510	0,698	0,900	0,572	1,320	0,517
IX	PURÉN	TRANAMAN	2,860	9,670	2,220	2,225	0,967	0,815	0,779	1,487	2,195	2,220	0,967	2,860	1,947
IX	QUINO	PANAMERICANA	1,480	14,070	1,210	1,065	1,407	0,455	0,373	1,061	1,749	1,210	1,407	1,480	1,892
IX	CAUTÍN	RARI-RUCA	37,455	92,886	31,500	31,000	9,289	5,650	10,850	13,190	15,530	31,500	9,289	37,455	6,435
IX	CAUTÍN	CAJÓN	36,246	142,053	26,400	25,850	14,205	4,878	9,048	14,256	19,464	26,400	14,205	36,246	14,322
IX	ALLIPÉN	LOS LAURELES	66,750	139,390	53,400	60,000	13,939	10,000	21,000	24,088	27,176	53,400	13,939	66,750	8,492
IX	TOLTÉN	VILLARRICA	107,070	247,690	92,600	94,150	24,769	10,000	32,953	38,563	44,173	92,600	24,769	107,070	15,428
X	CRUCES	RUCACO	16,720	88,840	11,210	11,200	8,884	2,680	3,920	-	-	11,210	8,884	16,720	-
X	PILMAIQUÉN	SAN PABLO	84,050	180,890	53,200	53,000	18,089	8,950	18,550	24,422	30,294	53,200	18,089	84,050	16,148

6.4 EJEMPLIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

A continuación se aplica la metodología propuesta a algunas estaciones que cuentan tanto con información fluviométrica, como biológica.

En algunas zonas de las involucradas en el presente estudio se realizaron muestreos del macrozoobentos en Octubre de 1995, que se complementaron con otros antecedentes existentes sobre los ecosistemas de los cauces en cuestión.

CASO 1: Río Choapa

De acuerdo a lo expuesto anteriormente este río se calificó como de buena calidad del hábitat en toda su extensión.

Se analizó la información de dos estaciones fluviométricas Choapa en Puente Negro y Choapa en Estero la Canela.

Debido a que el hábitat es de buena calidad se recomienda el uso de las legislaciones conservadoras, descartándose en este caso las legislaciones Suiza, Asturiana nivel I y Confederación del Ebro. Se aprecia que en ambas estaciones, el criterio del área drenante pues el valor de caudal ecológico obtenido dobla al del caudal medio anual, por lo tanto recomendar un caudal de esa envergadura sería insostenible. Se estiman también excesivos los caudales obtenidos aplicando los niveles II y III de la legislación Asturiana. Por otra parte, los caudales obtenidos aplicando el Programa de caudales de Nueva Inglaterra aunque doblan a los obtenidos aplicando la legislación Francesa y de la Confederación del Norte de España, se consideran valores razonables. Si se aplica una media entre estos valores, los Caudales Ecológicos y el índice de caudal mínimo obtenidos resultan:

	Q_{ec}	I_{Qmin}
- Estación Choapa en Puente Negro	1.5 m ³ /s	0.4 l/s/km ²
- Estación Choapa Estero la Canela	2.8 m ³ /s	0.4 l/s/km ²

CASO 2: Estación Maipo en el Manzano

En el caso del río Maipo en el Manzano, de acuerdo a los resultados, obtenidos de la diversidad del macrozoobentos (tres taxas diferentes), se calificó la sanidad del hábitat como pobre o degradada.

De acuerdo a las características generales de la zona se puede definir como degradada en cuanto al ecosistema actual presente en la zona, no teniéndose antecedentes de la existencia de peces; según lo cual quedarían automáticamente descartados los caudales propuestos por la legislación Asturiana.

Los métodos de la Confederación del Ebro, de área drenante y el propuesto en el Programa de Caudales de Nueva Inglaterra resultan demasiado conservadores para un ambiente relativamente deteriorado cuya calidad de aguas se califica como regular según la Norma Chilena 777 (agua potable) y apta según la norma 1333 (riego, recreación y estética).

Como ya se expuso, los criterios menos conservadores son los de la legislación Francesa y Suiza, resultando al aplicar esta última un caudal equivalente al 50% del de la francesa. Se estima en esta instancia, debido a la falta de mayores antecedentes, tomar un valor medio entre ambas para definir el Índice de Caudal Mínimo, resultando:

$$I_{Q_{\min}} = 2 \text{ l/s/km}^2 \text{ de cuenca}$$

CASO 3: Estación Lircay en Puente Las Rastras

En el caso de esta zona, río Lircay en Puente las Rastras, se calificó la sanidad del hábitat como buena (se encontraron 10 taxas en el lugar y en otros tramos). Por otra parte, se cuenta con información de la existencia de un pez nativo (*Trychomycterus aerolatus*) y de un crustáceo (*Aegla*) sp, ambos indicadores de aguas limpias. La calidad de las aguas en general es buena y sería lógica la aplicación de criterios más conservadores que los aplicados en el caso anterior.

No existe información de la existencia de truchas o salmones en la zona, por lo que se descartan los niveles de protección I y III de la legislación Asturiana; se descarta también el criterio utilizado por los suizos por considerarlo poco conservador. Los criterios restantes entregan un Índice de Caudal Mínimo:

$$I_{Q_{\min}} = 4,5 \text{ l/s/km}^2 \text{ de cuenca}$$

CASO 4: Estación Cautín en Cajón

Al igual que en el caso anterior se calificó la sanidad del hábitat como buena. Se descartan entonces los criterios menos conservadores, específicamente el de la legislación Suiza. Se conoce la existencia de peces en general por lo que sería recomendable la aplicación del nivel de protección dos de la legislación Asturiana con el que resulta un caudal del mismo orden que el valor obtenido con la legislación Francesa, Confederación del Norte de España y Área Drenante. Aplicando dichos criterios se obtiene un índice de caudal mínimo:

$$I_{Q_{\min}} = 5,5 \text{ l/s/km}^2 \text{ de cuenca}$$

7. RECOMENDACIONES PARA EL SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL RECURSO

Para el seguimiento integral de la calidad del recurso se deben controlar en forma regular no tan sólo los parámetros de calidad físico-química, sino también parámetros bióticos y características mecánico-fluviales, con el objetivo de conformar una base sólida de datos que permita en el futuro el desarrollo de técnicas eficientes de manejo de cuencas y preservación del medio ambiente acuático.

Para la generación del banco de datos, se recomiendan muestreos mensuales, de modo de conocer la variación periódica de los ecosistemas. Una vez catastrados los organismos de la biota acuática existente en un determinado lugar, se recomiendan muestreos estacionales (4 veces al año) o muestreos que al menos controlen los eventos biológicos que ocurren durante los períodos de estiaje y de aguas altas.

En todo muestreo que se realice se deben medir conjuntamente los parámetros de calidad físico-química (temperatura, pH, O.D., D.B.O., conductividad, etc.) y las características mecánico-fluviales del escurrimiento (caudal, altura, velocidad, sección, sustrato, etc.).

Los muestreos de parámetros físico-químicos se deben realizar de acuerdo a lo expuesto en el Capítulo 4. Para el muestreo biológico los criterios propuestos se indican en los puntos siguientes.

7.1 METODOLOGÍA DE MUESTREO BIOLÓGICO EN CAUCES NO CONTAMINADOS

Existe la necesidad de lograr un buen manejo de los ríos, esto es utilizar en forma racional y planificada los recursos hídricos, para así evitar daños ecológicos que pueden ser irreversibles. Para ello es necesaria una comprensión de las relaciones íntimas, poco visibles del ecosistema, que permitan formular un buen diagnóstico sobre la calidad de las aguas para sus diferentes usos.

Con este propósito se debe reunir datos de hidrología, parámetros físico-químicos y biota acuática para caracterizar el cauce.

La descripción de la biota permite visualizar la diversidad de especies que podrían estar presentes al conocer los distintos eslabones de la cadena trófica. Además la presencia o no de bioindicadores permitirá conocer el grado de perturbación del sistema.

Se entenderá como cauce no contaminado a aquel cuyos vertidos contaminantes no sean significativos. En general corresponderán a cursos ubicados aguas arriba de las ciudades o lo suficientemente aguas abajo como para que se hayan recuperado las características físico-químicas de las aguas en forma natural.

7.1.1 Criterios de selección de puntos de muestreo

- i) Orden jerárquico de los ríos, tomado esto de acuerdo con la información disponible en las cartas del Instituto Geográfico Militar (escala 1:50000).
- ii) Naturaleza del sustrato, el cual es importante en la presencia o no de pequeños peces y en la determinación de zonas de reproducción. En general los cauces elegidos presentan fondos pedregosos, con gravilla de alrededor de 5 cm de diámetro.
- iii) Accesibilidad para el monitoreo, el cual debe ser bueno en la mayor parte del año.
- iv) Condiciones morfológicas, hidrológicas y actividades que se realizan en las vecindades del cauce.
- v) Cercanía de punto donde se desea intervenir el cauce o zona en estudio.

7.1.2 Métodos utilizados para determinación de biota acuática

A) Bentos

La metodología de muestreo dependerá de las condiciones morfológicas del río. Como ya se dijo, se trabajará en zonas de fácil acceso, por lo tanto en general se ocupará equipo portátil. La característica más influyente en la determinación del método a utilizar será la profundidad del cauce :

- i) Para ríos poco profundos, con altura no superior a los 50 cm, se ocupará red Surber de 900 cm² de marco base.
- ii) Para ríos de profundidad superior a 5 m se utilizarán dragas para la extracción.
- iii) Para ríos intermedios se debe analizar metodología en el terreno, considerando las características particulares de la zona.

B) Fauna íctica

Los métodos utilizados dependen principalmente de la profundidad del cauce, además de la accesibilidad del punto de muestreo :

- i) Para ríos poco profundos, con altura no superior a 1 m, se ocupará chinguillo.
- ii) Para ríos de profundidad superior a 5 m se utilizarán redes agalleras para la captura de los ejemplares.
- iii) Para ríos intermedios se debe analizar metodología en el terreno, considerando las características particulares de la zona.

En ambos tipos de organismos se recomienda un muestreo mensual en un período que abarque de preferencia las aguas durante el período de estiaje.

Se debe verificar la existencia de organismos bioindicadores, entre los que se cuentan:

- a. Trichóptera
- b. Chilina
- c. Cryphiops caementarius
- d. Basilichthys
- e. Oncorhynchus mykiss
- f. Physa
- g. Aegla
- h. Trichomycterus aerolatus

7.2 METODOLOGÍA DE MUESTREO EN CURSOS CONTAMINADOS

7.2.1 Antecedentes teóricos

Se entiende como capacidad de resiliencia a aquella condición del ecosistema para recuperarse de un desequilibrio. El desequilibrio puede ser provocado por (Niemi et al. 1990):

- a) Eventos de tipo pulso (ej: vertidos químicos ocasionales).
- b) Eventos de tipo permanente (ej: construcción de canales con alteración de hábitat).

La recuperación es más rápida en los cursos de agua que sufren vertidos ocasionales, debido a que los sustratos se reconstituyen de acuerdo a la capacidad de recolonización de las especies, la cercanía de los centros productores de especies y la capacidad de crecimiento poblacional.

En la situación de una alteración permanente, dependerá de las medidas de mitigación que se implementen, tales como restauración de taludes para consolidar las laderas. En el caso de los vertidos domésticos, la situación es un poco diferente, los peces en ciertas ocasiones son eliminados en áreas extensas de los ríos, por contaminación orgánica severa; las sustancias tóxicas, particularmente el amonio y los derivados sulfurados y del cianuro, los elimina. Los peces también son muy sensibles a las bajas tensiones de oxígeno combinadas con altas temperaturas. Lo que ocurre con mayor frecuencia es su desaparición por cambios de hábitat, sin que aparentemente sean muertos, (Jones, 1952). Los peces fluviales, en general, se alejan de la contaminación orgánica alta, esto se podría explicar sobre la base de la presencia de dióxido de carbono, que es producido en grandes cantidades (50-100 mg/l) aguas abajo de donde están ocurriendo quiebres de la materia orgánica.

Respecto de otros representantes (invertebrados) de la biota de aguas contaminadas, Pentelow & Butcher, 1988, encontraron que las larvas (verdes) de los Chironomidae fueron la única forma de vida animal en un río con vertidos de cobre. Un anfípodo (*Gammarus pulex*) fue

10 veces menos resistente a afluentes cargados de fenoles ácidos comparándolas con las truchas. Por otra parte, gusanos (Tubificidae) sobrevivían en cursos contaminados con concentraciones letales para los estados juveniles de las truchas. Es por esto que las generalizaciones respecto a la capacidad de resiliencia de los sistemas fluviales no deben hacerse más que contemplando cada caso en particular.

7.2.2 Metodología de muestreo

Usualmente los cursos contaminados se localizan aguas abajo de las ciudades. Es por esto que los muestreos deben efectuarse en la zona séptica, es decir 4 km aguas abajo del punto de ingreso de la fuente contaminante, denominado foco. Además, se efectúan 1 km aguas arriba del mismo, con el objetivo de poder comparar resultados y determinar el efecto real en la contaminación provocado por la fuente.

Para este tipo de cauces los muestreos deben realizarse quincenalmente en un período que abarque de preferencia las aguas de estiaje.

Los parámetros a medir en estos cursos son los siguientes :

- a) Factores fisico-químicos
 - Temperatura
 - Conductividad eléctrica
 - pH
 - DBO
 - Turbiedad

Además, frente a vertidos industriales se mide:

- Cromo, Cr
- Cobre, Cu
- Plomo, Pb
- Zinc, Zn
- Mercurio, Hg

- b) Factores biológicos
 - Coliformes totales
 - Coliformes fecales

8. METODOLOGÍA PARA CASOS ESPECIALES

Para aquellos casos en que se deban realizar estudios específicos debido a la magnitud del impacto que cause la obra o a su carácter local, se recomienda la metodología detallada en el diagrama de flujo de la Figura 8.1.

El estudio ecológico se debe iniciar conjuntamente con las etapas de factibilidad del proyecto, como un ítem más de modo que se cuente con el tiempo necesario para realizar los estudios. La estimación del caudal ecológico debiera formar parte de la Evaluación del Impacto Ambiental, llevándose a efecto a la par con éste.

Para iniciar el estudio se debe identificar la zona biológica y climática a la que pertenece la cuenca, prosiguiendo con la identificación del tipo de tramo, de acuerdo a la clasificación detallada en el Capítulo 5. De este modo se obtendrán las características generales del lugar.

Para la descripción detallada del tramo de río, se debe realizar una caracterización del escurrimiento que incluirá caracterización mecánico-fluvial, calidad físico-química de las aguas y caracterización hidrológica.

De acuerdo a la tipificación del cauce se deberán escoger las metodologías de muestreo biológico adecuadas a la situación, según lo expuesto en el capítulo anterior.

Tanto la toma de muestras, como su análisis deben ser realizados por organismos independientes y recomendados directamente por los servicios públicos pertinentes.

Una vez identificada la flora y fauna muestreada se deben escoger aquellas familias o especies catalogadas como buenos indicadores de la calidad o salud del ecosistema, es decir, aquellas que subsisten en condiciones específicas de hábitat. Además de los indicadores bióticos de calidad, se deben considerar como indicadores a organismos superiores que requieran de condiciones de escurrimiento específicas, como: altura mínima, velocidades máxima y mínima, etc., estos serán indicadores bióticos de volumen. Es muy importante considerar ambos tipos de indicadores ya que el objetivo de instaurar un Caudal Mínimo Ecológico es la preservación del ecosistema en su globalidad para lo que se requiere conservar en el río un recurso que satisfaga en forma mínima los requerimientos de calidad y cantidad del ecosistema.

Una vez seleccionados los indicadores bióticos, se deben estimar aquellos caudales que creen las condiciones de hábitat mínimas para la subsistencia de cada uno de ellos o de cada estado de vida específico (ejemplo, en el caso de los peces los requerimientos son distintos en las etapas de migración, desove e incubación).

El Caudal Mínimo, en primera instancia, será el mayor de los caudales resultantes del estudio de requerimientos realizado para cada uno de los indicadores considerados. Se deberá constatar la validez hidrológica del caudal obtenido, comprobando que corresponda a una probabilidad de excedencia razonable.

Conocido el caudal mínimo del tramo estudiado, de deberá realizar un análisis de la influencia de éste hacia aguas abajo. Para ello se deberá realizar en todos los tramos afectados un estudio similar al efectuado en el tramo en cuestión, con el objeto de determinar los caudales mínimos ecológicos en cada uno de ellos.

Si fuera necesario se tendrá que considerar un caudal adicional, sobre el Caudal Mínimo estimado en primera instancia, que resguarde los ecosistemas existentes en los tramos de aguas abajo.

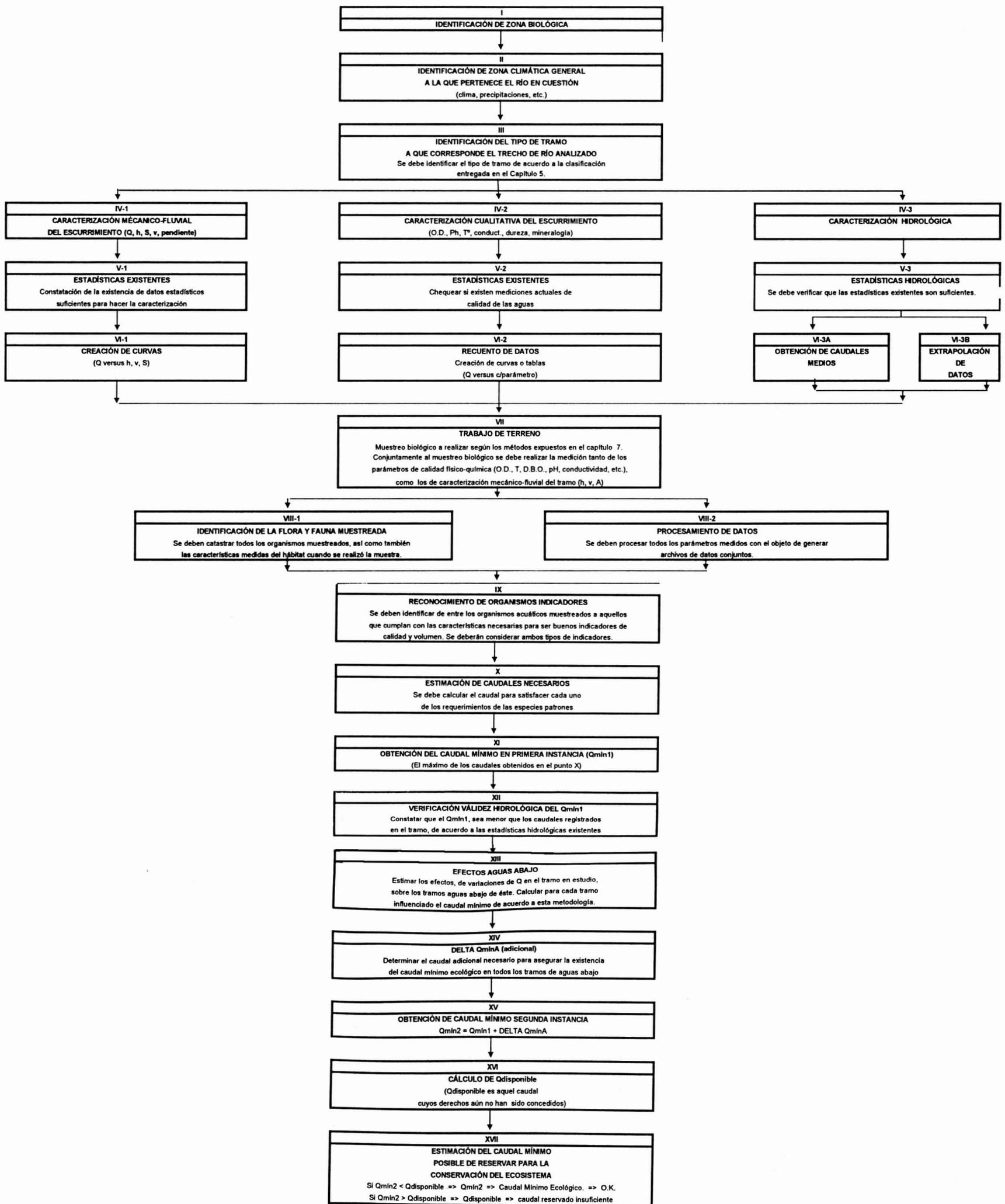


FIGURA 8.1: Diagrama de Flujo de la Metodología para la Determinación de Caudales Ecológicos en casos Especiales

9. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

La metodología propuesta en este trabajo, es sólo válida para preservar el ecosistema existente actualmente y en forma globalizada, debiéndose, como se ha dicho reiteradamente a través del desarrollo de este documento, recurrir a métodos más específicos tanto para evaluar proyectos de gran impacto ambiental como para recuperar la biota de un cauce.

En general la mayoría de los métodos han tomado como base para su desarrollo a algunas especies de peces (específicamente truchas y salmonideos), debido a que los estudios existentes sobre requerimientos de hábitat de las especies tratan en su mayoría sobre ellos debido a su importancia en la economía. Pese a esto, en la literatura se califican a los criterios existentes como relativamente conservadores e incluso los autores de la metodología IFIM, recomiendan su aplicación, justificándose según ellos estudios de la envergadura de los Caudales Incrementales, sólo en casos específicos como se expuso en los párrafos anteriores. Se debe considerar además que existen requerimientos específicos en las épocas de incubación y desove de los peces, que serán restrictivas del caudal mínimo debiendo en dichas épocas definirse caudales especiales si el previamente definido no satisface los requerimientos. Actualmente no existen en el país publicaciones con los requerimientos de las especies nativas de peces y sería importante realizar estudios tendientes a definirlos con el objeto de incluir sus requerimientos en la evaluación de los caudales mínimos y poder preservarlas.

En el análisis de tendencia sobre las variaciones de algunos parámetros químicos considerados de interés para la preservación de la biota (pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad), se demostró que la influencia del caudal en dichos parámetros no resulta relevante en la mayoría, registrándose una tendencia clara en la conductividad donde el caudal adquiere gran relevancia para rangos de caudales pequeños, manteniéndose un rango en los valores de la conductividad relativamente constante para caudales mayores. Según esto la conductividad sería uno de los parámetros que podría limitar el valor del caudal mínimo con el fin de mantenerla en un rango apropiado para la supervivencia de las especies existentes. Cabe hacer notar que los análisis realizados con las estadísticas existentes son sólo válidos como referencia, puesto que los muestreos no obedecen ni a horarios ni a fechas definidas, por lo que no se puede obtener una variación estacional real, utilizando por ejemplo valores medios diarios.

Se insiste en que las especies ubicadas en el nivel más alto de la cadena trófica, sirven sólo como indicadores de volumen (cantidad de caudal necesario) y no como indicadores de calidad, pues son las últimas en desaparecer. No se recomienda el uso de peces o depredadores tope como indicadores únicos de la sanidad ambiental de los ecosistemas acuáticos, se aconseja su utilización en la medida que se acompañe de otro indicador biológico que se ubique en los estratos primarios de la cadena trófica. El problema de los peces, para ser utilizados como indicadores únicos, es entre otras cosas que, al estar ubicados en la cúspide de la cadena alimentaria son los últimos en desaparecer estando, en dicho caso, la situación de deterioro del río, en su fase terminal; además, los peces viajan a lo largo de los ríos y el hecho de encontrarlos en un determinado lugar, no siempre significa que las condiciones del entorno, en ese punto, sean las adecuadas para su supervivencia, ya que este lugar puede ser sólo de tránsito.

Previo a la aplicación de criterios de caudal ecológico, se debe asegurar, a través de

normativa estricta, la calidad de las descargas contaminantes, ya sean industriales o domésticas.

Se debe legislar, además, expresamente sobre que medidas se tomarán en períodos de sequía o cuando el caudal del río sea menor al caudal mínimo ecológico recomendado; por ejemplo, impedir las extracciones y/o descargas al río.

Se recomienda legislar sobre los usos no consuntivos del agua, que afectan el medio ambiente. El agua requerida por el medio es un beneficio para todos los usuarios de un sistema y no debería pagarse para conseguirla de vuelta, más aún, si nadie pagó antes para quitársela al medio (Jensen, 1994).

La determinación de la demanda ambiental, para la preservación del medio acuático y su entorno, debe considerar los siguientes aspectos:

- Hidrológico: características del régimen de escurrimiento natural del tramo.
- Sanitario: en concordancia con los objetivos de calidad fijados para el tramo.
- Ecológico: que atenderá a la preservación de los ecosistemas fluviales.
- Cualquier otra circunstancia, paisajística o de otra índole que en forma justificada exija el establecimiento de un Q_{\min} .

Para llevar a cabo un plan de recuperación y mantención de la biota en los ríos, es indispensable que se norme al respecto, con el fin de respaldar todas las disposiciones necesarias que se deban adoptar. Se requieren normas para regular el uso de los ríos con una perspectiva ecológica que vaya más allá de la mantención de cierta calidad físico-química de las aguas, velando por la preservación del ecosistema acuático. Las normas deben contener prohibiciones o limitaciones en el uso de los recursos naturales que componen los ecosistemas reófilos (en general los recursos más afectados son el agua y el suelo, debido a extracciones no reguladas e indiscriminadas de material), contemplándose restricciones de ciertas actividades en regiones, áreas y localidades, así como también, el otorgamiento de licencias de explotación. Se deben definir estándares de uso y prácticas culturales aceptables, reguladas por la autoridad, de modo que los agentes que degraden el medio en cuestión, sean sancionados judicialmente. Deberá contemplarse también la existencia de incentivos económicos para aquellos agentes que eviten procesos de contaminación y sobre-explotación.

Se debe tender a un uso eficiente del recursos y el Estado debe velar por la existencia de un Caudal Ecológico, como un usuario más del sistema. Si se usan métodos de respuestas biológicas, las normas deben permitir que el Estado participe en el mercado del agua como un agente cualquiera.

Como se ha indicado, para la cuantificación de caudales mínimos se recurre al uso de varios procedimientos. Entre los usados se cuentan el método de Tennant y del Perímetro Mojado, los que se aplican en la primera etapa de planificación de aprovechamiento de las cuencas. Con respecto al método del Perímetro Mojado, su aplicación sería válida previa a una visita a terreno en la que se definiere una sección crítica apropiada, puesto que su aplicación en cualquier parte de un tramo sobreestima en demasía los valores de los caudales mínimos, siendo estos en general los valores correspondientes a las secciones definidas por el cauce normal de un río por debajo de las secciones definidas en las épocas de crecidas, que corresponde al punto de inflexión definido en los gráficos de caudal versus perímetro mojado.

La conclusión final, con respecto al cálculo de caudales ecológicos, es que no existe una única manera para la obtención de caudales mínimos, la elección del método y tecnología depende

de las circunstancias. Literalmente se han usado docenas de aproximaciones, modelos, y herramientas, cada una desarrollada para satisfacer una necesidad específica.

Para casos específicos, como proyectos de gran envergadura o proyectos que afecten a especies protegidas o reservas nacionales, se deben realizar estudios detallados, encargados a expertos calificados integrantes de una comisión interdisciplinaria.

Finalmente es necesario reafirmar que para ir al ritmo de los tiempos actuales en cuanto a la protección del medio ambiente, es indispensable revisar la legislación existente con el fin de incorporar las normativas necesarias para asegurar la preservación de los ecosistemas acuáticos y el óptimo manejo del recurso agua.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Allan D. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall.
- Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid. Valorización Ecológica de la Red Fluvial de la Comunidad de Madrid.
- Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, 1990. Codificación de Cauces de la Comunidad de Madrid.
- Arthington A. y B. Pusey, 1994 "Essential Flow Requirements of River Fish Communities" Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 1-8.
- Ayala y Cabrera Ingenieros Consultores Ltda., 1996. Caudales Ecológicos Caracterización Hidroambiental. Etapa I. Informe Final. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos. Ministerio de Obras Públicas.
- APHA-AWWA-WEF. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 19th, edition 1995.
- Boyd K., 1994 "Getting Environmental Flows" Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 36-43.
- Burch MD., Baker PD., Steffensen DA., Bursill DB., Bain DB., Ganf y JD. Brookes, 1994 " Critical Flow and Blooms of the Cyanobacterium Anabaena Circinalis in the River Murray South Australia". Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 44-51.
- Burns A., Sheldon F. y K.F. Walker, 1994 "Managing Rivers from the Bottom Up-The Importance of Litoral Biofilms" Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 52-58.
- Cairns J., 1972. Water Pollution Microbiology, ed. R. Mitchell. John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
- Campos H., Arenas J., Steffen W. "Perspectivas de Desarrollo de Cultiivo e Industrialización de Especies Dulceacuícolas en Chile".
- Canadian Coucil of Resource and Environment Ministers. "Canadian Water Quality Guidelines". December 1995.

- Casado C., Castillo V., y Cubillo F., 1990. Caudales Ecológicos, Estudio de Regímenes de Caudales Mínimos en Cauces de la Comunidad de Madrid. Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, 1^{era} edición
- Castillo, G.; 1988. Estudio sobre control de calidad de aguas. Informe final Proj. IDRC, Water Quality Control 1986-1988 DIC/U. de Chile.
- Castillo, G. y col.; 1991. Estudio de calidad de aguas de riego Región Metropolitana (*Vibrio cholerae* en el ambiente acuático en Chile. Actas IX Congreso Chileno Ing. Sanitaria)
- Castillo G, Prado V., y otros; 1993. Vigilancia de *Vibrio cholerae* en aguas superficiales utilizadas en riego de hortalizas en la Región Metropolitana. Actas XV Congreso Chileno AChM.
- Cross H., Ardill S. y J.Shaw, 1994. "Management of Environmental Flows in NSW a review of Techniques". Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wastewater Association Inc. 70-75
- Cullen P., 1994 "A Rationale for Environmental Flows" Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wastewater Association Inc. 76-83
- Davis J. A. 1986 "Boundary Layers, Flow Microenvironments and Stream Benthos". Department of Civil Engineering University of Western Australia. Limnology in Australia. 19, 293-312
- Denham R. y T. Mc Auliffe. 1994 "Environmental Flow Mangement in Regulated Rivers: a Case Study of the Lachalan Valley". Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 87-94.
- Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1995. "Diseño del Sistema de Permisos de Emisión Transables" CONAMA.
- EIFAC Working Party on "Water Quality Criteria for European Freshwater Fish". EIFAC Technical Paper 37, Rome 1987.
- Feachem R.G. 1983. Sanitation and Disease: health aspects of excreta and wastewater management. John Wiley, Chichester.
- Gan K. and McMahon T., 1990. "Variability of Results from the Use of PHABSIM in Estimating Habitat Area". Research & Management, vol. 5, 233-239

- Gippel C.J y B.L. Finlayson, 1993 "Downstream Environmental Impacts of Regulation of the Goulburn River, Victoria" Hydrology and Water Resources Symposium, Newcastle. Published by The Institution of Engineers, Australia. NCP 93/14 33-38.
- Gippel C.J., Stewardson M.J., Jaysuriya M.D.A., Finlayson B.L. y T.A. Mc Mahon, 1994 "Development of a Holistic Flow Management Strategy for the Thompson River, Victoria". Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 111-118.
- Gippel C.J., Stewardson M., 1995. "Development of an Environmental Flow Management Strategy for the Thompson River, Victoria, Australia". Research & Management, vol. 10, 121-135.
- Gore J.A. and R.D. Judy, 1981. "Predictive Models of Benthic Macroinvertebrete Density for Use in Instream Flow Studies and Regulated Flow Management". Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 38: 1363-1370
- Gore J. A. 1978 "A technique for predicting in-stream flow requirements of benthic invertebrates". Freshwater Biol. 8, 141-51
- Haslam S.M. et al., 1990. River Pollution: An Ecological Perspective. Belhaven Press (a Division of Pinter Publishers), London, and New York.
- Hydrologic Desing for Water Use. Chaper Twenty-seven. Part 4, Design for Instream Habitats.
- Jensen A., 1994 "Flow Management in the Lower Murray" Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 125-133.
- Jofré J., Araujo R. and Puig A. 1995. Bacteriophages of Bacteroides fragilis as indicators of human faecal pollution. Proc. 7th ISME, SP., Brazil.Symp. Health related microorganisms in the environment S2-3.2:11.
- Knights P. y Fitzgerald B. 1994 "A Pragmatic Approach to Environmental Flow Management" Environmental Flows Seminar, Canberra Australian Water Wasterwater Association Inc. 134-141.
- Koch R. 1894. On the bacteriological diagnosis of cholera, water filtration and cholera, and the cholera in Germany during the winter 1892-1893. Ed. David Douglas, Edinburgh.
- Kott Y. Roze N. Sperber S. and Betzer N. 1974. Bacteriophages as viral pollution indicators. Water res. 8: 165-171.

- McJunkin F.E. 1988. Agua y salud humana. Ed. Limusa S.A. México.
- Mathur D. et al., 1985. "A Critique of the Instream Flow Incremental Methodology". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42(4): 825-831.
- Oda T., Nakajima S. and Sugimura T., 1991. "Relationships Between Water Quality, Morphological Factors in River Basins, the Diversity Index and Biotic Index". *Environmental Technology*, vol. 12. pp1147-1155
- Organización Mundial de la Salud, OMS. 1995. Guías para la calidad del agua potable. Vol 1. Recomendaciones 2ª ed. Ginebra.
- Orth D.J., "Food Web Influences on Fish Population Responses to Instream Flow". *Bull Fr. Pêche Piscic*, 1995.
- Orth D.J., 1995. "Strengths and Weaknesses of Instream Flow Methodologies".
- Power, M.; 1992. "Hábitat Heterogeneity and the Functional Significance of Fish in River Food Webs. *Ecology* 73, 1675-88.
- Rapoport E. et Dirección C1. Delamare Deboutteville (Paris) (Caracas), 1968. *Biologic de L'Amérique Australe*. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique 15, Quai Anatole-France-Paris-VII.
- Reeves A., 1994 "Urgent Need for Holistic Approach to Environmental Flows" *Environmental Flows Seminar, Canberra*. Australian Water Wastewater Association Inc. 163-169
- R&Q Ingeniería Ltda. 1993 "Caudales Ecológicos en Regiones IV, V y Metropolitana" *Dirección General de Aguas. MOP*.
- Rohlich G.A. et al. 1977. *Drinking water and health*. Safe Drinking Water Committee, National Academy of Sciences. Washington D.C.
- Salazar et al., 1994. Caudales Ecológicos para los Ríos de las Regiones IV, V y Metropolitana. *Terceras Jornadas de Hidráulica Francisco Javier Domínguez*, pp 375-390.
- Silva A., Salazar C. y G. Cabrera. 1994 "Consideraciones Conceptuales sobre los Caudales Ecológicos" *Terceras Jornadas Francisco Javier Domínguez*. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Concepción, Chile.
- Simonetty J., Arroyo M., Spotorno A. y Lozada E. "Diversidad Biológica de Chile".

- Snow J. 1854. On the mode of communication of cholera. Ed. J. Churchill, Londres. 162 págs. 2th Ed. The Common-Wealth Found. N. York, 1936.
- Sobsey M.D. 1995a. Detection and ocurrence of enteric virus pathogens and indicators in water. Proc. 7th ISME, SP., Brazil.Symp. Health related microorganisms in the environment S2-3.1:11.
- Stalnaker, C.; Lamb, L.;Henriksen, J.; Bovee, K.; Bartholow, J.. The Instream Flow Methodology. A Primer for IFIM. National Biological Service - Biological Report 29, Marzo 1995.
- Stazner B., 1981 "The relation between "hydraulic stress" and microdistribution of benthic invertebrates in a lowland running water system", the Schierensee brooks (North Germany) Arch. Hydrobiol. 91 82), 192-218.
- Stazner B., 1981 "A method to estimate the population size of benthic macrinvertebrate in streams". Oecologia (Berl.) 51, 157-1.
- Swales S., 1994 "Steamflow Requirements of Native Fish in NSW Rivers-The Rol and Importance of Flushing Flows" Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 178-183.
- Swales S., Bishop K.A. y J.H. Harris, 1994 "Assesment of Environmental Flows for Native Fishin the Murray-Darling Basin-A Comparison of Methods" Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 184-191.
- TESAM, 1995. "Elaboración de una Propuesta de Política para el Control de la Contaminación Hídrica de Origen Industrial".
- Trihey, E.W., and Stalnaker, E.B.; 1985. "Evolution and Application of Instream Flow Methodologies to Small Hydropower Development: An Overview of the Issues. Pages 176-183 in F. W. Olson, R. G. White, and R.H. Hamre, editors. Proceedings of the Symposium on Small Hydropower and Fisheries. The American Fisheries Society, Denver, Colorado.
- United National Environment Programme. World Health Organization. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Meteorological Organization. "GEMS Global Environment Monitoring System. GEMS/Water Operational Guide", Burlington, Ontario 1992.
- Universidad de Chile, 1994. Plan Nacional para Combatir la Desertificación. Comparación Nacional Forestal FAO/PNUMA.

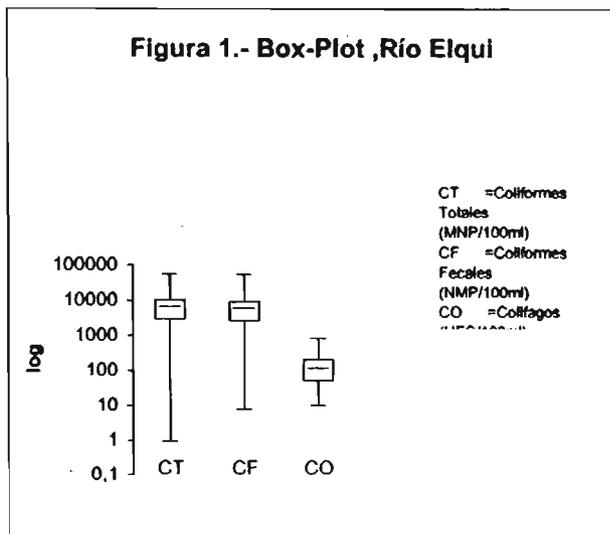
- Walter A., Burgess G. y P. Johnston, 1994. "Assessment of a Process for Developing Environmental Flows" Environmental Flows Seminar, Canberra. Australian Water Wasterwater Association Inc. 195-201.
- Watt T.A. 1993. Introductory statistics for Biology Students. Ed. Chapman & Hall, London.
- Wilhm J.C., 1967. Water Pollut. Contr. Fed., 39:1673.
- World Meteorological Organization. Operational Hydrology Report N° 27 Manual on Water - Quality Monitoring WHO N°680, 1988.

ANEXO A

ANTECEDENTES SOBRE CALIDAD MICROBIOLÓGICA REUNIDOS DENTRO DEL ÁREA EN ESTUDIO

Tabla 1.- RÍO ELQUI

Parámetros	n°	valored.	Aritmetied.	Geom Mediana	valor	Mín/valor	Máx	esv.	Est
Colif. Tot:	26	8,4E+3	1,7E+3	1,6E+3	9,2E-1	5,4E+4	1,5E+4		
Colif. Feca:	26	3,0E+3	2,7E+2	2,4E+2	7,8E+0	5,4E+4	1,1E+4		
Colifagos	26	1,6E+2	7,1E+1	5,8E+1	1,0E+1	7,9E+2	2,3E+2		



2.- RÍO MAIPO EN CASAS VIEJAS (Fuente Agua Potable EMOS. con predecantación)

Parámetros	n°	valored.	Aritmetied.	Geom Mediana	valor	Mín/valor	Máx	esv.	Est
Colif. Tot:	11	1,6E+3	1,4E+3	1,6E+3	2,9E+2	3,0E+3	7,7E+2		
Colif. Feca:	11	5,5E+2	4,8E+2	5,0E+2	2,7E+2	1,7E+3	4,0E+2		
Colifagos	11	2,9E+1	7,0E+0	1,2E+1	<1	1,7E+2	4,9E+1		

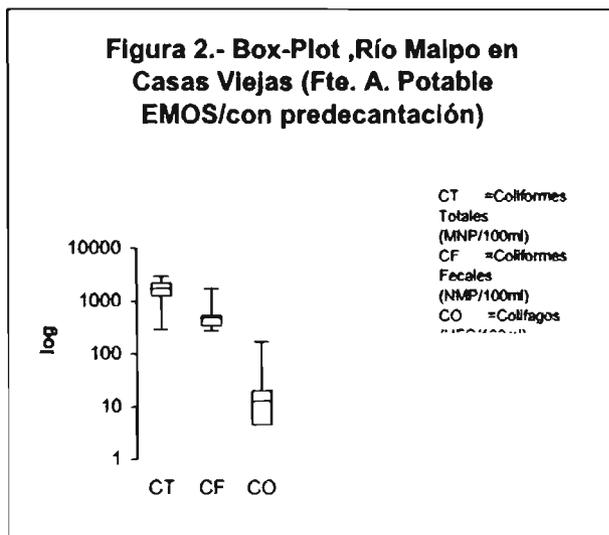


Tabla 3.- RÍO MAIPO EN VIZCACHAS (Fuente Agua Potable EMOS, con predecantación)

Parámetros	n°	valored.	Aritmetfed.	Geom Mediana/	alor	Mín/	alor	Máx	esv.	Est
Colif. Tot.	12	2,7E+3	1,6E+3	1,5E+3	3,7E+2	1,2E+4	3,5E+3			
Colif. Fec.	12	6,8E+2	5,6E+2	5,4E+2	1,3E+2	1,5E+3	4,3E+2			
Colifagos	12	1,6E+1	1,0E+1	1,2E+1	2,3E+0	8,3E+1	2,2E+1			

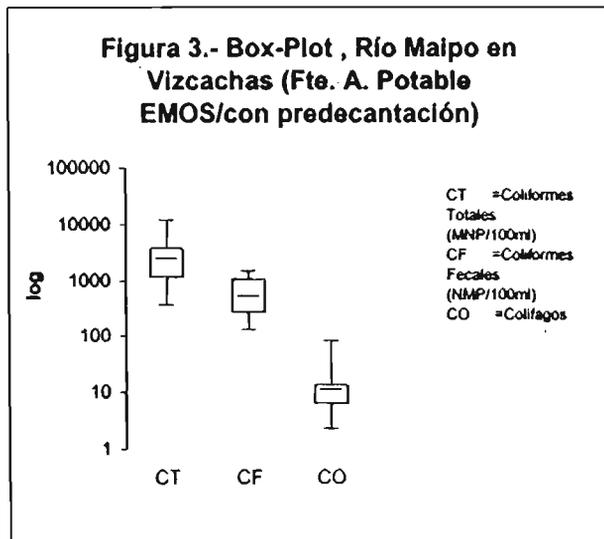


Tabla 4.- RÍO MAIPO EN VIZCACHITAS (Fuente Agua Potable EMOS, con predecantación)

Parámetros	n°	valored.	Aritmetfed.	Geom Mediana/	alor	Mín/	alor	Máx	esv.	Est
Colif. Tot.	12	4,1E+3	2,0E+3	1,4E+3	3,4E+2	1,6E+4	5,7E+3			
Colif. Fec.	12	7,8E+2	6,6E+2	6,9E+2	2,2E+2	1,5E+3	4,3E+2			
Colifagos	12	5,6E+1	9,0E+0	6,9E+0	<1	5,8E+2	1,7E+2			

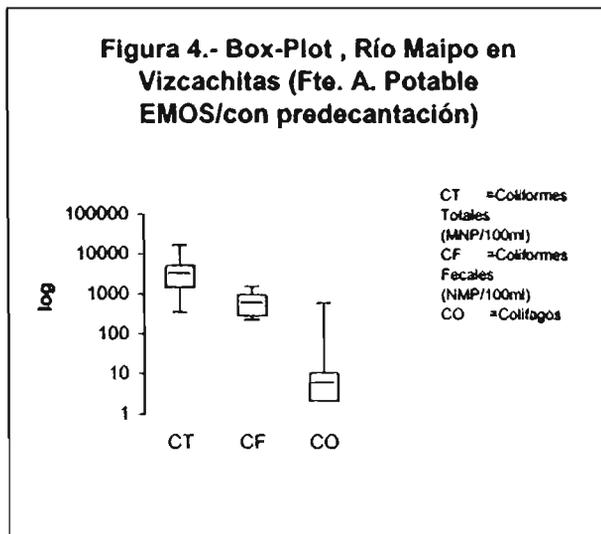


Tabla 5.- ESTERO EL MANZANO (Fuente Agua Potable EMOS.)

Parámetros	n°	valored.	Aritmetfed.	Geom Mediana'	alor	Min'	alor	Máx	esv.	Est
Colif. Tot.	11	4,8E+2	2,3E+2	1,5E+2	5,2E+1	1,6E+3	5,9E+2			
Colif. Fec.	11	8,9E+0	6,6E+0	9,9E+0	2,0E+0	2,0E+1	6,4E+0			
Colifagos	11	1,2E+1	2,0E+0	1,0E+0	<1	5,3E+1	1,9E+1			

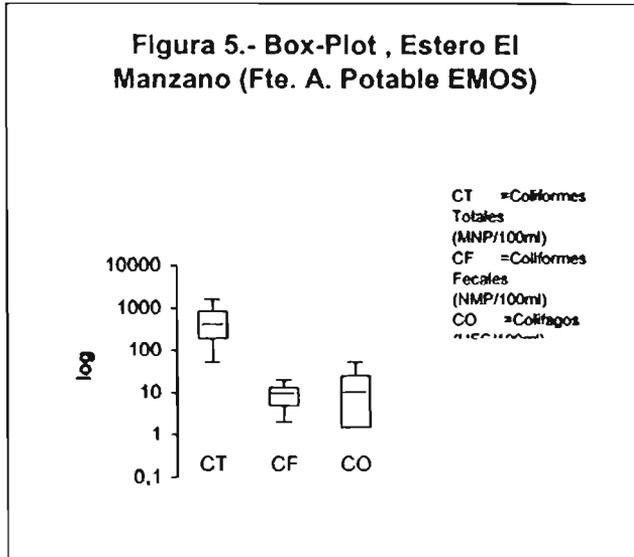


Tabla 6.- LAGUNA NEGRA (Fuente Agua Potable EMOS.)

Parámetros	n°	valored.	Aritmetfed.	Geom Mediana'	alor	Min'	alor	Máx	esv.	Est
Colif. Tot.	12	3,8E+2	1,3E+2	1,4E+2	8,4E+0	1,2E+3	4,7E+2			
Colif. Fec.	12	4,4E+0	3,7E+0	3,7E+0	2,0E+0	9,8E+0	2,7E+0			
Colifagos	12	9,7E-1	<1	1,0E+0	<1	3,3E+0	1,2E+0			

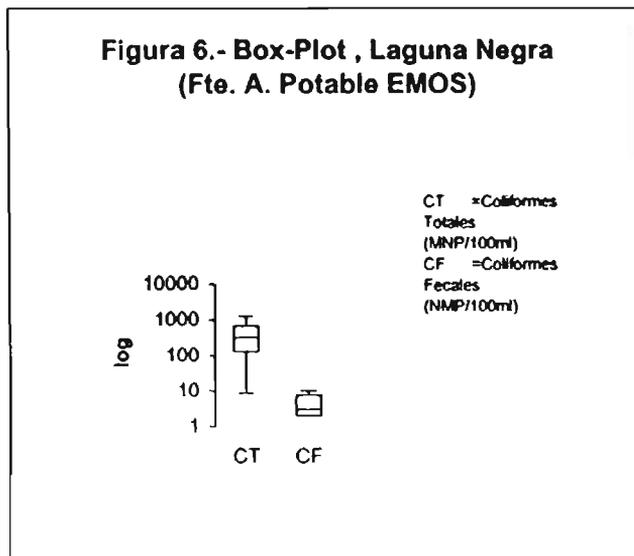


Tabla 7.- ESTERO EL CANELO (Fuente Agua Potable EMOS.)

Parámetros n° valored. Aritmetfed. Geom Mediana/valor Min/valor Máx esv. Est

Colif. Tot:	11	4,8E+2	2,0E+2	2,1E+2	2,0E+0	1,6E+3	5,3E+2
Colif. Fec:	11	1,0E+1	5,3E+0	2,8E+0	2,0E+0	5,4E+1	1,5E+1
Colifagos	11	5,7E-1	<1	0,0E+0	<1	3,3E+0	1,0E+0

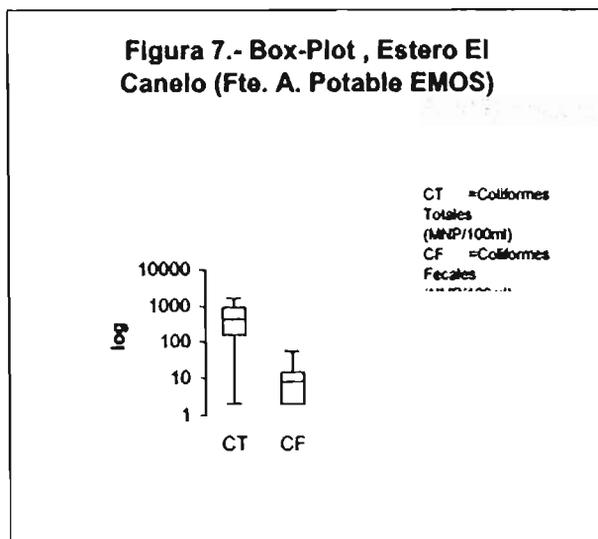


Tabla 8.- ESTERO ARRAYÁN (Fuente Agua Potable LO CASTILLO)

Parámetros n° valored. Aritmetfed. Geom Mediana/valor Min/valor Máx esv. Est

Colif. Tot:	7	4,8E+2	2,6E+2	2,8E+2	4,1E+1	1,6E+3	5,4E+2
Colif. Fec:	7	4,6E+1	2,4E+1	2,9E+1	2,8E+0	1,6E+2	5,4E+1
Colifagos	7	7,1E-1	<1	0,0E+0	<1*	5,0E+0	1,9E+0

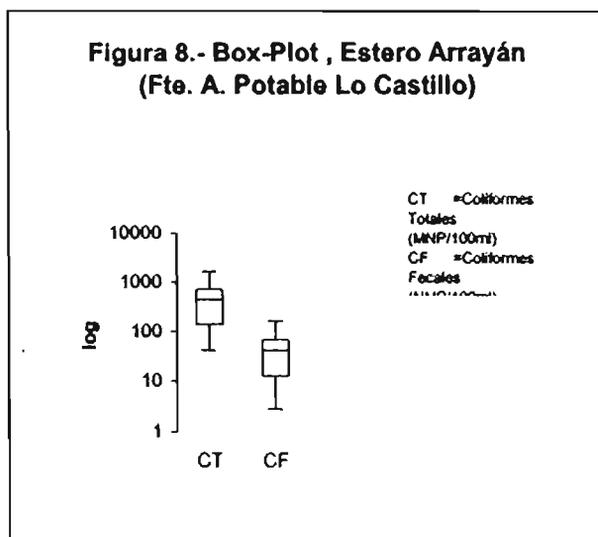


Tabla 9.- LAGUNA LA DEHESA (Fuente Agua Potable LO CASTILLO)

Parámetros n°	valored.	Aritmetied.	Geom Mediana/valor	Mín/valor	Máx	esv.	Est
Colif. Tot:	7	1,5E+2	8,8E+1	1,3E+2	8,8E+0	3,5E+2	1,3E+2
Colif. Fec:	7	1,9E+1	7,2E+0	4,8E+0	2,0E+0	9,8E+1	3,5E+1
Colifagos	7	1,3E+0	<1	0,0E+0	<1	5,0E+0	2,0E+0

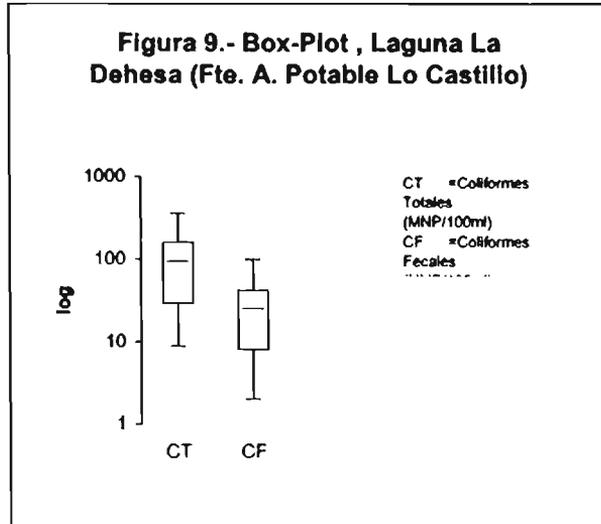


Tabla 10.- RÍO MAPOCHO (Fuente Agua Potable LO CASTILLO)

Parámetros n°	valored.	Aritmetied.	Geom Mediana/valor	Mín/valor	Máx	esv.	Est
Colif. Tot:	7	6,0E+2	3,3E+2	4,1E+2	1,8E+1	1,6E+3	5,6E+2
Colif. Fec:	7	2,6E+2	6,7E+1	5,6E+1	2,0E+0	1,0E+3	3,8E+2
Colifagos	7	2,9E-1	<1	0,0E+0	<1	1,0E+0	4,9E-1

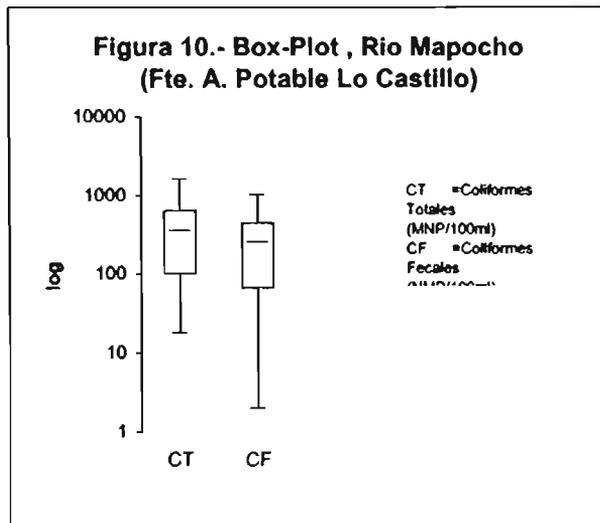


Tabla 11.- RÍO MAPOCHO (PUDAHUEL)

Parámetros n°	valored.	AritmetMed.	Geom Mediana	valor Min	valor Máx	esv.	Est
Colif. Fec:	28	3,9E+7	2,2E+7	2,8E+7	2,7E+4	1,3E+8	3,5E+7
Colifagos	25	9,9E+5	7,9E+5	8,4E+5	2,4E+5	2,6E+6	5,2E+6

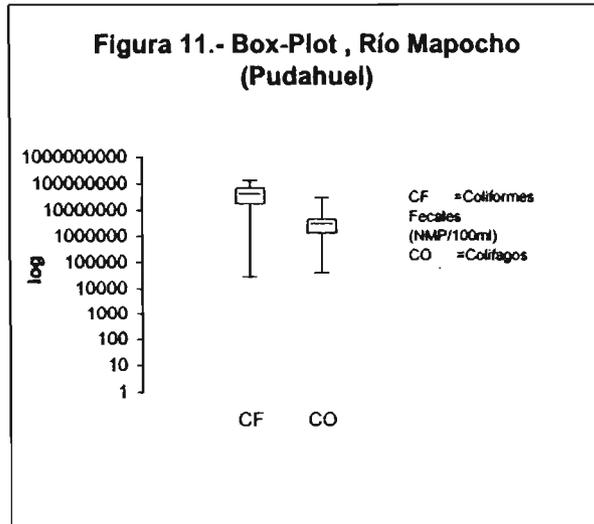


Tabla 12.- RÍO CAUTÍN EN CAJÓN

Parámetros n°	valored.	AritmetMed.	Geom Mediana	valor Min	valor Máx	esv.	Est
Colif. Tot:	28	1,7E+4	8,6E+3	1,0E+4	1,1E+2	9,2E+4	2,0E+4
Colif. Fec:	28	8,1E+3	2,6E+3	2,4E+3	3,3E+1	9,2E+4	1,9E+4
Colifagos	28	5,9E+2	2,8E+2	2,4E+2	3,0E+1	7,5E+3	1,4E+3

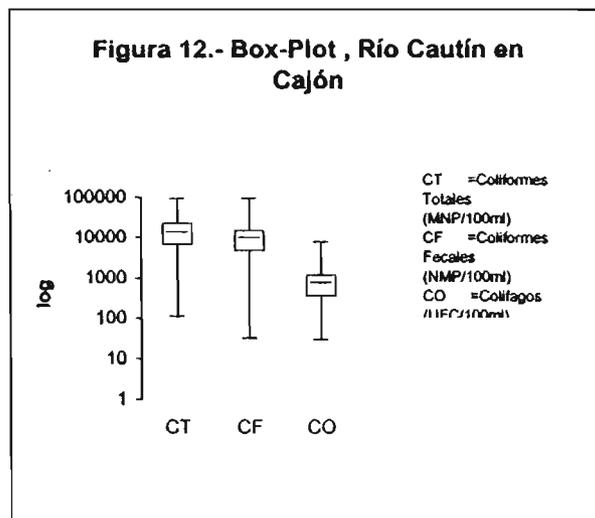


Tabla 13.- RÍO EL CLARILLO (PIRQUE)

Parámetros n°	valores.	Aritmetied.	Geom Mediana'	valor	Mín'	valor	Máx	esv. Est
Colif. Tot:	3	3,6E+3	3,4E+3	4,0E+3	2,0E+3	4,8E+3	1,4E+3	
Colif. Fec:	3	1,6E+3	1,6E+3	1,6E+3	1,4E+3	1,8E+3	2,0E+2	
Colifagos	3	1,6E+2	1,5E+2	1,9E+2	8,5E+1	2,0E+2	6,4E+1	

Tabla 14: CUENCA RÍO TOLTÉN

FECHA	RÍO PUCÓN ANTES VILLARRICA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
23-09-1993	7,0E+1	3,3E+1
23-09-1993	RÍO TOLTÉN SALIDA VILLARRICA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
23-09-1993	2,4E+3	3,5E+2
23-09-1993	RÍO TOLTÉN EN COIPÚE	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
23-09-1993	5,4E+2	3,5E+2

Tabla 15: CUENCA RÍO IMPERIAL

FECHA	RÍO CHOLCHOL EN CHOLCHOL	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
04-12-1993	3,3E+3	4,0E+2
04-12-1993	RÍO CHOLCHOL EN NUEVA IMPERIAL	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
04-12-1993	1,7E+3	4,5E+2
05-12-1993	RÍO CAUTÍN EN BALSEADERO BOROA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
05-12-1993	4,9E+3	2,2E+3
05-12-1993	RÍO QUEPE EN QUEPE	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
05-12-1993	7,8E+2	4,5E+2
07-12-1993	RÍO IMPERIAL EN CARAHUE	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
07-12-1993	1,7E+3	1,1E+3

Tabla 16: CUENCA RÍO BUENO

FECHA	RÍO RAHUE EN OSORNO	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
28-09-1993	1,7E+5	1,7E+5
28-09-1993	RÍO RAHUE EN FORRAHUE	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
28-09-1993	1,6E+4	9,2E+3
28-09-1993	RÍO DAMAS EN PTE. DAMAS (RUTA 5)	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
28-09-1993	2,4E+3	2,4E+3
27-10-1993	RÍO DAMAS ANTES RÍO RAHUE	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
27-10-1993	5,4E+4	3,5E+4
28-09-1993	RÍO PILMAIQUÉN EN PTE. PILMAIQUÉN	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
28-09-1993	5,4E+2	9,5E+1
26-09-1993	RÍO LLOLLEHUE, FDO. ESPERANZA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
26-09-1993	1,6E+5	1,4E+4
27-10-1993	RÍO BUENO EN PTE. RUTA 5	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
27-10-1993	2,2E+2	1,1E+1

Tabla 17: CUENCA RÍO VALDIVIA

FECHA	RÍO CALLE-CALLE CERCA LOS LAGOS	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
25-09-1993	5,4E+3	1,1E+3
27-10-1993	RÍO VALDIVIA AGUAS ABAJO VALDIVIA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	7,0E+2	3,3E+2
24-09-1993	RÍO CALLE-CALE CAMINO NIEBLA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	5,4E+2	9,5E+1
23-09-1993	RÍO LEUFUCADE EN PAYA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	7,9E+1	7,9E+1
24-10-1993	RÍO CRUCES EN PTE. CAYUMAPU	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	9,2E+2	4,9E+1
24-09-1993	RÍO CRUCES EN PTE. RUCACO	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	3,5E+2	2,4E+2
24-09-1993	RÍO INAQUE EN MAFIL	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	1,6E+3	1,6E+3

Tabla 18: CUENCA RÍO MAULLÍN

FECHA	RÍO MAULLÍN DESEMBOCADURA LAGO	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
29-09-1993	1,1E+4	1,3E+3
29-09-1993	RÍO MAULLÍN EN LAS QUEMAS	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	7,0E+1	2,3E+1

Tabla 19: CUENCA RÍO CHAMIZA

FECHA	LAGO CHAPO EN DESEMBOCADURA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
29-09-2003	4,0E+0	2,0E+0
30-09-1993	RÍO CHAMIZA ANTES RÍO CHICO	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	2,3E+1	4,5E+0
30-09-1993	RÍO CHICO ANTES RÍO CHAMIZA	
	Colif. Tot. [NMP/100 ml]	Colif. Fec. [NMP/100 ml]
	3,1E+1	3,1E+1

Tabla 20: IX REGIÓN

FECHA	RÍO PURÉN EN TRANAMÁN	
	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
03-12-1993	1,0E+4	7,0E+3
	RÍO TRAIQUÉN EN RUTA 5	
03-12-1993	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
	9,2E+4	1,1E+4
03-12-1993	RÍO TRAIQUÉN EN TRAIQUÉN	
	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
03-12-1993	1,7E+6	2,3E+5
	RÍO QUINO EN RUTA 5	
03-12-1993	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
	3,5E+2	1,7E+2
04-12-1993	RÍO QUILLÉN EN RUTA 5	
	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
	2,3E+3	2,3E+3

Tabla 21: PROVINCIA DEL MALLECO

FECHA	RÍO MALLECO	
	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
01-03-1992	5,4E+4	2,2E+4
	RÍO MALLECO / PUENTE FFCC.	
01-03-1992	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
	3,5E+3	2,4E+3
01-03-1992	RÍO PICOIQUÉN	
	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
01-03-1992	1,4E+4	9,5E+3
	RÍO REHUE	
01-03-1992	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
	9,5E+2	9,5E+2
01-03-1992	RÍO VERGARA	
	Colif. Tot. (NMP/100 ml)	Colif. Fec. (NMP/100 ml)
	2,2E+6	2,2E+6

Tabla 22
Clasificación de la Calidad Microbiológica de ríos
chilenos, según normativas oficiales.

Cuerpo de Agua	Norma Chilena Nº	Calificación
Río Elqui	777 1333	Regular Apta
Río Maipo en Casas Viejas	777 1333	Regular Apta
Río Maipo en Vizcachas	777 1333	Regular Apta
Río Maipo en Vizcachitas	777 1333	Regular Apta
Estero El Manzano / EMOS.	777 1333	Regular Apta
Laguna Negra / EMOS.	777 1333	Regular Apta
Estero El Canelo / EMOS.	777 1333	Regular Apta
Estero Arrayan / Lo Castillo	777 1333	Regular Apta
Laguna La Dehesa / Lo Castillo	777 1333	Regular Apta
Río Mapocho / Lo Castillo	777 1333	Regular Apta
Río Mapocho / Pudahuel	777 1333	- No Apta
Río Cautin en Cajon	777 1333	Deficiente No Apta

Nota: NCh 777 Of. 71 para fuentes de Agua Potable
NCh 1333 Of. 87 para diferentes Usos

ANEXO B

PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS DE INTERÉS PARA LA PRESERVACIÓN DEL ECOSISTEMA ACUÁTICO

TABLA 1: CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS POR CUENCA¹

PARÁMETRO : pH

REGIÓN	CUENCA	RANGO		FUENTE ⁽²⁾
		Mínimo	Máximo	
IV	Elqui	4.80	8.20	Dic. 93 165/93
	Limarí	7.20	8.40	Julio 94 103/4
	Choapa	6.40	8.10	Sept. 92 165/92
V	La Ligua	6.45	7.40	Mayo 94 080/94
	Petorca	7.50	7.75	Mayo 94 080/94
	Aconcagua	7.25	8.10	Mayo 94 080/94
R.M.	Maipo	4.50	7.95	Enero 94 007/94
VI	Rapel	5.80	8.30	Oct. 94 164/94
VII	Mataquito	8.00	8.15	Marzo 94 054/94
	Maule	6.15	8.35	Abril 94 054/94
VIII	Itata	6.90	8.05	Nov. 92 177/92
	Bío-Bío	6.60	7.70	Agost.92 120/92
IX	Imperial	6.55	7.75	Marzo 92 43/92
	Toltén	6.80	7.80	Marzo 92 43/92
X	Valdivia	7.09	7.30	Marzo 92 88/92
	Bueno	6.92	7.77	Abril 92 88/92
	Mauñín	7.38	7.38	Abril 92 88/92
	Puelo	-	-	No hay anteced.

(1) Para cada parámetro se ha considerado el valor mínimo y máximo registrado en la cuenca sin considerar ubicación geográfica ni época de muestreo.

(2) Archivo Laboratorio Hidrológico DGA.
 Experta Consultada: Sra. Rosa Sandoval.

TABLA 2: CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS POR CUENCA¹

PARÁMETRO : DUREZA (mg/1CaCO₃)

REGIÓN	CUENCA	RANGO		FUENTE ⁽²⁾
		Mínimo	Máximo	
IV	Elqui	49.9	759.6	Dic. 93 165/93
	Limarí	73.3	288.5	Julio 94 103/4
	Choapa	48.0	447.5	Sept. 92 165/92
V	La Ligua	98.5	357.0	Mayo 94 080/94
	Petorca	58.2	222.7	Mayo 94 080/94
	Aconcagua	111.9	332.6	Mayo 94 080/94
R.M.	Maipo	56.0	544.0	Enero 94 007/94
VI	Rapel	78.8	270.0	Oct. 94 164/94
VII	Mataquito	43.8	123.3	Marzo 94 054/94
	Maule	28.7	48.0	Abril 94 054/94
VIII	Itata	12.6	20.3	Nov. 92 177/92
	Bío-Bío	5.10	8.20	Agost.92 120/92
IX	Imperial	17.2	52.5	Marzo 92 43/92
	Toltén	15.8	28.8	Marzo 92 43/92
X	Valdivia	14.6	19.5	Marzo 92 88/92
	Bueno	15.0	32.0	Abril 92 88/92
	Mauñín	20.5	20.5	Abril 92 88/92
	Puelo	-	-	No hay anteced.

(1) Para cada parámetro se ha considerado el valor mínimo y máximo registrado en la cuenca sin considerar ubicación geográfica ni época de muestreo.

(2) Archivo Laboratorio Hidrológico DGA.
 Experta Consultada: Sra. Rosa Sandoval.

TABLA 3: CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS POR CUENCA¹

PARÁMETRO : OXÍGENO DISUELTO (mg/l)

REGIÓN	CUENCA	RANGO		FUENTE ⁽²⁾
		Mínimo	Máximo	
IV	Elqui	6.90	11.10	Dic. 93 165/93
	Limarí	4.70	12.00	Julio 94 103/4
	Choapa	8.00	11.40	Sept. 92 165/92
V	La Ligua	9.30	11.40	Mayo 94 080/94
	Petorca	11.20	12.80	Mayo 94 080/94
	Aconcagua	7.10	12.80	Mayo 94 080/94
R.M.	Maipo	1.10	11.60	Enero 94 007/94
VI	Rapel	9.80	12.00	Oct. 94 164/94
VII	Mataquito	8.50	11.90	Marzo 94 054/94
	Maule	5.20	11.30	Abril 94 054/94
VIII	Itata	6.80	11.80	Nov. 92 177/92
	Bío-Bío	10.10	12.80	Agost.92 120/92
IX	Imperial	7.00	12.00	Marzo 92 43/92
	Toltén	8.60	9.80	Marzo 92 43/92
X	Valdivia	9.20	11.00	Marzo 92 88/92
	Bueno	9.20	11.40	Abril 92 88/92
	Mauullín	10.40	10.40	Abril 92 88/92
	Puelo	-	-	No hay anteced.

(1) Para cada parámetro se ha considerado el valor mínimo y máximo registrado en la cuenca sin considerar ubicación geográfica ni época de muestreo.

(2) Archivo Laboratorio Hidrológico DGA.
 Experta Consultada: Sra. Rosa Sandoval.

TABLA 4: CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS POR CUENCA¹

PARÁMETRO : TEMPERATURA °C

REGIÓN	CUENCA	RANGO		FUENTE ⁽²⁾
		Mínimo	Máximo	
IV	Elqui	5.0	24.0	Dic. 93 165/93
	Limarí	7.0	15.5	Julio 94 103/4
	Choapa	8.0	17.0	Sept. 92 165/92
V	La Ligua	8.6	16.0	Mayo 94 080/94
	Petorca	8.0	18.0	Mayo 94 080/94
	Aconcagua	5.0	16.0	Mayo 94 080/94
R.M.	Maipo	11.0	24.0	Enero 94 007/94
VI	Rapel	14.0	22.0	Oct. 94 164/94
VII	Mataquito	16.0	23.0	Marzo 94 054/94
	Maule	13.0	20.0	Abril 94 054/94
VIII	Itata	9.0	20.0	Nov. 92 177/92
	Bío-Bío	2.0	13.0	Agost.92 120/92
IX	Imperial	12.0	20.0	Marzo 92 43/92
	Toltén	12.0	18.5	Marzo 92 43/92
X	Valdivia	10.0	18.0	Marzo 92 88/92
	Bueno	9.0	16.0	Abril 92 88/92
	Maullín	11.0	11.0	Abril 92 88/92
	Puelo	-	-	No hay anteced.

(1) Para cada parámetro se ha considerado el valor mínimo y máximo registrado en la cuenca sin considerar ubicación geográfica ni época de muestreo.

(2) Archivo Laboratorio Hidrológico DGA.
 Experta Consultada: Sra. Rosa Sandoval.

TABLA 5: CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE AGUAS POR CUENCA¹

PARÁMETRO : CONDUCTIVIDAD (mmhos/cm)

REGIÓN	CUENCA	RANGO		FUENTE ⁽²⁾
		Mínimo	Máximo	
IV	Elqui	110	1600	Dic. 93 165/93
	Limarí	156	170	Julio 94 103/4
	Choapa	128	1115	Sept. 92 165/92
V	La Ligua	224	825	Mayo 94 080/94
	Petorca	140	490	Mayo 94 080/94
	Aconcagua	245	720	Mayo 94 080/94
R.M.	Maipo	130	1495	Enero 94 007/94 Oct. 94 164/94
VI	Rapel	200	670	Marzo 94 054/94
VII	Mataquito	150	360	Abril 94 054/94
	Maule	80	186	Nov. 92 177/92
VIII	Itata	38	95	Agost.92 120/92
	Bío-Bío	30	140	Marzo 92 43/92
IX	Imperial	54	118	Marzo 92 43/92
	Toltén	43	110	Marzo 92 88/92
X	Valdivia	40	64	Abril 92 88/92
	Bueno	44	108	Abril 92 88/92
	Mauullín	80	80	No hay anteced.
	Puelo	-	-	

(1) Para cada parámetro se ha considerado el valor mínimo y máximo registrado en la cuenca sin considerar ubicación geográfica ni época de muestreo.

(2) Archivo Laboratorio Hidrológico DGA.
Experta Consultada: Sra. Rosa Sandoval.

ANEXO C

CARACTERÍSTICAS MECÁNICO FLUVIALES RELACIONADAS CON EL ECOSISTEMA ACUÁTICO. ANTECEDENTES REUNIDOS DE LA ZONA EN ESTUDIO

ANEXO C: CARACTERÍSTICAS MECÁNICO FLUVIALES RELACIONADAS CON EL ECOSISTEMA ACUÁTICO

En este anexo se presenta de una manera sintetizada y organizada la información recopilada respecto a las características mecánico-fluviales de los cauces analizados. Esta información se obtuvo de diferentes fuentes, siendo ellas Memorias para optar al Título de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, Trabajos presentados a Congresos de Hidráulica, Informes de proyectos desarrollados para la Dirección General de Aguas y para el Departamento de Defensas Fluviales del Ministerios de Obras Públicas, así como información facilitada gentilmente por oficinas consultoras privadas.

Se incluye en primer lugar un mapa con la ubicación de los ríos y respectivas estaciones o puntos de muestreo o de estudio, utilizados en el presentes análisis, para cada una de las regiones que se cuentan dentro del área de investigación (Figura 1).

En la Tabla 1, se resumen las características mecánico-fluviales recopiladas; que se tratan en detalle para cada río en los puntos expuestos a continuación de dicha tabla, dentro del presente anexo. El tipo de información disponible en cada una de las estaciones o puntos de estudio se muestra mediante un código, en el mapa de la Fig. 1. La nomenclatura usada para interpretar dicho código es la siguiente:

- i : Pendiente media del cauce
- A : Área de la cuenca
- D : Granulometría
- Q : Caudal
- G_s : Gasto sólido en suspensión
- C : Concentración

IV REGIÓN

Cuenca 043 Elqui

1 : D

2 : D

3 : A $Q_5 C$

4 : iA $Q_5 C$

5 : iA $Q_5 C$

Cuenca 045 Limari

6 : iA $Q_5 C$

7 : iA $Q_5 C$

Cuenca 047 Choapa

8 : iA $Q_5 C$



Fig.1 Ubicación general de las cuencas y ríos analizados.
Disponibilidad de Información Mecánico-Fluvial.

VI REGIÓN

Cuenca 060 Rapel

- 42 : iADQ₃C
- 43 : ---D---C
- 44 : -A---Q₃-
- 45 : ---D---
- 46 : -A---Q₃-
- 47 : -AD-Q₃C
- 48 : -A---C
- 49 : iAD-Q₃C
- 50 : -A---Q₃-
- 51 : ---D---
- 52 : ---D---
- 53 : ---D---
- 54 : ---D---

VII REGIÓN

Cuenca 071 Mataquito

- 55 : iADQ₃C
- 56 : ---D---
- 57 : iAD---
- 58 : ---D---
- 59 : ---D---
- 60 : ---D---

Cuenca 073 Maule

- 61 : iA-Q₃C
- 62 : iA-Q₃C
- 63 : ---D---
- 64 : i-D---
- 65 : i-D---
- 66 : iA-Q₃C
- 67 : i-D---
- 68 : -A---
- 69 : i-D---
- 70 : ---D---

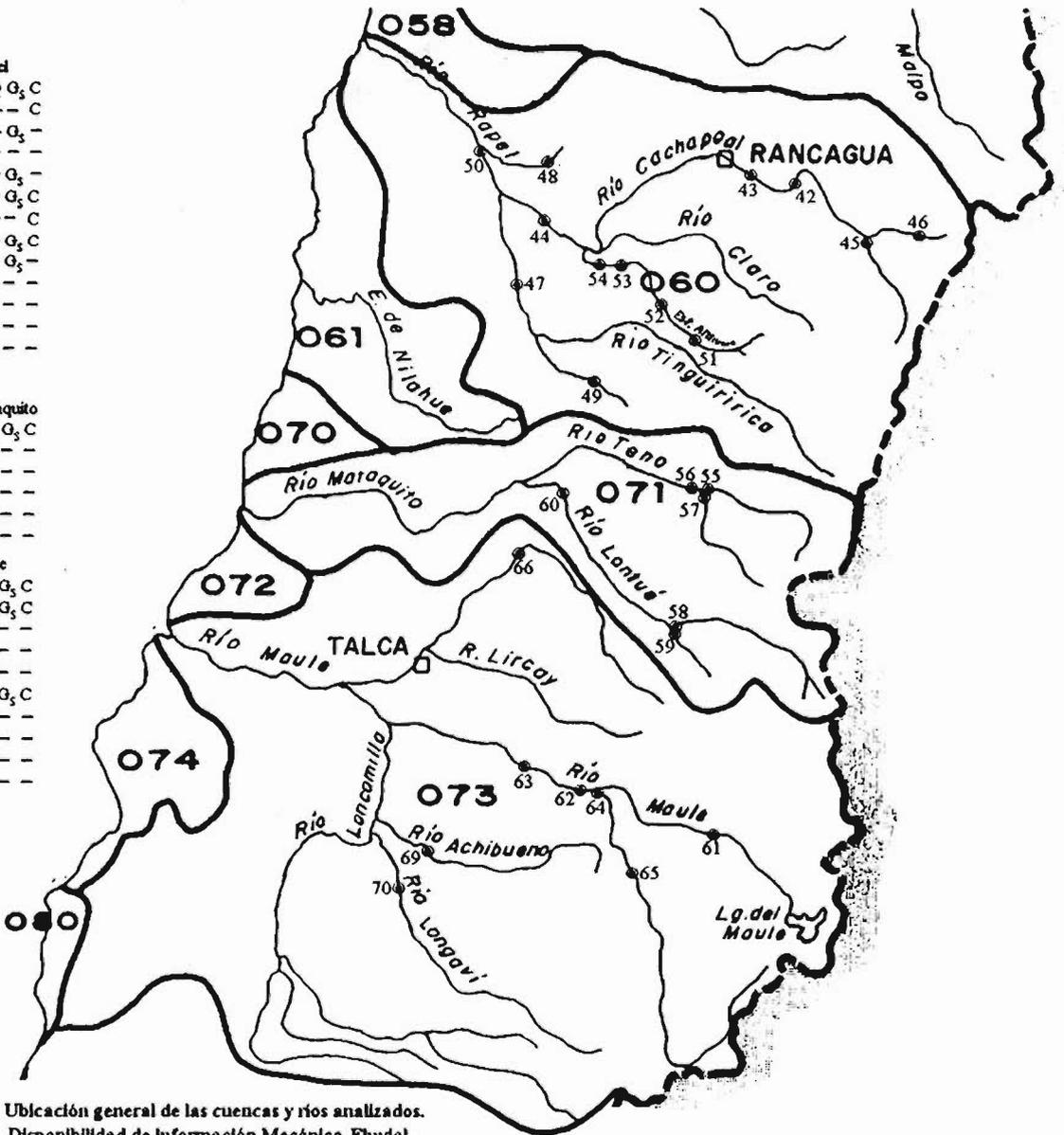


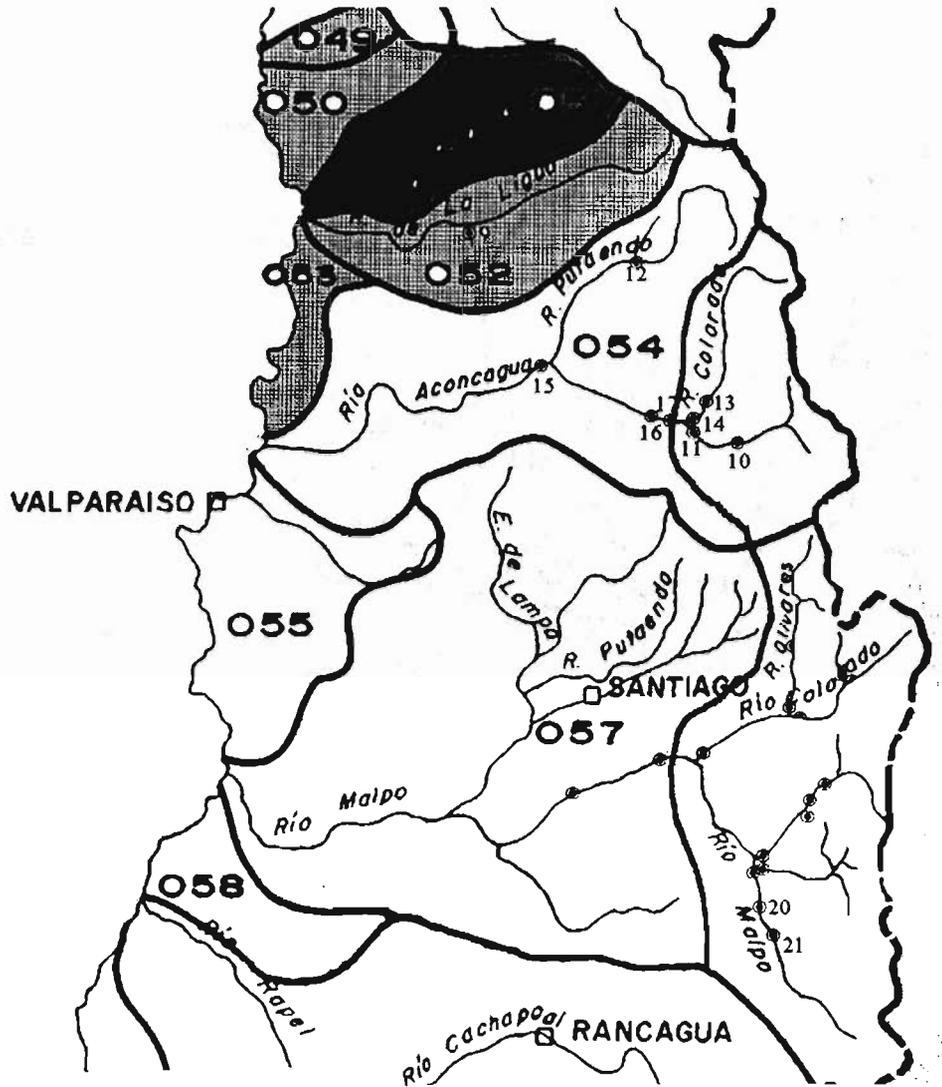
Fig.1 (Cont.) Ubicación general de las cuencas y ríos analizados.
Disponibilidad de Información Mecánico-Fluvial.

V REGIÓN

- Cuenca 052 La Ligua
- Cuenca 054 Aconcagua

REGIÓN METROPOLITANA

- Cuenca 057 Maipo
- Cuenca 058 Río Mapocho



VIII REGIÓN

Cuenca 081 Itata

- 71 : - - - - - C
- 72 : - - D - - -
- 73 : - - - - - C

Cuenca 083 Bio-Bio

- 74 : IA - Q Q₂ C
- 75 : IAD Q Q₂ C
- 76 : IA - Q Q₂ C
- 77 : IA - Q Q₂ C
- 78 : I - D - - -
- 79 : I - D - - -
- 80 : IA - Q Q₂ C
- 81 : IA - Q Q₂ C
- 82 : IA - Q Q₂ C
- 83 : - - D - - -
- 84 : - - D - - -

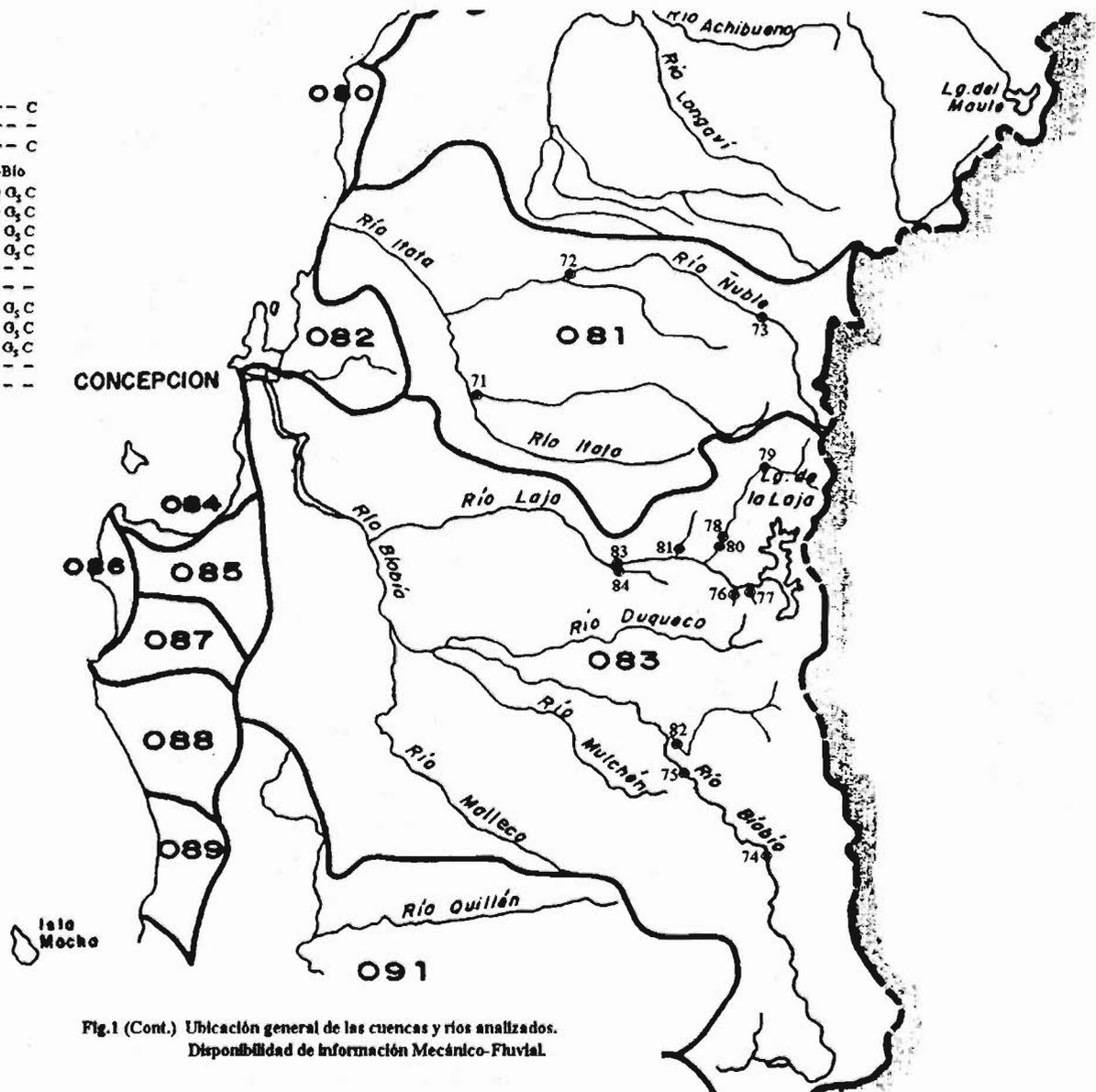


Fig.1 (Cont.) Ubicación general de las cuencas y ríos analizados.
Disponibilidad de información Mecánico-Fluvial.

IX REGIÓN
 Cuenca 091 Imperial
 85 :----- C
 094 Toltén

X REGIÓN
 Cuenca 101 Calle-Calle (Valdivia)

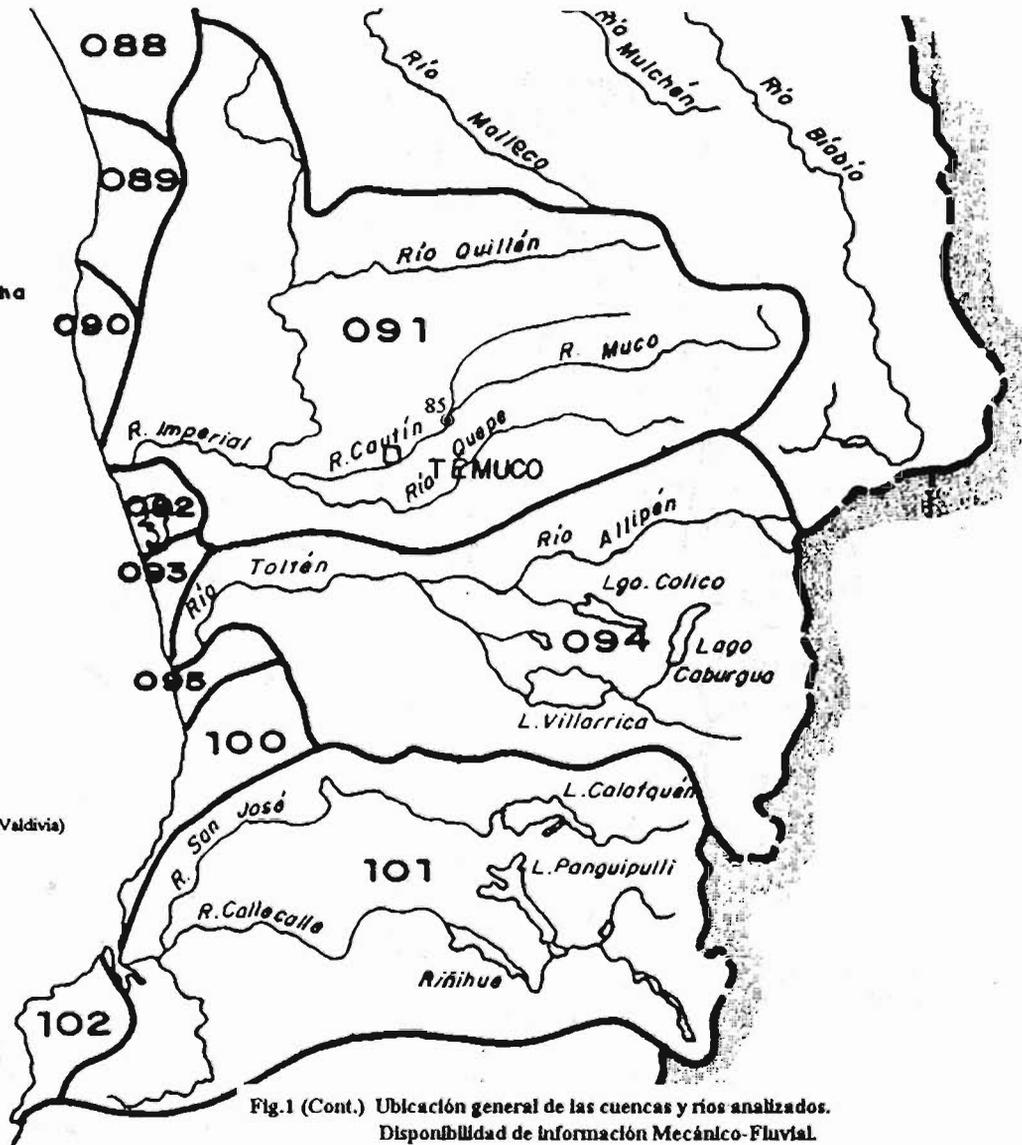


Fig.1 (Cont.) Ubicación general de las cuencas y ríos analizados.
 Disponibilidad de Información Mecánico-Fluvial.

Cuenca	Urbano (mapa)	Población media (I)	Área de Cuenca (A)	D10	D50	D84	D90	DM	Ag	Total	Pluvial	Nivel	Total	Pluvial	Nivel	Total	Pluvial	Nivel
Río	(mapa)	%	Km2	mm	mm	mm	mm	mm		m3/a	m3/a	m3/a	Ton/día	Ton/día	Ton/día	mg/l	mg/l	mg/l
													(5 meses)			(7 meses)		
REGIÓN METROPOLITANA																		
Maipo	057		14.600															
Maipo																		
Maipo en Quetlehues	18	7,00	1.487		55,00					42,94	19,52	59,67	1922,40	278,10	3096,90	518,15	184,89	600,70
Maipo en El Manzano	19		4.876		79,90	241,90	293,40											
Maipo en Las Melosas	20				74,00	235,30	275,38											
Maipo en San Alfonso	21				100,40	303,51	342,09											
Maipo en la Ruta 5 Sur	22			2,00	50,00	87,90	71,00		5,83									
Colorado																		
Colorado en Desembocadura	23	5,00	1.852		34,00		198,00		6,40	30,43	17,58	39,80	1940,79	255,60	3144,50	738,30	168,28	919,06
Colorado antes de junta Olivares	24	4,00	695		88,80	189,50	232,74									426,8	ppm	
Olivares antes de junta Colorado	25	4,00	528		118,40	253,60	297,49									192,0	ppm	
Olivares en Bocatoma	26	2,00	407													146,8	ppm	
Colorado antes de junta Paraguirre	27	5,00	482													274,8	ppm	
Paraguirre antes de junta Colorado	28	7,00	126															
Yeso																		
Yeso en puente Yeso	29	8,60	1.662															
Quebrada las Leñas	30	58,00	19															
Estero Aparajo	31	16,00	23															
Yeso antes de Embalse el Yeso	32	8,00	237															
Volcán																		
Volcán en Quetlehues	33	7,00	523		81,55	238,29	293,71									624,17	546,00	680,00
Mapocho (Hoya alta)	057																	
San Francisco																		
San Francisco antes de Est.Y. Loca	34	3,60		2,70	66,00	265,00	295,00		9,90									
San Francisco antes de Río Molina	35	2,40		2,20	78,00	277,00	344,00		11,20									
Estero Yerba Loca	36	6,10		6,70	121,00	382,00	42,80		11,90									
Molina	37	4,50		5,90	143,00	368,00	411,00		7,80									
Mapocho (en cruce a Santiago)																		
Mapocho en Puente A.Vespucio (Pudah.)	38	0,23																
Map. en Pte. Quinchamalí	39			2,10	70,00	280,00	370,00		11,13									
Map. en Pte. La Máquina	40			0,90	27,00	81,00	71,00		8,23									
Est. El Arrayán	41	2,50		2,10	78,00	252,00	276,00		11,00									
VI REGIÓN																		
Rapel	060		142.000															
Cachapoal					30,00													
Cachapoal en puente Termas	42	1,70	2.367		30,00					60,17	60,88	59,67	6822,70	4671,46	8359,30	1312,30	888,10	1621,44
Cachapoal en Bocatoma Canales	43															492,83	459,00	517,00
Cachapoal en Puente Arqueado	44		6.480										1642,19					
Cortaderal antes de junta Cachapoal	45				102,70	233,40	288,32											
Cachapoal en Coya	46		2.066										1981,10					
Tinguirica		1,00			29,00		133,00	55,00										
Tinguirica en los Olmos	47		3.090		52,00								2000,84	3620,00	844,3	95,50	120,00	78,00
Est. Alhué																		
Alhué en Quilamuta	48		780													18,42	19,00	18,00
Est. Chimbarongo		0,45	720		13,00		87,00	20,00										
Alto				1,32	20,70	67,10	83,20		7,20									
Medio				1,20	44,80	183,80	197,70		12,27									
Bajo				6,50	101,60	380,00	423,00		7,65									
Chimbarongo en Convento Viejo	49	0,33	520		24,50								482,00	373,00	560,00	73,08	55,00	86,00
Rapel																		
Rapel en Rapel	50		9.570										2191,92					
Claro																		
Claro				1,90	19,00	80,00	106,00		6,50									
Est. Antivero-Zamorano																		
Puente Antivero 1	51			9,50	88,90	149,00	194,00		3,96									
Puente Antivero 3	52			8,38	102,90	125,05	156,30		3,88									
Puente Zamorano	53			0,95	12,12	104,42	112,89		10,48									
Puente El Niche	54			6,35	21,39	56,44	84,00		2,98									

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS MECÁNICO FLUVIALES DE LOS RÍOS ANALIZADOS

Región	Cuenca	Ubicación (mapa)	Pendiente media (i) %	Área de la Cuenca (A) Km2	Granulometría					Sg	O medios			Gasto Sólido en suspensión			Concentración			
					D16 mm	D50 mm	D84 mm	D90 mm	DM mm		Total m3/s	Pluvial m3/s	Nival m3/s	Total Ton/día	Pluvial Ton/día	Nival Ton/día	Total mg/l	Pluvial mg/l	Nival mg/l	
	Río																			
	Estación																			
VII REGIÓN																				
	Mataguito	071		5.200																
	Teno		0,90			33,00		246,00	68,00											
	Teno en Los Queñes	55	2,40	838		55,00					50,85	53,67	48,83	831,40	929,12	761,60	189,25	200,37	180,52	
	Teno después de Junta	56				44,60	176,50	194,30												
	Claro																			
	Claro en Los Queñes	57	1,20	350		44,50	237,70	292,20												
	Colorado																			
	Colorado antes de junta Los Palos	58				111,40	255,70	260,62												
	Palos																			
	Palos antes de junta Colorado	59				114,10	221,70	260,38												
	Lontué	60				13,00		67,00	20,00											
	Maule	073																		
	Maule					60,00														
	alto		1,20			254,00		465,00	206,00											
	medio		0,50			68,00		281,00	89,00											
	medio		0,65			60,00		250,00	77,00											
	Maule en Los Baños	61	2,20	1.226							50,96	36,39	61,36	282,59	262,90	313,80	69,37	83,62	59,19	
	Maule en Armerillo	62	3,90	5.454							243,61	230,78	252,77	4138,90	4710,24	3730,80	198,08	236,23	170,83	
	Maule en Colbún (1)	63				53,00				11,10										
	Maule en Colbún (2)	63				42,00				7,60										
	Maule en Colbún (3)	63				64,00				7,30										
	Melado																			
	Desembocadura	64	1,10			213,00		502,00	211,00											
	Agua arriba de desembocadura	65	0,50			115,00		457,00	144,00											
	Melado en La Lancha	66	4,00	2.200							99,67	82,92	111,63	2044,30	3447,24	1042,20	263,52	481,17	108,06	
	Claro					42,00														
	Claro en Ruta 5 Sur	67	0,86			2,30	36,00	120,00	155,00	7,20										
	Claro en San Carlos	68		335																
	Achibueno	69	0,70			54,00		254,00	84,00											
	Longavi		0,40			88,00		314,00	94,00											
	Longavi en Puente Longavi	70				0,50	30,00	100,00	140,00	14,10										

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS MECÁNICO FLUVIALES DE LOS RÍOS ANALIZADOS

CARACTERÍSTICAS MECÁNICO-FLUVIALES DETALLADAS POR RÍO

IV REGIÓN

1. Cuenca del Elqui (Alfaro 1980):

Hidrografía: El área drenada es de aproximadamente 9660 Km², Se forma por la confluencia del río Claro y del río Turbio.

Aspectos Generales: Las principales actividades son la agricultura y el pastoreo caprino.

Aspectos Particulares: Existen focos erosivos al este del Cerro Tololo a la vez que en el camino de Vicuña-Hurtado.

a) Río Elqui:

- En la estación Elqui en Almendral, se tiene la siguiente información:

Area = 6800 Km²

Producción Específica de sedimentos:

Suspensión = 16.3 Ton/Km²/año

Total = 32.0 Ton/Km²/año

- Para el río Elqui, en los sectores de Alfalfares y la desembocadura (y puente Fiscal), las curvas granulométricas del material del lecho se caracterizan por los siguientes parámetros:

	D ₁₆ mm	D ₅₀ mm	D ₈₄ mm	D ₉₀ mm	S _g
Alfalfares	0.60	22.00	55.40	63.00	9.61
Desembocadura	0.35	13.57	50.57	12.02	

b) Río Turbio:

- Estación: Turbio en Huanta.

Área = 2284 Km²

Longitud de la cuenca = 78 Km

Pendiente media = 4.0 %

Suma de Long.de cauces = 200 Km

Número de cauces = 33

Altura media = 3600 msnm

Caudales medios: Anuales = 5.02 m³/s

Pluviales = 3.17 m³/s

Nivales = 6.49 m³/s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales = 245.00 ton/día

Pluviales = 35.00 ton/día

Nivales = 395.00 ton/día

c) Río Claro:

- Estación: Claro en Montegrande

Área =	1223 Km ²
Longitud de la cuenca =	52 Km
Pendiente media =	5.6 %
Suma de Long.de cauces =	180 Km
Número de cauces =	22
Altura media =	2950 msnm

Caudales medios: Anuales =	2.72 m ³ /s
Pluviales =	2.30 m ³ /s
Nivales =	3.17 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	8.40 ton/día
Pluviales =	6.86 ton/día
Nivales =	9.50 ton/día

2. Cuenca del Limarí:

Hidrografía: Drena un área aproximadamente de 11700 Km², y se forma por la confluencia del río Grande y del río Hurtado, en las proximidades de la ciudad de Ovalle.

Aspectos Generales: Las principales actividades en la zona son la agricultura, la pequeña minería y el pastoreo caprino.

Aspectos Particulares: Existen focos erosivos en la parte media del río Hurtado, que constituyen un problema latente para el embalse Recoleta. Además hay arrastre importante de sedimento en los ríos Pama, Combarbalá y Cogotí, también hay arrastre proveniente del regadío de los ríos Grande y Huatulame (Quebrada Cárcamo) y en la cuenca de la Quebrada Monte Patria. El pastoreo caprino aparece como el principal agente erosivo.

a) Río Hurtado:

- Estación: Hurtado entrada embalse.

Área =	2228 Km ²
Longitud de la cuenca =	110 Km
Pendiente media =	3.2 %
Suma de Long.de cauces =	350 Km
Número de cauces =	36
Altura media =	2350 msnm

Caudales medios: Anuales =	1.51 m ³ /s
Pluviales =	1.40 m ³ /s
Nivales =	1.55 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	5.50 ton/día
Pluviales =	1.30 ton/día
Nivales =	8.50 ton/día

b) Río Grande:

- Estación: Grande en Puntilla San Juan.

Área =	3512 Km ²
Longitud de la cuenca =	85 Km
Pendiente media =	4.1 %
Suma de Long.de cauces =	380 Km
Número de cauces =	45
Altura media =	2500 msnm

Caudales medios: Anuales =	7.34 m ³ /s
Pluviales =	6.22 m ³ /s
Nivales =	7.47 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	49.20 ton/día
Pluviales =	43.88 ton/día
Nivales =	53.00 ton/día

3. Cuenca del Choapa:

Hidrografía: Drena un área aproximadamente de 8000 Km² y nace en una de las partes más altas de la Cordillera de los Andes, adquiriendo gran caudal en la zona andina, por la confluencia de los ríos Totoral y Chicharra.

Aspectos Generales: Las principales actividades de la zona son la agricultura, la ganadería y la pequeña y gran minería.

a) Río Illapel:

- Estación: Illapel en las Burras.

Área =	597 Km ²
Longitud de la cuenca =	45 Km
Pendiente media =	8.0 %
Suma de Long.de cauces =	180 Km
Número de cauces =	26
Altura media =	2850 msnm

Caudales medios: Anuales =	1.79 m ³ /s
Pluviales =	1.05 m ³ /s
Nivales =	2.21 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales = 3.00 ton/día

Pluviales = 2.35 ton/día

Nivales = 3.50 ton/día

V REGIÓN

1. Cuenca del Petorca:

Hidrografía: Drena aproximadamente un área de 2670 km². Sus afluentes principales son el río Pedernal y el río Sobrante.

Aspectos Generales: Las actividades preponderantes son la agricultura poco desarrollada y ganadería bovina, ovina y en muy poco grado caprina.

Aspectos Particulares: La actividad erosiva del río Petorca es normalmente poco significativa. No obstante, ante precipitaciones intensivas hay gran transporte de materiales detríticos por el río Petorca. También se aprecia socavación en zonas ribereñas.

No existen estaciones sedimentométricas.

2. Cuenca del Ligua:

Hidrografía: Drena aproximadamente un área de 1940 Km² y nace con el nombre de Alicahue hasta las proximidades de la Quebrada La Cerrada.

Aspectos Generales: Las principales actividades son la agricultura y la ganadería en bajo grado (bovinos, ovinos, etc).

Aspectos Particulares: El río Ligua tiene una actividad erosiva poco notable; aún cuando la red de drenaje tupida tiende a facilitar la erosión de los cordones montañosos. Se observa gran transporte de materiales detríticos en ocasión de lluvias intensas.

No existen estaciones sedimentométricas.

Existen datos de granulometría de fondo para el estero Los Angeles, afluente al río Ligua. Dichos datos se resumen en el siguiente listado.

Punto de muestreo	
coordenadas UTM:	N:6402000, E:318500
pendiente	0.012
D ₉₀	132 mm
D ₅₀	34 mm
D _m	42 mm

3. Cuenca del Aconcagua:

Hidrografía: Drena aproximadamente un área de 7500 Km² y nace en el Nevado de Los Leones con el nombre de río Juncal, siendo sus principales afluentes el río Blanco, el Colorado y el Putaendo.

Aspectos Generales: Las principales actividades de la zona son la agrícola, la industrial y la minera.

Aspectos Particulares: Se tienen torrentes en los cursos altos de los ríos, debido a lo cual hay gran arrastre de sedimentos en el Blanco y en el Juncal y en menor grado en el Colorado. Laderas de montes con mucha pendiente al igual que taludes muy empinados a la vera del trazado de caminos y vía ferrocarrilera crean condiciones favorables al aporte de sedimentos al río durante el período pluvial y de deshielo.

a) Río Blanco:

- Estación: Blanco en Río Blanco.

Área =	382 Km ²
Longitud de la cuenca =	30 Km
Pendiente media =	6.2 %
Suma de Long.de cauces =	130 Km
Número de cauces =	18
Altura media =	3565 msnm

Caudales medios: Anuales =	10.61 m ³ /s
Pluviales =	3.66 m ³ /s
Nivales =	15.87 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	253.00 ton/día
Pluviales =	58.40 ton/día
Nivales =	392.00 ton/día

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación:

D ₅₀ =	98.70 mm
D ₈₄ =	269.20 mm
D ₉₀ =	323.20 mm

- Estación: Aconcagua en Río Blanco.

Área =	875 Km ²
Longitud de la cuenca =	55 Km
Pendiente media =	7.8 %
Suma de Long.de cauces =	350 Km
Número de cauces =	28
Altura media =	3476 msnm

Caudales medios:	Anuales =	18.96 m ³ /s
	Pluviales =	9.46 m ³ /s
	Nivales =	27.46 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	514.00 ton/día
Pluviales =	50.60 ton/día
Nivales =	845.00 ton/día

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación:

D ₅₀ =	88.30 mm
D ₈₄ =	257.20 mm
D ₉₀ =	299.82 mm

b) Río Putaendo:

- Estación: Putaendo en resguardo los Patos.

Área =	927 Km ²
Longitud de la cuenca =	65 Km
Pendiente media =	5.5 %
Suma de Long.de cauces =	280 Km
Número de cauces =	40
Altura media =	2925 msnm

Caudales medios:	Anuales =	7.45 m ³ /s
	Pluviales =	4.11 m ³ /s
	Nivales =	9.38 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	159.00 ton/día
Pluviales =	24.60 ton/día
Nivales =	255.00 ton/día

c) Río Colorado:

- Estación: Colorado en Colorado.

Área =	743 Km ²
Longitud de la cuenca =	48 Km
Pendiente media =	3.9 %
Suma de Long.de cauces =	270 Km
Número de cauces =	32
Altura media =	3151 msnm

Caudales medios:	Anuales =	11.42 m ³ /s
	Pluviales =	3.67 m ³ /s
	Nivales =	16.28 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	182.00 ton/día
Pluviales =	4.20 ton/día
Nivales =	309.00 ton/día

- Estación: Colorado antes de junta Aconcagua

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación:

D_{50} =	83.40 mm
D_{84} =	283.60 mm
D_{90} =	330.00 mm

d) Río Aconcagua:

- Estación: Aconcagua en San Felipe

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación:

D_{50} =	99.37 mm
D_{84} =	190.30 mm
D_{90} =	209.84 mm

- Estación: Aconcagua en Chacabuco

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación:

D_{50} =	78.60 mm
D_{84} =	232.20 mm
D_{90} =	286.65 mm

- Estación: Aconcagua en Puente Cañería

Se tienen datos de la granulometría superficial del lecho:

D_{16} =	170 mm
D_{50} =	300 mm
D_{84} =	500 mm
D_{90} =	540 mm
S_g =	1.71

REGIÓN METROPOLITANA

1. Cuenca del Maipo:

Hidrografía: El río Maipo nace en la Cordillera de Los Andes y drena una superficie aproximada de 14600 Km². Sus afluentes principales son los ríos Volcán, Yeso, Colorado y Mapocho.

Aspectos Generales: Las principales actividades en la cuenca son la industrial, la agrícola, la minera, generación eléctrica, etc.

Aspectos Particulares: Se tienen flujos torrenciales en la parte superior de la hoya, además hay problemas de erosión en el Volcán y en el río Colorado y de depositación en el sector de Isla de Maipo.

a) Río Maipo:

- Estación: Maipo en Queltehues.

Área =	1487 Km ²
Longitud de la cuenca =	60 Km
Pendiente media =	7.0 %
Suma de Long.de cauces =	489 Km
Número de cauces =	85
Altura media =	2985 msnm

Caudales medios:	Anuales =	42.95 m ³ /s
	Pluviales =	19.52 m ³ /s
	Nivales =	59.67 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:	Anuales =	1922.40 ton/día
	Pluviales =	278.10 ton/día
	Nivales =	3096.90 ton/día

Producción Específica de sedimentos:	Suspensión =	385.0 Ton/Km ² /año
	Total =	3850.0 Ton/Km ² /año

Antecedentes granulométricos:
D₅₀ = 55 mm

Régimen sedimentológico = Nival

Las concentraciones mensuales medias tienen un máximo en Enero (950 mg/l) y un mínimo en Agosto (50 mg/l). Algo análogo se observa en la distribución anual de las concentraciones mensuales máximas, aunque en Julio se produce un repunte no observado en las concentraciones medias. En los meses pluviales y de deshielo el desfase máximo de las dos distribuciones oscila entre 150 mg/l y 1600 mg/l, descontando el máximo de Julio.

- Estación: Maipo en El Manzano

Esta cuenca corresponde a prácticamente la totalidad del área cordillerana de la hoya del río Maipo (4876 Km²), lo cual se ve reflejado en un comportamiento sedimentológico muy similar al de las otras cuencas correspondientes a las demás estaciones de la Cuenca del Maipo, con una influencia pluvial algo mayor en los meses de Mayo y Junio. Las distribuciones de las concentraciones mensuales medias y máximas presentan valores máximos en pleno período de deshielo (en Diciembre el valor medio alcanza 1700 mg/l mientras que el máximo es 3700 mg/l) y valores mínimos en el período pluvial: 340 mg/l en Agosto para la concentración media y 1400 mg/l para la concentración máxima.

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación:

$$\begin{aligned}D_{50} &= 79.90 \text{ mm} \\D_{84} &= 241.90 \text{ mm} \\D_{90} &= 293.40 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Estación: Maipo en Las Melosas

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación:

$$\begin{aligned}D_{50} &= 74.00 \text{ mm} \\D_{84} &= 235.30 \text{ mm} \\D_{90} &= 275.38 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Estación: Maipo en San Alfonso

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación:

$$\begin{aligned}D_{50} &= 100.40 \text{ mm} \\D_{84} &= 303.51 \text{ mm} \\D_{90} &= 342.09 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Maipo en Ruta 5 Sur

Los antecedentes recopilados señalan los siguientes parámetros representativos del sedimento del lecho:

$$\begin{aligned}D_{16} &= 2.0 \text{ mm} \\D_{50} &= 50.0 \text{ mm} \\D_{84} &= 67.9 \text{ mm} \\D_{90} &= 71.0 \text{ mm} \\S_g &= 5.83\end{aligned}$$

b) Río Colorado:

- Estación: Colorado en Desembocadura.

Área = 1652 Km²
Longitud de la cuenca = 65 Km
Pendiente media = 5.0 %
Suma de Long.de cauces = 466 Km
Número de cauces = 75
Altura media = 3401 msnm

Caudales medios: Anuales = 30.43 m³/s
Pluviales = 17.58 m³/s
Nivales = 39.60 m³/s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales = 1940.76 ton/día
Pluviales = 255.60 ton/día
Nivales = 3144.50 ton/día

Concentración (media) = 747.7 ppm

% de Arena = 53.9

% de Finos = 46.0

Antecedentes granulométricos:

D₁₆ = 3.6 mm
D₅₀ = 34.0 mm
D₈₄ = 149.0 mm
D₉₀ = 198.0 mm
S₈ = 6.4

Por otro lado, según Ugarte y Madrid (1993) se tienen los siguientes diámetros característicos para el lecho:

D₅₀ = 66.90 mm
D₈₄ = 217.40 mm
D₉₀ = 269.60 mm

Tipo de Sedimento: Limoso-arenoso
Régimen sedimentológico = Nival

El registro de concentración del sedimento en suspensión, refleja un comportamiento sedimentológico netamente nival. Sin embargo, para los períodos de lluvia se aprecia algún efecto pluvial, especialmente en la distribución de las concentraciones mensuales máximas. El rango de variación de la concentración mensual media va de un mínimo en Agosto de 65 mg/l a un máximo en Enero de 1400 mg/l. Para estos mismos meses los valores mensuales máximos están desfasados en 240 mg/l y 3000 mg/l respectivamente.

Otras estaciones en río Colorado:

- Colorado antes de junta Olivares

Área = 695 Km²
Longitud de la cuenca = 42 Km
Pendiente media = 4 %

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación (Ugarte y Madrid 1993).

$D_{50} = 88.80 \text{ mm}$
 $D_{84} = 189.50 \text{ mm}$
 $D_{90} = 232.74 \text{ mm}$

Según Gómez (1990), un análisis del sedimento transportado en suspensión da las siguientes características:

Concentración = 426.8 ppm
Arenas = 59.6 %
Finos = 40.4 %
Tipo de sedimento: limoso-arenoso

- Olivares antes de junta Colorado

Área = 528 Km²
Longitud de la cuenca = 43 Km
Pendiente media = 4 %

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación (Ugarte y Madrid 1993).

$D_{50} = 116.40 \text{ mm}$
 $D_{84} = 253.60 \text{ mm}$
 $D_{90} = 297.49 \text{ mm}$

Según Gómez (1990), un análisis del sedimento transportado en suspensión dio las siguientes características:

Concentración = 192.0 ppm
Arenas = 44.7 %
Finos = 55.3 %
tipo de sedimento: limoso-arenoso

- Olivares en Bocatoma

Área = 407 Km²
Longitud de la cuenca = 25 Km
Pendiente media = 2 %

Según Gómez (1990), un análisis del sedimento transportado en suspensión dio las siguientes características:

Concentración= 146.6 ppm
Arenas = 30.2 %
Finos = 69.8 %
tipo de sedimento: limoso

- Colorado antes de junta Parraguirre

Área = 482 Km²
Longitud de la cuenca = 27 Km
Pendiente media = 5 %

Según Gómez (1990), un análisis del sedimento transportado en suspensión dio las siguientes características:

Concentraciön= 274.8 ppm
Arenas = 51.6 %
Finos = 48.4 %
Tipo de sedimento: arenoso-limoso

- Parraguirre antes de junta Colorado

Área = 126 Km²
Longitud de la cuenca = 14 Km
Pendiente media = 7 %

c) Río Yeso:

- Estación: Yeso en puente Yeso

Área = 162 Km²
Longitud de la cuenca = 22 Km
Pendiente media = 6.6 %

- Estación: Quebrada las Leñas

Área = 19 Km²
Longitud de la cuenca = 3 Km
Pendiente media = 56 %

- Estación: Estero Aparejo

Área = 23 Km²
Longitud de la cuenca = 6 Km
Pendiente media = 16 %

- Estación: Yeso antes del Embalse Yeso

Área =	237 Km ²
Longitud de la cuenca =	18 Km
Pendiente media =	8 %

d) Río el Volcán:

- Estación: Volcán en Queltehues

Área =	523 Km ²
Longitud de la cuenca =	30 Km
Pendiente media =	7 %
Régimen Hidrológico =	Nivo-Glacial

La distribución anual de las concentraciones mensuales medias se caracteriza por presentar valores mínimos (promedio 550 mg/l) en el período entre Marzo y Octubre y valores máximos en el resto del año, con un máximo absoluto en el mes de Diciembre (1100 mg/l). Esta distribución, desfasada en valores máximos que van de 700 mg/l en invierno a 2500 mg/l en verano, corresponde a la distribución de las concentraciones mensuales máximas.

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación (Ugarte y Madrid 1993):

$D_{50} = 81.55$ mm
$D_{84} = 238.29$ mm
$D_{90} = 293.71$ mm

2. Cuenca del Mapocho:

Hoya Alta.

Los cursos naturales que constituyen la red de drenaje de la hoya alta del río Mapocho se caracterizan por tener pendientes de fondo muy fuertes, mayores o iguales al 1.5%, escasa vegetación y prácticamente no presentan meandros puesto que su escurrimiento está confinado por las laderas rocosas de sus cerros o montañas.

Sus lechos están constituidos por sedimentos de una granulometría muy gruesa y extendida la que origina generalmente un escurrimiento macro-rugoso y macro-turbulento.

El régimen hidrológico de la red de drenaje es típicamente nivo-pluvial.

a) Río San Francisco:

Río que nace en la Laguna de Copa y recibe en su curso superior a los esteros El Plomo, Dolores y los Piches. Poco antes de su confluencia desemboca en los esteros Yerba Loca y Manzanito.

b) Río Molina:

Nace de la confluencia del Río Capo y del estero de la Tinajas. Aguas arriba de su confluencia

recibe aportes del estero Covarrubias.

c) Estero El Arrayán:

Su principal afluente corresponde a la quebrada Ortigas. Entrega sus agua al Río Mapocho en El Arrayán.

d) Estero Las Hualtatas:

Estero que sirve de desagüe a la región de la Dehesa. Su confluencia se lleva a cabo en el lugar denominado Puente Nuevo de la Dehesa.

e) Río Mapocho:

Hasta la salida de cajón cordillerano, su hoya hidrogáfica es de aproximadamente 1000 Km².

Peric (1991), en un estudio realizado en esta zona, obtuvo información en los siguientes puntos:

1. San Francisco antes de junta Estero Yerba Loca
2. Est. Yerba Loca
3. San Francisco antes de junta Río Molina
4. Río Molina
5. Río Mapocho
6. Estero El Arrayán

Las características dadas por este autor son las siguientes:

Punto	Pendiente Media i (%)	Antecedentes granulom. (mm)					
		D ₁₆	D ₅₀	D ₆₅	D ₈₄	D ₉₀	S _g
1	3.6	2.7	66	132	265	295	9.9
2	6.7	5.9	121	249	382	426	8.0
3	3.0	2.2	78	125	277	344	11.2
4	4.5	5.9	143	228	358	411	7.8
5	1.6	2.0	63	126	296	475	12.2
6	2.4	2.1	78	149	252	276	11.0

Uno de los estudios consultados divide al río Mapocho en su paso por la ciudad en tres tramos bien representativos:

Tramo I : desde el Puente San Enrique hasta la entrada de la canalización.

Tramo II : Desde entrada de la canalización hasta el término de la misma.

Tramo III : Desde el término de la canalización hasta el puente Américo Vespucio en el sector de Pudahuel.

En la referencia se adopta como curva granulométrica representativa del sector I el promedio de las

granulometrías en profundidad obtenidas en Pasarela Quinchamáli y, para el sector III, la granulometría correspondiente al sector Puente La Máquina.

Los diámetros característicos se muestran en la tabla siguiente:

Sección	D ₉₀	D ₈₄ mm	D ₆₄ mm	D ₅₀ mm	D ₁₆ mm	S _g mm
P.Quinchamáli	370	260	130	70	2.1	11.13
Pte. La Máquina	71	61	41	27	0.9	8.23

Por otro lado, para los sectores de Mapocho en Los Almendros y Mapocho en Puente Américo Vespucio (en Pudahuel), se tienen pendientes medias de 2.66% y 0.23%, respectivamente.

VI REGIÓN

1. Cuenca del Rapel:

Hidrografía: El río Rapel drena una cuenca de 142000 Km² aproximadamente y se forma de la confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

Aspecto Generales: Las principales actividades de la zona son la minería, la agricultura y la generación de energía hidroeléctrica.

Aspectos Particulares: Se ha observado la formación de torrentes y deslizamientos en el Alto Cachapoal, al mismo tiempo que la divagación de los cauces del Cachapoal y el Tinguiririca por embancamiento, lo que ha ocasionado la inundación de terrenos agrícolas.

a) Río Cachapoal:

En las referencias consultadas, se da como valor característico de la granulometría del lecho, el $D_{50}=30.0$ mm.

- Estación: Cachapoal en puente Termas

Área =	2367 Km ²
Longitud de la cuenca =	66 Km
Pendiente media =	1.7 %
Suma de Long.de cauces =	260 Km
Número de cauces =	50
Altura media =	2527 msnm

Caudales medios:	Anuales =	48.32 m ³ /s
	Pluviales =	60.88 m ³ /s
	Nivales =	59.67 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:		
	Anuales =	6822.70 ton/día
	Pluviales =	4671.46 ton/día
	Nivales =	8359.30 ton/día

Régimen Hidrológico: Nivo-pluvial

Las magnitudes características de las concentraciones y gastos sólidos son respectivamente 1500 mg/l (Diciembre y Enero) y 20000 ton/día (Diciembre y Enero) para los máximos de las distribuciones de los valores medios mensuales, en tanto que los mínimos de las mismas distribuciones tienen respectivamente los valores de 400 mg/l (Septiembre) y 1000 ton/día (Septiembre).

- Estación: Cachapoal en Bocatoma Canales

Régimen sedimentológico = mixto (nival y pluvial)

Del análisis de los registros de concentraciones se constata que la distribución anual de los valores promedios mensuales, presenta máximos en Diciembre (950 mg/l) y Julio (750 mg/l) y un mínimo en Octubre (160 mg/l). La distribución de los valores máximos mensuales muestra un comportamiento similar con desfases entre 2000 y 5000 mg/l en el período de deshielo, y entre 1500 y 4000 mg/l en los meses de invierno.

- Estación: Cachapoal en Puente Arqueado

El registro se realiza antes que el río Cachapoal entregue sus aguas al embalse Rapel, con un área de drenaje de alrededor de 6480 Km².

La distribución anual de las concentraciones mensuales medios se caracteriza por presentar dos máximos: uno en Julio (310 mg/l) y otro en Enero (450 mg/l). Estos valores, desfasados en 1000 mg/l y 500 mg/l respectivamente, corresponden a los peaks de la distribución anual de las concentraciones máximas mensuales. De acuerdo a esto, el régimen sedimentológico se clasifica como uno del tipo nivo-pluvial.

Producción Específica de sedimentos:

Suspensión = 92.5 Ton/Km²/año

Total = 201.0 Ton/Km²/año

- Estación: Cortaderal antes de junta Cachapoal

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación (Ugarte y Madrid 1993).

D₅₀ = 102.70 mm

D₈₄ = 233.40 mm

D₉₀ = 288.32 mm

- Estación: Cachapoal en Coya

Área drenada = 2066 Km²

Producción específica de Sedimentos:

Suspensión = 350.0 Ton/Km²

b) Río Tinguiririca:

Existen datos de granulometría de fondo para el río Tinguiririca. Dichos datos se resumen en el siguiente listado.

Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:6302000, E:350500
Pendiente	1%
D ₉₀	133 mm
D ₅₀	29 mm
D _m	55 mm

- Estación: Tinguiririca en Los Olmos

Esta cuenca abarca la parte alta de la cuenca del río Tinguiririca, drenando una superficie de aproximadamente 3090 Km².

La distribución anual de las concentraciones mensuales medias se caracteriza por mostrar dos máximos similares: uno en Junio (170 mg/l) y otro en Diciembre (165 mg/l). La distribución de los valores mensuales máximos es análoga, salvo que en invierno el peak se hace significativamente mayor que el de deshielo (1200 mg/l contra 470 mg/l), indicando que durante las crecidas pluviales el río tiene una clara tendencia a producir más sedimento que durante las crecidas de deshielo.

En las referencias consultadas, se da como valor característico de la granulometría del lecho del río Tinguiririca, el de $D_{50}=52.0$ mm

Producción Específica de sedimentos:

Suspensión = 64.7 Ton/Km²/año

Total = 92.3 Ton/Km²/año

c) Estero Alhué:

- Estación: Alhué en Quilamuta

Se trata de una cuenca de tipo costero de alrededor de 780 Km², cuyas características sedimentológicas son predominantemente pluviales, con concentraciones máximas en invierno de 33 mg/l para los valores medios mensuales y de 300 mg/l para los valores máximos mensuales.

d) Estero Chimbarongo:

La hoya del Estero Chimbarongo abarca 720.4 Km² antes de su afluencia al río Tinguiririca. Esta hoya presenta sectores diferentes, separados por la angostura de Convento Viejo: la parte alta drena un sector precordillerano de 265 Km², más un sector del valle central de 231 Km². Hacia aguas abajo de Convento Viejo, el estero Chimbarongo drena valles de la cordillera de la costa con una hoya adicional de 150 Km².

En cuanto a la pendiente de fondo del estero Chimbarongo se puede observar que se produce un quiebre de pendiente unos 13 Km aguas arriba de la Ruta 5, desde un 2,5% precordillerano hasta un 0,5% apenas accede al valle. A partir de la Ruta 5 hasta Chépica (tramo del embalse Convento Viejo), este estero tiene una pendiente de un 0,3%, y de Chépica hasta el río Tinguiririca (tramo de Santa Cruz) una pendiente muy baja de un 0,18%, típica de lechos arenosos.

Existen datos de granulometría de fondo para el estero Chimbarongo, afluente al río Tinguiririca. Dichos datos se resumen en el siguiente listado.

Punto de muestreo,	
coordenadas UTM:	N:6151000, E:304000
Pendiente	0.45%
D ₉₀	67 mm
D ₅₀	13 mm
D _n	20 mm

Según referencias consultadas, al separar el estero Chimbarongo en tramos Alto, Medio y Bajo, se tienen los siguientes diámetros característicos:

Zona	D ₁₆ mm	D ₅₀ mm	D ₈₄ mm	D ₉₀ mm	S _g
Alto	1.32	20.70	67.10	83.20	7.20
Medio	1.20	44.80	163.80	197.70	12.27
Bajo	6.50	101.60	380.00	423.00	7.65

En la misma referencia se estableció una sectorización de los cauces, a lo largo del estero Chimbarongo, la que lo divide en tramos homogéneos, con características geomorfológicas similares, considerando características tales como: ancho del cauce, pendientes, tipos de riveras, singularidades naturales y artificiales, características hidráulicas del escurrimiento, etc. Para efectos de esta sectorización, el cauce se ha kilometrado, ubicando el Km 0.000 en la Ruta 5, con kilometraje negativo hacia aguas arriba y positiva hacia aguas abajo.

1. Sector Precordillerano: (aguas arriba km -10.0)

Cauce bien excavado en terrazas de conglomerado, con ancho medio del brazo principal de 10 m y ancho medio caja de estero de 40 m. La pendiente del tramo tiene un quiebre desde 2.5% a 0.5%.

2. Sector Cruce Ruta 5: (km-10.0 a km 5.5)

Cauce bien definido, con riberas adecuadas, trazado sinuoso que presenta un solo brazo. El ancho medio del brazo es de 20 m y el de la caja del río 125 m. La pendiente media del tramo es 0.35%. En el km -5.5 accede el canal Teno-Chimbarongo.

3. Sector Embalse Convento Viejo: (km 5.5 a km 12.0)

Tramo que abarca el sector del estero inundado por el embalse Convento Viejo. En la entrada y salida al embalse se observa un ancho medio de cauce de 75 m, con una caja de río de similares dimensiones. La pendiente promedio de dichos tramos alcanza a 0.33%.

4. Sector Paredones de Auquinco: (km 12.0 a km 18.0)

Sector de cauce con varios brazos trenzados, y fuerte giro al norte en torno al cerro La Iglesia. Los brazos suman un ancho medio de 75 m y la caja del estero varía entre 50 y 200 m. La pendiente media de este tramo es de 0.33%.

5. Sector Cunaco: (km 18.0 a km 38.0)

Sector con cauce muy bien encajonado, que tiene un trazado más bien recto, salvo sinuosidades puntuales (km 21.0-22.0). El ancho medio del brazo único es de 90 m, dentro de una caja profunda que varía entre 50 y 200 m, en tanto que la pendiente promedio es de 0,2%.

6. Sector Santa Cruz: (km 38.0 a km 55.0)

Entre los km 38.0 y 47.5 el cauce tiene un trazado sinuoso, para luego seguir cursos bastante rectilíneos y bien definidos, siempre con un solo brazo principal. El ancho de la caja del río varía entre 50 y 250 m, con una pendiente media de sólo 0.18%.

- Estación: Chimbarongo en Convento Viejo

Corresponde a la parte alta de la cuenca (520 Km²) del estero Chimbarongo.

El régimen sedimentológico natural de esta cuenca está fuertemente afectado por los ríos Teno y Tinguiririca, de donde provienen importantes recursos utilizados en el riego del valle. Por este motivo, las características nivo-pluviales de estos dos ríos tienden a manifestarse marcadamente en el régimen del estero Chimbarongo, observándose valores máximos tanto de las concentraciones como de los gastos sólidos en pleno período de deshielo, salvo cuando se presentan grandes lluvias para las cuales tiende a producirse un máximo en el mes de Mayo. Las concentraciones y gastos sólidos característicos de la distribución anual de valores medios mensuales es de 190 mg/l, para la concentración máxima (Noviembre) y 1600 ton/día para el gasto sólido máximo. Los mínimos de esta distribución ocurren en Agosto y en Abril (25-30 mg/l), para la concentraciones y en Mayo /30 ton/día), para los gastos sólidos.

En las referencias consultadas, se da como valor característico de la granulometría del lecho el de $D_{50}=24.5$ mm.

e) Río Rapel:

- Estación Rapel en Rapel

Drena un área aproximada de 9570 Km²

Producción específica de sedimentos:

Suspensión = 83.6 Ton/Km²/año

Total = 165.6 Ton/Km²/año

f) Río Claro:

- Claro en zona de cruce de gasoducto

Se tiene para esta zona, los siguientes diámetros característicos del lecho del río Claro:

$D_{16} = 1.9$ mm

$D_{50} = 19.0$ mm

$D_{84} = 80.0$ mm

$D_{90} = 106.0$ mm

$S_g = 6.5$

g) Estero Antivero Zamorano:

La hoya del estero Antivero-Zamorano abarca 1006 Km² antes de su afluencia al río Cachapoal. El cauce principal que drena esta hoya, recibe el nombre de "estero Antivero" desde el valle central hacia aguas arriba, y de "estero Zamorano" en su tramo final a través de la cordillera de la costa.

El estero Antivero drena una hoya precordillerana de 250 Km² más otra hoya del valle central de 150 Km². Luego cambia de nombre al cruzar la angostura de El Tambo y recibir al estero Rigolemo, denominándose estero Zamorano hasta el río Cachapoal.

Por otro lado, la pendiente del lecho varía suavemente entre una pendiente inicial de 3,24% (22 Km aguas arriba de la Ruta 5), hasta una pendiente final de 0,31% antes de la afluencia al río Cachapoal.

Al igual que para el estero Chimbarongo se estableció una sectorización de los cauces, a lo largo del estero Antivero-Zamorano, la que lo divide en tramos homogéneos, con características geomorfológicas similares, considerando características tales como: ancho del cauce, pendientes, tipos de riveras, singularidades naturales y artificiales, características hidráulicas del escurrimiento, etc. Para efectos de esta sectorización, el cauce se ha kilometrado, ubicando el Km 0.000 en la Ruta 5, con kilometraje negativo hacia aguas arriba y positiva hacia aguas abajo.

1. Cajón Precordillerano: (aguas arriba km -17.0)

En este sector, el cauce tiene un trazado confinado y encajonado entre cerros precordilleranos, y bien labrado en antiguas terrazas aluvionales o depósitos coluviales laterales. El ancho medio de caja de río es 20 m. El ancho medio del brazo principal es 10 m y la pendiente media del sector es superior a 3%.

2. Agua Buena: (km-17.0 a km -5.0)

Cauce aluvional con riberas altas. En general el cauce presenta numerosos brazos de unos 15 m ancho cada uno, dentro de una caja amplia con ancho medio de 100 a 200 m. La pendiente media del tramo es 1.8% (variando entre 3.5% y 0.9%). Entre el km -23.0 y km -7.0 los sedimentos del río Tinguiririca han adosado al estero hacia el Norte hasta una cadena de cerros.

3. Sector Urbano San Fernando: (km -5.0 a km 3.0)

Cauce bien definido por encauzamientos y defensas fluviales, con un brazo principal de 20 m de ancho medio, en una caja de 100 m de ancho. La pendiente media es 0.8%. Las defensas fluviales existentes consisten en espigones (km -2.0) y riberas con gaviones.

4. Angostura: (km 3.0 y km 11.5)

El cauce presenta numerosos brazos trenzados entre los km 3 y km 7.5, y un solo brazo de ahí en adelante. El ancho medio del brazo principal es 20 m, dentro de un ancho de caja que varía de 50 a 100 m. La pendiente media es 0.7%. En el km 10.0 el estero cruza a través de la agostura El Tambo hacia la cuenca del Cachapoal.

5. El Tambo-Rigolemo: (km 11.5 y km 18.0)

El cauce tiene riberas bajas, presenta múltiples brazos trenzados, con un ancho medio de 15 m cada uno, dentro de una caja amplia que varía entre 50 y 200 m de ancho.

6. San Vicente de Tagua-Tagua: (km 18.0 a km 33.3)

El cauce presenta dos brazos principales sinuosos, dentro de dos tipos de caja: una actividad y otra que abarca extensas terrazas de inundación. El ancho medio de los brazos es de 30 m, la caja activa varía entre 100 y 300 m, y la caja de inundación unos 800 m hasta terrazas más altas. La pendiente media del sector es 0.3%.

7. Tagua-Tagua: (km 33.0 a Afluencia río Cachapoal, km 44.0)

Cauce bien excavado en terrazas altas, con un trazado sinuoso. El brazo principal tiene un ancho medio de 30 m, dentro de una caja de dimensiones algo mayores.

Además se tiene información sobre la granulometría del lecho en los siguientes puntos:

1. Puente Antivero 1
2. Puente Antivero 3
3. Puente El Niche
4. Puente Zamorano

Sector	D ₁₆ mm	D ₅₀ mm	D ₈₄ mm	D ₉₀ mm	S _z
Pte. Antivero 1	9.50	88.90	149.00	194.00	3.96
Pte. Antivero 3	8.38	102.90	125.05	156.30	3.86
Pte. Zamorano	0.95	12.12	104.42	112.89	10.48
Pte. El Niche	6.35	21.39	56.44	64.00	2.98

VII REGIÓN

1. Cuenca del Mataquito:

Hidrografía: El río Mataquito drena una superficie aproximada de 5200 Km² y se forma por la confluencia de los ríos Teno y Lontué hasta desembocar al mar.

Aspectos Generales: La actividad principal en la zona es la agricultura, que se desarrolla en los cursos bajo del Teno y el Lontué y en el Mataquito casi completo.

Aspectos Particulares: Existen problemas de erosión en la Cordillera de la Costa y se tiene además una gran agresividad del río Mataquito en los sectores bajos de su curso, durante la crecidas.

a) Río Teno:

Existen datos de granulometría de fondo para el río Teno, afluente al río Mataquito. Dichos datos se resumen en el siguiente listado.

Punto de muestreo, coordenadas UTM: N:6135500 a 6135000

E:303500 a 309000

Pendiente	0.009
D ₉₀	246 mm
D ₅₀	33 mm
D _m	68 mm

- Estación: Teno en los Queñes

Área =	832 Km ²
Longitud de la cuenca =	46 Km
Pendiente Media =	2.4 %
Suma de Long.de cauces =	160 Km
Número de cauces =	18
Altura media =	1953 msnm

Caudales Medios:	Anuales =	50.86 m ³ /s
	Pluviales =	53.67 m ³ /s
	Nivales =	48.83 m ³ /s

Gasto sólido en suspensión:

Anuales =	831.40 ton/día
Pluviales =	929.12 ton/día
Nivales =	761.60 ton/día

Régimen sedimentológico = Mixto (Nivo-Pluvial)

La distribución anual de las concentraciones mensuales medias presenta máximos tanto en el período de deshielo (300 mg/l en Diciembre y 190 mg/l en Enero) como en el período pluvial (200 mg/l en Mayo). Los mínimos de la distribución se presentan en Marzo (26 mg/l) y en Agosto (35 mg/l). La distribución de las concentraciones mensuales máximas presenta características semejantes, con desfases de los máximos de deshielo y pluviales de alrededor de 1200 mg/l con respecto a la distribución de valores mensuales medios.

En las referencias consultadas, se da como valor característico de la granulometría del lecho el de $D_{50}=55.0$ mm

- Estación: Teno despues de Junta

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación (Ugarte y Madrid 1993).

$D_{50} = 44.60$ mm
 $D_{84} = 176.50$ mm
 $D_{90} = 194.30$ mm

b) Río Claro:

- Estación: Claro en los Queñes

Área = 350 Km²
Longitud de la cuenca = 35 Km
Pendiente Media = 1.2 %
Suma de Long.de cauces = 85 Km
Número de cauces = 12
Altura media = 1342 msnm

Caudales Medios: Anuales = 22.50 m³/s
Pluviales = 24.47 m³/s
Nivales = 21.13 m³/s

Gasto sólido en suspensión:

Anuales = 288.67 ton/día
Pluviales = 448.37 ton/día
Nivales = 174.60 ton/día

Régimen sedimentológico = Pluvio-Nival

La distribución de los valores mensuales medios de la concentración, tiene un máximo prominente en Julio (170 mg/l) y un mínimo en Marzo (10 mg/l). La distribución de los valores mensuales máximos es semejante a la anterior, con valores máximos y mínimos de respectivamente 1900 mg/l y 44 mg/l, ocurriendo en los mismos meses de la distribución anterior. Durante el deshielo ambas distribuciones presentan valores intermedios que oscilan en torno a 35 mg/l para la de valores medios y 400 mg/l para la de valores máximos.

Los gastos sólidos por otro lado, tienden a mantener distribuciones anuales similares tanto de valores medios como máximos, con peaks en Julio (1300 Ton/día y 14000 Ton/día respectivamente) y mínimos en Marzo (7 Ton/día y 26 Ton/día). Los valores medios del periodo de deshielo son 250 Ton/día para la distribución de gastos sólidos mensuales medios y 3000 Ton/día para los máximos.

En las referencias consultadas, se da como valor característico de la granulometría del lecho, el de $D_{50}=42.0$ mm

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación (Ugarte y Madrid 1993).

$D_{50} = 44.50 \text{ mm}$
 $D_{84} = 237.70 \text{ mm}$
 $D_{90} = 292.20 \text{ mm}$

c) Río Colorado:

- Estación: Colorado antes de junta con Palos

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación (Ugarte y Madrid 1993).

$D_{50} = 111.40 \text{ mm}$
 $D_{84} = 255.70 \text{ mm}$
 $D_{90} = 260.62 \text{ mm}$

d) Río Palos:

- Estación: Palos antes de junta Colorado

Los antecedentes granulométricos del lecho son los que se entregan a continuación (Ugarte y Madrid 1993).

$D_{50} = 114.10 \text{ mm}$
 $D_{84} = 221.70 \text{ mm}$
 $D_{90} = 260.38 \text{ mm}$

e) Río Lontué:

Características de la granulometría de fondo para el río Lontué, afluente al río Mataquito, se dan a continuación:

Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:6112500, E:300500
Pendiente	0.45%
D_{90}	67 mm
D_{50}	13 mm
D_m	20 mm

2. Cuenca del Maule:

Hidrografía: Drena un área aproximada de 20300 Km² y sus principales afluentes son el río Loncomilla, el río Melado y el río Lircay.

Aspectos Generales: Las principales actividades de la zona son al agricultura y la operación hidroeléctrica.

Aspecto Particulares: La cuenca superior del Maule presenta severos problemas debido a su característica torrencial. Las crecidas y los arrastres provocan perjuicios en las bocatomas y en los sistemas de regadío. Existen problemas de erosión en la Cordillera de la Costa especialmente en el sector medio del río Purapel.

a) Río Maule:

En las referencias consultadas, se da como valor característico de la granulometría del lecho, el de $D_{50}=60.0$ mm

Se encontraron también otros datos de granulometría de fondo para el río Maule en tres puntos, ubicados el primero en la parte alta de la cuenca y los otros dos en la parte media. Dichos datos se resumen en el siguiente listado.

1)	Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:6037000, E:320500
	Pendiente	1.2%
	D_{90}	465 mm
	D_{50}	254 mm
	D_m	206 mm
2)	Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:6052000, E:287000
	Pendiente	0.5 %
	D_{90}	281 mm
	D_{50}	68 mm
	D_m	89 mm
3)	Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:6062500, E:256000
	Pendiente	0.65%
	D_{90}	250 mm
	D_{50}	60 mm
	D_m	77 mm

- Estación: Maule en Los Baños

Área =	1226 Km ²
Longitud de la cuenca =	45 Km
Pendiente Media =	2.2 %
Suma de Long.de cauces =	160 Km
Número de cauces =	16
Altura media =	1986 msnm

Caudales medios:	Anuales =	50.96 m ³ /s
	Pluviales =	36.39 m ³ /s
	Nivales =	61.36 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	292.59 ton/día
Pluviales =	262.90 ton/día
Nivales =	313.80 ton/día

Producción Específica de sedimentos:
Suspensión = 700.0 Ton/Km²/año

Régimen sedimentológico = Nival

- Estación: Maule en Armerillo

Área =	5454 Km ²
Longitud de la cuenca =	85 Km
Pendiente Media =	3.9 %
Suma de Long.de cauces =	370 Km
Número de cauces =	35
Altura media =	1745 msnm

Caudales medios:	Anuales =	243.89 m ³ /s
	Pluviales =	230.78 m ³ /s
	Nivales =	252.77 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:

Anuales =	4138.90 ton/día
Pluviales =	4710.24 ton/día
Nivales =	3730.80 ton/día

Régimen sedimentológico = Nivo-Pluvial

- Estación: Maule en Colbún:

Área drenada = 4542 Km²

Producción Específica de sedimentos:
Suspensión = 546.5 Ton/Km²/año
Total = 598.6 Ton/Km²/año

Se tienen datos de la granulometría de fondo de una serie de pozos ubicados aguas abajo de la Presa Colbún. En la tabla siguiente se entregan los resultados del análisis granulométrico, indicando el diámetro D_{50} , la desviación estándar geométrica (S_g) y el coeficiente de rugosidad base de cada sector (obtenido según el procedimiento recomendado por Cowan (Chow 1959), en base a la relación $n_0 = 0.030 D_{90}^{1/6}$). La información se entrega por tramos, ordenados de aguas arriba hacia aguas abajo.

Sector	D_{50} (mm)	S_g	n_0
1	53	11.1	0.031
2	42	7.6	0.029
3	64	7.3	0.030

Además, en base a estudios de laboratorio, se lograron determinar algunas propiedades de los sólidos muestreados, que se resumen a continuación:

Propiedad	Rango de Valores
-----------	------------------

Peso específico	2.57 a 2.63 Ton/m ³
Densidad aparente	1.9 a 2.1 Ton/m ³
Porosidad	0.18 a 0.28

b) Río Melado:

Existen datos de granulometría de fondo para el río Melado, afluente al río Maule en la parte media-alta de la cuenca. Estos datos se fueron obtenidos de dos puntos. El primero de ellos ubicado en la desembocadura del Melado, y el otro en una zona de aguas arriba. Dichos datos se resumen en el siguiente listado.

1)	Punto de muestreo	
	coordenadas UTM:	N:6045500, E:313000
	Pendiente	1.1%
	D ₉₀	502 mm
	D ₅₀	213 mm
	D _m	211 mm
2)	Punto de muestreo,	
	coordenadas UTM:	N:6041000, E:311500
	Pendiente	0.5%
	D ₉₀	457 mm
	D ₅₀	115 mm
	D _m	144 mm

- Estación: Melado en La Lancha

Área =	2200 Km ²
Longitud de la cuenca =	90 Km
Pendiente Media =	4.0 %
Suma de Long.de cauces =	350 Km
Número de cauces =	16
Altura media =	2010 msnm

Caudales medios:	Anuales =	99.58 m ³ /s
	Pluviales =	82.92 m ³ /s
	Nivales =	111.63 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:	
	Anuales = 2044.30 ton/día
	Pluviales = 3447.24 ton/día
	Nivales = 1042.20 ton/día

Régimen sedimentológico = Nivo-Pluvial

c) Río Claro:

- Claro en Ruta 5 Sur

Para este sector se tienen los siguientes parámetros granulométricos característicos:

Pendiente	0.86%
D ₁₆	2.3 mm
D ₅₀	36.0 mm
D ₈₄	120.0 mm
D ₉₀	155.0 mm
S _g	7.2

- Estación: Claro en San Carlos

Corresponde prácticamente a la totalidad de la cuenca aportante del río claro, con una superficie aproximada de 335 Km².

Presenta un comportamiento sedimentológico mixto con componentes pluviales y nivales relativamente parecidas.

A continuación se presenta un cuadro comparativo con la distribución anual de las concentraciones mensuales de algunas subcuencas de la hoya del río Maule.

Cuenca	Medias Mínimos	Máximos	Máximas Mínimos	Máximos
Maule en Los Baños	8	90	90	1300
Claro en San Carlos	19	90	60	1300
Melado en La Lancha	15	200	130	2400
Maule en Armerillo	65	350	350	2600

Otros afluentes al río Maule:

a) Río Loncomilla:

Datos de este río no se disponen, pero sí de dos afluentes a éste, el río Achibueno y el Longaví.

Los datos para el río Achibueno se resumen en el siguiente listado:

Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:6023500, E:270500
Pendiente	0.7%
D ₉₀	254 mm
D ₅₀	54 mm
D _m	84 mm

y para el río Longaví:

Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:6004000, E:258000
Pendiente	0.4%
D ₉₀	314 mm

D_{50}
 D_{w}

88 mm
94 mm

VIII REGIÓN

1. Cuenca del Itata:

Hidrografía: Drena aproximadamente un área de 11100 Km² y nace de la confluencia de los ríos Cholguán y Huepil.

Aspectos Generales: La actividad principal en la zona es la agricultura.

Aspecto Particulares: Se estima que el Departamento de Itata está gravemente erosionado en un 40% y que la zona de Ninhue y Quirigue, en Ñuble, está erosionada en su mayor parte con más de 20000 hás totalmente inertes.

No existen estaciones sedimentométricas.

De acuerdo a antecedentes básicos, que se refieren a las zonas altas de las cuencas de los ríos Diguillín y Ñuble, es posible establecer lo siguiente:

- En la cuenca del río Diguillín, en la estación Diguillín en San Lorenzo el régimen sedimentológico puede describirse como mixto con algún predominio pluvial. En este punto la concentración media característica sería de 8 mg/l y la máxima cercana a 20 mg/l.

- En la cuenca del río Ñuble, en la estación Ñuble en la Puntilla, el régimen sedimentológico puede calificarse de pluvial con alguna influencia nival mas o menos tardía. La concentración en este punto sería también de alrededor de 8 mg/l, en cambio la máxima sería cercana a 40 mg/l.

En las referencias consultadas, se da como valor característico de la granulometría del lecho del río Ñuble, el de $D_{50}=60.0$ mm.

2. Cuenca del Bío-Bío:

Hidrografía: Drena aproximadamente un área de 24000 Km², nace en la alta cordillera y tiene como afluente importante al río Laja.

Aspectos Generales: Las principales actividades en la zona son la agricultura y la industria, además hay importantes centrales Hidroeléctricas.

Aspectos Particulares: Existe una erosión significativa en el sector inferior de la cuenca. En especial cabe citar el sector Tomeco con cerca de 20000 hás severamente erosionadas y los sectores de Colico y Santa Ana de menor extensión, en la ribera opuesta del Bío-Bío. Además, hay focos erosivos en las colinas situadas frente a Collipulli y entre Mulchén y Renaico.

a) Río Bío-Bío:

En referencias consultadas, se da como valor característico de la granulometría del lecho, un valor de $D_{50}=1.16$ mm

- Estación: Bío-Bío antes de junta LLanquén

Área = 3511 Km²
Longitud de la cuenca = 80 Km
Pendiente media = 1.3 %
Suma de Long.de cauces = 320 Km
Número de cauces = 28
Altura media = 1542 msnm

Caudales medios: Anuales = 151.40 m³/s
Pluviales = 146.29 m³/s
Nivales = 154.76 m³/s

Gasto sólido medio en suspensión:
Anuales = 822.85 ton/día
Pluviales = 1228.50 ton/día
Nivales = 533.10 ton/día

Régimen sedimentológico = Pluvial

- Estación: Bío-Bío en San Pedro

Área = 5420 Km²
Longitud de la cuenca = 115 Km
Pendiente media = 1.3 %
Suma de Long.de cauces = 620 Km
Número de cauces = 50
Altura media = 1568 msnm

Caudales Medios: Anuales = 300.03 m³/s
Pluviales = 321.30 m³/s
Nivales = 284.52 m³/s

Gasto sólido medio en suspensión:
Anuales = 1092.36 ton/día
Pluviales = 1544.50 ton/día
Nivales = 769.40 ton/día

Régimen sedimentológico = Pluvio-Nival

Además se tienen antecedentes sobre la granulometría del lecho, en la que se indican los siguientes valores:

$$D_{90} = 1.58 \text{ mm}$$
$$D_m = 0.72 \text{ mm}$$

b) Río Malalcura:

- Estación: Malalcura antes del puente

Área =	25 Km ²
Longitud de la cuenca =	15 Km
Pendiente media =	14.0 %
Suma de Long.de cauces =	20 Km
Número de cauces =	3
Altura media =	1290 msnm

Caudales Medios:	Anuales =	2.18 m ³ /s
	Pluviales =	2.59 m ³ /s
	Nivales =	1.88 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:		
	Anuales =	2.87 ton/día
	Pluviales =	4.35 ton/día
	Nivales =	1.81 ton/día

Régimen sedimentológico = Pluvio-Nival

c) Río Trubunleo:

- Estación: Turbunleo bajo El Salto

Área =	20 Km ²
Longitud de la cuenca =	9 Km
Pendiente media =	20.0 %
Suma de Long.de cauces =	12 Km
Número de cauces =	2
Altura media =	1580 msnm

Caudales medios:	Anuales =	2.30 m ³ /s
	Pluviales =	2.11 m ³ /s
	Nivales =	2.44 m ³ /s

Gasto sólido medio en suspensión:		
	Anuales =	40.17 ton/día
	Pluviales =	37.19 ton/día
	Nivales =	42.30 ton/día

Régimen sedimentológico = Nivo-Pluvial

d) Río Polcura:

Existen datos de granulometría de fondo para el río Polcura, afluente del río Laja, en dos puntos del

cauce. Dichos datos se resumen en el siguiente listado.

1)	Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:5870000, E:279500
	Pendiente	0.005
	D ₉₀	406 mm
	D ₅₀	104 mm
	D _m	85 mm
2)	Punto de muestreo, coordenadas UTM:	N:5891000, E:300000
	Pendiente	0.007
	D ₉₀	169 mm
	D ₅₀	29 mm
	D _m	63 mm

- Estación: Polcura en Balseadero

Área =	888.1 Km ²
Longitud de la cuenca =	50 Km
Pendiente media =	2.5 %
Suma de Long.de cauces =	215 Km
Número de cauces =	16
Altura media =	1425 msnm

Caudales medios:	Anuales =	66.94 m ³ /s
	Pluviales =	71.24 m ³ /s
	Nivales =	64.97 m ³ /s

Gasto sólido en suspensión:	Anuales =	234.50 ton/día
	Pluviales =	312.48 ton/día
	Nivales =	178.80 ton/día

Producción Específica de sedimentos:	
Suspensión =	58.8 Ton/Km ² /año
Total =	113.0 Ton/Km ² /año

Régimen sedimentológico = Pluvio-Nival

e) Río Pichipolcura:

- Estación Pichipolcura en Lo Gatica

Área =	81.3 Km ²
Longitud de la cuenca =	16 Km
Pendiente media =	6.3 %
Suma de Long.de cauces =	25 Km
Número de cauces =	4
Altura media =	1637 msnm

realizado en el tramo de aguas arriba de la bocatoma.

Esta granulometría integral del sedimento constitutivo del lecho del río Laja es la que se presenta a continuación:

$$\begin{aligned}D_{16} &= 42 \text{ mm} \\D_{50} &= 88 \text{ mm} \\D_{84} &= 146 \text{ mm} \\D_{90} &= 164 \text{ mm} \\S_g &= 1.87\end{aligned}$$

En un estudio realizado en la bocatoma de la central Rucúe, se determinaron los siguientes diámetros característicos del lecho del sector:

$$\begin{aligned}D_{16} &= 8.5 \text{ mm} \\D_{50} &= 99 \text{ mm} \\D_{84} &= 237 \text{ mm} \\D_{90} &= 282 \text{ mm} \\S_g &= 5.28\end{aligned}$$

h) Río Rucúe:

Se tienen diámetros característicos del lecho del río Rucúe en la bocatoma Rucúe para la central hidroeléctrica del mismo nombre, y son los que se presentan a continuación:

$$\begin{aligned}D_{16} &= 14 \text{ mm} \\D_{50} &= 117 \text{ mm} \\D_{84} &= 266 \text{ mm} \\D_{90} &= 305 \text{ mm} \\S_g &= 4.36\end{aligned}$$

IX REGIÓN

1. Cuenca del Imperial:

Hidrografía: Drena aproximadamente un área de 12000 Km² y sus afluentes son el río Cautín y el Quepe, aguas abajo de Temuco.

Aspectos Generales: Las principales actividades de la zona son la agricultura y la ganadería.

Aspectos Particulares: En la parte alta de la hoya, existen potenciales focos de erosión, pues los terrenos cordilleranos que forman la cuenca del Cautín son muy inestables y friables.

Antecedentes sedimentométricos:

La información para esta cuenca es muy pobre, y corresponde a los datos disponibles en algunos meses de los años 1964 y 1965. De ahí es posible establecer algunas características que presenta este régimen en términos de la concentraciones medidas en la hoya alta del río Cautín (estación Cautín en Rari-Ruca).

Así es posible establecer que durante este corto período, la concentración media característica es alrededor de 40 mg/l, con valores extremos máximos y mínimos que están comprendidos en el rango 10 a 100 mg/l. Además, los datos muestran un régimen sedimentológico que podría calificarse de Nival ya que las máximas concentraciones se presentan durante el período de deshielos.

2. Cuenca del Toltén:

Hidrografía: Drena una superficie aproximada de 7900 Km² y nace en el Lago Villarrica.

Aspectos Generales: Las principales actividades en la zona son la agricultura y la ganadería.

Aspecto Particulares: El talaje abusivo de bosques ha sido y es fuente de erosión potencial, además hay que agregar los problemas ocasionados por las lavas del volcán Villarrica.

No existen estaciones sedimentométricas.

X REGIÓN

1. Cuenca del Calle-Calle (o cuenca del Valdivia):

Hidrografía: Drena un área aproximada de 11300 Km² y lo forman los ríos Calle-Calle y Cruces en la proximidades de la ciudad de Valdivia hasta desembocar en el mar.

Aspectos Generales: Las actividades principales que se desarrollan en la zona son la agricultura y la ganadería.

Aspectos Particulares: El desmonte de bosques de las cabeceras del río San Pedro, que lograban absorber en sus suelos las intensas lluvias que caen en la región, ha tenido como consecuencia un aumento de los sedimentos.

No existen estaciones sedimentométricas.

2. Cuenca del Bueno:

Hidrografía: El río Bueno tiene una cuenca aproximada de 17200 Km² y nace en el lago Ranco, con el río Rahue como afluente importante.

Aspectos Generales: Las principales actividades en la zona son la agricultura, ganadería y la explotación de la madera.

Aspectos Particulares: Existen focos erosivos como consecuencia del talaje abusivo de los bosques y del cultivo excesivo del suelo.

No existen estaciones sedimentométricas.

Se tienen algunos antecedentes del río Rahue y el río Damas, en la zona de Osorno. Estos datos son los que se resumen a continuación:

	Río Rahue	Río Damas
Pendiente media =	0.041%	0.23%
D ₁₆ =	1.6 mm	8.6 mm
D ₅₀ =	29.0 mm	41.0 mm
D ₈₄ =	69.0 mm	76.0 mm
D ₉₀ =	81.0 mm	88.0 mm
S _g =	6.6	3.0

3. Cuenca del Río Maullín:

El río Maullín nace en el Lago Llanquihue, y su hoya puede ser catalogada como una cuenca costera.

4. Cuenca del Puelo:

Hidrografía: El río Puelo drena una superficie de 9000 Km² aproximadamente. Su principal afluente es el río Manso.

Aspectos Generales: Las principales actividades de la zona son la agricultura (cereales), la ganadería (bovinos, cerdos), la forestal (explotación del bosque nativo) y la explotación de recursos marinos.

Aspectos particulares: La explotación de los recursos forestales en forma excesiva origina focos potenciales de erosión.

Debido a la falta de información, sólo es posible hacer una caracterización cuantitativa en la zona más austral de la X Región, la cual corresponde a la hoya del Río Puelo y la del río Yelcho.

Para la hoya del Puelo, en la estación Manso en junta con Puelo (área drenada aproximada de 3500 Km²), se aprecia que el régimen sedimentológico característico es de tipo pluvial, con una leve influencia de la componente nival.

En La estación Puelo en Junta con Manso (área drenada aproximada de 4800 Km²), se concluye que el régimen presenta fuertes fluctuaciones a lo largo de todo el año, reflejando ello respuestas rápidas a estímulos hidrológicos en cualquier mes.

A fin de resumir los datos provenientes de dichas estaciones, se presentan las siguientes tablas de concentraciones y gasto sólido:

Estación	Concentraciones		
	Máxima	Media	Mínima
Manso en Jta. con Puelo	38	9	3
Puelo en Jta. con Manso	163	21	3

Estación	Gastos Sólidos		
	Máxima	Media	Mínima
Manso en Jta. con Puelo	760	150	30
Puelo en Jta. con Manso	8750	730	80

REFERENCIAS

1. Bzdigian Kazazian, Kricor (1989). "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, U. de Chile.
2. Gómez, Rodrigo. "Metodología para identificar fuentes de producción de sedimentos en la alta cordillera. Aplicación a la hoya del río Maipo". Pub.CRH-90-66-I
3. Alfaro, José. "Antecedentes y pautas para caracterizar el régimen sedimentológico de cuencas controladas. Aplicación a la hoya del río Aconcagua". Pub.CRH 80-18-I
4. Peric, Luis. "Pérdida de carga y transporte de sedimentos en cursos torrenciales de la hoya alta del río Mapocho". Pub.CRH 91-72-I
5. Análisis crítico de la red fluviométrica nacional. Red de sedimentos Región Metropolitana, VI y VII. bf ingenieros civiles. Octubre 1984.
6. Análisis crítico de la red fluviométrica nacional. Red de sedimentos VIII, IX y X región. bf ingenieros civiles. Septiembre 1983.
7. Estudio niveles de socavaciones cruce de cauces en trazado de gasoducto. AC Ingenieros Consultores. Gas de Chile S.A. Gasoducto Trasandino S.A. Enero 1995.
8. Estudio de antecedentes para la proposición de deslindes en Río Mapocho sector Puente San Enrique-Américo Vespucio Poniente. Luis Arrau del Canto. Marzo 1996.
9. Estudio de sedimentación ríos Laja y Rucúe, Central Rucúe. AC Ing.Consultores Ltda. Sept.1995
10. Estudios de riesgos de inundaciones fluviales y marítimas sector Fundo Cruz del Molino, La Serena, IV Región. AC Ing.Consultores Ltda. Julio 1994.
11. Proyecto Defensas fluviales Río Ñuble. ICSA Ing.Consultores. 1994.
12. Camino ribera norte del Río Maipo al poniente de Ruta 5 Sur. Anteproyecto de Ingeniería. Ingeniería Cuatro Ltda, Consultores. Noviembre, 1993.
13. Proyecto Puente Longaví, VII Región. Ingeniería Cuatro Ltda.
14. Proyecto Encauzamiento río Elqui hacia Pte El Libertador. Humberto Zavala.
15. Estudio hidráulico y mecánico fluvial río Laja bocatoma Tucapel. AC Ing.Consultores.
16. Estudio de diagnóstico técnico de obra para los ríos Rahue y Damas a su paso por la ciudad de Osorno y río Peulla en Parque Nacional Vicente Pérez Rosales. AC Ing.Consultores. Julio 1996.
17. Catastro de curvas granulométricas integrales en ríos Chilenos. L.Alvarado, E.Garcés. VI Congreso Nacional, Soc. Chilena de Ing. Hidráulica. Octubre 1983.
18. Hidráulica de ríos con gran pendiente. A.Ugarte, M.Madrid. XI Congreso Nacional, Soc.Chilena de Ing. Hidráulica. Octubre 1993.

19. Predicción de la degradación de un lecho fluvial. Aplicación del modelo de simulación al río Maule. V Congreso Nacional, Soc. Chilena de Ing. Hidráulica. Octubre 1981.
20. Estudio de niveles de Socavación Río Claro zona cruce de Gasoducto. AC Ing. Consultores. Diciembre 1995.

ANEXO D

REGISTRO DE ANTECEDENTES BIÓTICOS

DATOS DE MUESTREOS REALIZADOS

	IV REGIÓN Choapa en la localidad de Chellepin	IV REGIÓN Choapa en Cuncumen Estación las Tortillas
UBICACIÓN	-	-
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	27 de Enero 1996	27 de Enero 1996
Color (U.C.)	80	-
T (°C)	12	19
pH	6,7	6,9
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umhos/cm]	450	350
Turbiedad [FTU]	38	-
Hora de muestreo	07:50	12:30
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Elmidae, Notonectidae, Amphipoda, Trichoptera, Neuroptera.</i>	<i>Chironomidae, Elmidae, Coleóptera Díptera, Trichoptera, Plecóptera.</i>

	IV REGIÓN Choapa en Cuncumen Estación El Sauce	IV REGIÓN Choapa aguas abajo Junta Illapel con Choapa
UBICACIÓN	-	-
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	27 de Enero 1996	27 de Enero 1996
Color (U.C.)	290	-
T (°C)	23	-
pH	7,4	-
O.D. [mg/l]	-	Saturado
C.E. [umhos/cm]	-	-
Turbiedad [FTU]	70	-
Hora de muestreo	16:30	-
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Elmidae, Coleóptera, Ancylus sp, Trichoptera, Quironómida, Plecóptera.</i>	<i>Chironomidae, Elmidae, Coleóptera Trichoptera, Plecóptera, Neoróptera Díptera, Planaria, Arácnida, Physa Amphipoda, Odonata, Ostracoda.</i>

	IV REGIÓN Choapa en desembocadura localidad de Huentelauquén	IV REGIÓN Choapa en desembocadura localidad de Huentelauquén
UBICACIÓN	-	-
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	27 de Enero 1996	27 de Enero 1996
Color (U.C.)	-	-
T (°C)	14	2,6
pH	9,3	8,7
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umhos/cm]	100	100
Turbiedad [FTU]	-	-
Hora de muestreo	08:00	13:00
BIOTA ACUÁTICA	<i>Nauróptera, Chironomidae, Amphipoda Gambusia affinis, Physa, Notonecta.</i>	<i>Gambusia affinis, Notonecta, Physa Mugil cephalus.</i>
OBSERVACIONES	Agua transparente. Sin viento Gran cantidad de aves.	Gran cantidad de lisas

	IV REGIÓN Choapa en desembocadura localidad de Huentelauquén	V REGIÓN Aconcagua en Quillota
UBICACIÓN	-	32°54' S-71°16' W
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	27 de Enero 1996	Oct-95
Color (U.C.)	-	-
T (°C)	25,5	16
pH	8,9	9
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umhos/cm]	100	740
Turbiedad [FTU]	-	5
Hora de muestreo	19:00	-
BIOTA ACUÁTICA	<i>Gambusia affinis, Physa, Notonecta Mugil cephalus.</i>	<i>Odonata, Plecóptera, Physa sp, Trichoptera.</i>
OBSERVACIONES	Aguas turbias. Viento Sur-Oeste Gran cantidad de peces (<i>Mugil cephalus</i>).	-

	REGIÓN METROPOLITANA	REGIÓN METROPOLITANA
	Maipo en Maipo	Angostura frente a peaje
UBICACIÓN	33°39'S-70°22'W	33°48'S-71°45'W
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	Oct-95	Oct-95
Q (m ³ /s)	-	-
T (°C)	20	16
pH	9,4	9,4
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umbos/cm]	720	350
Turbiedad [FTU]	80	80
BIOTA ACUÁTICA	<i>Plecóptera, Anélida, Physa sp.</i>	<i>Chironomidae, Trichoptera, Physa, Gambusia affinis.</i>

	VI REGIÓN	VII REGIÓN
	Cachapoal en Coya	Maule en Abajo C. Pehuenche
UBICACIÓN	34°17'S-72°21'W	35°51'S-71°36'W
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	Oct-95	Oct-95
Q (m ³ /s)	-	-
T (°C)	8	13
pH	8,9	8,9
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umbos/cm]	420	120
Turbiedad [FTU]	80	10
BIOTA ACUÁTICA	<i>Plecóptera, Coleóptera.</i>	<i>Chironomidae, Ephemeroptera, Trichoptera, Chilina, Trichomycterus aerolatus, Oncorhynchus mykiss, Gambusia affinis.</i>

	VII REGIÓN	VII REGIÓN
	Claro en Buena Fe	Lircay en Las Lajas
UBICACIÓN	35°05'S-71°16'W	35°51'S-71°36'W
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	Oct-95	Oct-95
Q (m ³ /s)	-	-
T (°C)	15	7
pH	9,2	8,8
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umbos/cm]	80	40
Turbiedad [FTU]	50	10
BIOTA ACUÁTICA	<i>Plecóptera, Ephemeroptera, Trichoptera.</i>	<i>Chironomidae, Ephemeroptera, Odonata, Plecóptera, Trichoptera, Trichomycterus aerolatus, Oncorhynchus mykiss.</i>

	VII REGIÓN	VIII REGIÓN
	Perquiñauquén antes río Cañillo	Digilín en los Cipreses
UBICACIÓN	35°58'S-72°20'W	36°52'S-71°36'W
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	Oct-95	Oct-95
Q (m ³ /s)	-	-
T (°C)	15	7
pH	8,2	8,8
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umbos/cm]	30	48
Turbiedad [FTU]	8	5
BIOTA ACUÁTICA	<i>Chironomidae, Ephemeroptera, Odonata, Plecóptera.</i>	<i>Diptera, Chironomidae, Trichoptera, Ephemeroptera, Plecóptera, Trichomycterus aerolatus, Oncorhynchus mykiss.</i>

VII REGIÓN

	Nuble en Nahueltoro
UBICACIÓN	36°46' A-71°45' W
ORDEN O JERARQUÍA	-
FECHA MUESTREO	Oct-95
Q [m ³ /s]	-
T [°C]	12
pH	8,8
O.D. [mg/l]	-
C.E. [umhos/cm]	52
Turbiedad [FTU]	40
BIOTA ACUÁTICA	<i>Chironomidae, Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera, Trichomycterus aerolatus, Oncorhynchus mykiss.</i>

DATOS DE MUESTREOS OBTENIDOS DE LA LITERATURA
IX REGIÓN

CUENCA RÍO IMPERIAL

	Río Cautín	Río Muco
UBICACIÓN	Lat. 38° 28' S	Lat. 38° 32' S
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Rotropotamón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	'79-'80
Q [m ³ /s]	63,6-180	6,6-45,2
T [°C]	6,5-16,5	6,6-18,5
pH	6,6-8,1	6,5-8,4
O.D. [mg/l]	9,5-12,2	9,9-12,1
C.E. [umhos/cm]	43,7-72,7	22,6-39,9
DUREZA	0,3-0,7	0,3-0,8
BIOTA ACUÁTICA	<i>Aegla, Oncorhynchus mykiss, Trichomycterus aerolatus.</i>	<i>Aegla sp.</i>

	Río Quepe	Río Quino
UBICACIÓN	Lat. 35° 21' S	Lat. 38° 17' S
ORDEN O JERARQUÍA	Long. 72° 29' W	long. 72° 11' W
FECHA MUESTREO	Ritropotamón	Rotropotamón
Q [m ³ /s]	Período '79-'80	Período '79-'80
T [°C]	42,5-233	5,8-40,1
pH	8,4-18,5	3,5-17,3
O.D. [mg/l]	6,8-8,4	6,5-8
C.E. [umhos/cm]	9,6-12,7	9,5-13,1
DUREZA	38-70,9	21,7-42,2
BIOTA ACUÁTICA	0,3-0,7	0,2-1,2
	<i>Aegla sp, Basillichthys sp, Trichoptera</i>	<i>Trichoptera, Oncorhynchus mykiss.</i>

	Río Colliguanguí	Río Dillo
UBICACIÓN	Lat. 38° 21' S	Lat. 38° 25' S
ORDEN O JERARQUÍA	Long. 71° 57' W	Long. 71° 56' W
FECHA MUESTREO	Ritrón	Ritrón
Q [m ³ /s]	Período '79-'80	Período '79-'80
T [°C]	1-16,3	5,8-20,7
pH	3,3-14,2	4,2-13,9
O.D. [mg/l]	6-7,8	6,6-7,8
C.E. [umhos/cm]	9,5-12,5	9,5-12,5
DUREZA	19,0-43,6	24,4-144
BIOTA ACUÁTICA	0,1-0,5	0,1-0,5
	<i>Chilina sp, Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Chilina sp, Oncorhynchus mykiss, Trichoptera.</i>

	Cautín en Cajón	Cautín en Balseadero Boroa
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	21-09-1993	21-09-1993
Q [m ³ /s]	120	172
T [°C]	10	10
pH	8	8,6
O.D. [mg/l]	11,3	11,2
C.E. [umhos/cm]	35	60
TURBIEDAD [F.T.U.]	9	8
BIOTA ACUÁTICA	<i>Aegla sp, Peces.</i>	<i>Chironomidae, Oligochaeta, Plecóptera, Chulina, Ephemeróptera, peces.</i>
TIPO SUSTRATO	Rocoso-pedregoso	Limoso-arcilloso

IX REGIÓN
CUENCA RÍO IMPERIAL

	Cholchol en Nueva Imperial	Cholchol en Cholchol
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritropotamón	Ritrón
FECHA MUESTREO	20-09-1993	20-09-1993
Q [m ³ /s]	110,1	123
T [°C]	13	12
pH	7,8	9,2
O.D. [mg/l]	11,2	10
C.E. [umhos/cm]	45	40
TURBIEDAD [F.T.U.]	22	20
BIOTA ACUÁTICA	<i>*, peces</i>	<i>Chironomidae, Oligochaeta, Plecóptera, Trichoptera, Aegla sp, peces</i>
TIPO SUSTRATO	limoso-arcilloso	Limoso-arcilloso

	Cholchol en Cholchol	Cholchol en Imperial
UBICACIÓN	-	-
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	95	95
Q [m ³ /s]	-	-
T [°C]	12	13
pH	9,2	7,8
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umhos/cm]	40	45
TURBIEDAD [F.T.U.]	20	22
BIOTA ACUÁTICA	<i>Trichoptera, Chironomidae, Plecóptera, Aegla sp.</i>	<i>Ephemeroptera, Díptera, Odonata.</i>

	Imperial en Carahue
UBICACIÓN	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Potamón
FECHA MUESTREO	21-09-1993
Q [m ³ /s]	559,3
T [°C]	11
pH	7,6
O.D. [mg/l]	12
C.E. [umhos/cm]	56
TURBIEDAD [F.T.U.]	24
BIOTA ACUÁTICA	<i>Simulidae, Peces.</i>
TIPO SUSTRATO	limoso-arcilloso

CUENCA RÍO TOLTÉN

	Río Pedregoso	Río Allinén
UBICACIÓN	Lat. 39° 10' S Long. 72° 20' W	Lat. 38° 57' S Long. 72° 09' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Periodo '79-'80	Periodo '79-'80
Q [m ³ /s]	17-53	236,2-359,7
T [°C]	6,5-18	7-13,9
pH	6,7-7,7	6,8-8,2
O.D. [mg/l]	8,2-12,2	8,9-12,6
C.E. [umhos/cm]	31,3-57,5	51,0-114,9
TURBIEDAD [F.T.U.]	0,2-0,7	0,4-1,2
BIOTA ACUÁTICA	<i>Basilichthys sp., Oncorhynchus mykiss, Trichoptera</i>	<i>Aebla, Chilina, Trichoptera</i>

**IX REGIÓN
CUENCA RÍO TOLTÉN**

	Río Licura	Río Traicura
UBICACIÓN	Lat. 39° 15' S Long. 71° 49' W	Lat. 39° 15' S Long. 71° 49' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Rotropotamón
FECHA MUESTREO	Periodo '79-'80	Periodo '79-'80
Q [m ³ /s]	23,6-108	487-662
T [°C]	7,8-15,9	5,5-14
pH	6,5-8,4	6,1-8,3
O.D. [mg/l]	9,7-12,3	5,5-12,4
C.E. [umhos/cm]	50-96,4	42,3-92,5
TURBIEDAD [F.T.U.]	0,3-0,8	0,3-1,3
BIOTA ACUÁTICA	<i>Aebla sp., Oncorhynchus mykiss, Trichoptera.</i>	<i>Trichoptera, Oncorhynchus mykiss</i>

	Río Palguín	Río Cavisañi
UBICACIÓN	Lat. 39° 19' S Long. 71° 45' W	39° 20' S 71° 44' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritropotamón	Ritropotamón
FECHA MUESTREO	Periodo '79-'80	Periodo '79-'80
Q [m ³ /s]	19,3-58,1	26,7-57
T [°C]	3,8-12,1	6,5-11,9
pH	6,6-8,5	6,4-8,4
O.D. [mg/l]	10,2-13,7	9,5-11,6
C.E. [umhos/cm]	41,2-82,4	49,9-159,9
TURBIEDAD [F.T.U.]	0,3-0,5	0,4-0,6
BIOTA ACUÁTICA	<i>Trichoptera, Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Trichoptera, Oncorhynchus mykiss</i>

	Río Volpín
UBICACIÓN	Lat. 39° 20' S Long. 72° 13' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón
FECHA MUESTREO	Periodo '79-'80
Q [m ³ /s]	6,7-23,3
T [°C]	6,7-17,2
pH	6,7-8,2
O.D. [mg/l]	10,0-11,8
C.E. [umhos/cm]	43,4-73,4
TURBIEDAD [F.T.U.]	0,4-0,8
BIOTA ACUÁTICA	<i>Trichoptera, Oncorhynchus mykiss</i>

	Río Curaco en desagüe Lago Colico	Río Allipén en Los Laureles
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	22-09-1993	22-09-1993
Q [m ³ /s]	43,6	166
T [°C]	9	10
pH	8	*
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umbos/cm]	40	65
TURBIEDAD [F.T.U.]	0	0
BIOTA ACUÁTICA	*, Peces	*, Peces
TIPO SUSTRATO	Pedregoso	Pedregoso

IX REGIÓN
CUENCA RÍO TOLTÉN

	Río Allipén en Allipén	Río Pucón en Pucón
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	21-09-1993	21-09-1993
Q [m ³ /s]	224,6	37
T [°C]	9	11
pH	*	7
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umbos/cm]	72	34
TURBIEDAD [F.T.U.]	40	5
BIOTA ACUÁTICA	*, Peces	*, Peces
TIPO SUSTRATO	Pedregoso	Pedregoso

	Río Toltén en Villarrica	Río Toltén en Coipue
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	23-09-1993	23-09-1993
Q [m ³ /s]	372	381
T [°C]	11	10
pH	7,6	7,4
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umbos/cm]	66	10
TURBIEDAD [F.T.U.]	8	5
BIOTA ACUÁTICA	*, Peces	Chironomidae, Peces.
TIPO SUSTRATO	Pedregoso	*

	Río Toltén en Teodoro Schmidt	Río Donguil en Gorbea
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	22-09-1993	22-09-1993
Q [m ³ /s]	780	37
T [°C]	15	11
pH	7,6	7
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umbos/cm]	35	34
TURBIEDAD [F.T.U.]	9	5
BIOTA ACUÁTICA	Chironomidae, Oligochaeta, Peces	Chironomidae, Plecóptera, Chilina sp, Peces
TIPO SUSTRATO	Pedregoso	Rocoso

Nota: * indica que en la estación muestreada, una crecida del río inhabilitó el método de muestreo utilizado

X REGIÓN
CUENCA RÍO VALDIVIA

	Río Cruces, aguas arriba río Leufucade	Río Cruces en Rucaco
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	23-09-1993	25-09-1993
Q [m ³ /s]	33,8	85
T [°C]	10	10
pH	7,2	6,5
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	44	40
TURBIEDAD [P.T.U.]	8	15
BIOTA ACUATICA	<i>Plecoptera, peces</i>	<i>Chironomidae, peces</i>
TIPO SUSTRATO	Limoso - arcilloso	Limoso - arcilloso

	Río Inaque en Mafil	Río Cruces en Valdivia
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Potamón
FECHA MUESTREO	25-09-1993	25-09-1993
Q [m ³ /s]	24,3	992,3
T [°C]	11	17
pH	6,5	6,3
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	34	55
TURBIEDAD [P.T.U.]	20	30
BIOTA ACUATICA	---, Peces	---
TIPO SUSTRATO	Limoso - arcilloso	Limoso - arcilloso

	Río Calle Calle en Balseadero Sn. Javier	Río Calle Calle en Valdivia
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Potamón
FECHA MUESTREO	26-09-1993	26-09-1993
Q [m ³ /s]	180	534,6
T [°C]	10	13
pH	6,7	6,9
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	54	50
TURBIEDAD [P.T.U.]	0	17
BIOTA ACUATICA	---	---
TIPO SUSTRATO	Limoso - arcilloso	Limoso - arenoso

	Río Sn. Pedro en desagüe de lago Rinihue	Río Enco en Chan Chan
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	25-09-1993	24-09-1993
Q [m ³ /s]	408	362
T [°C]	12	10
pH	6,7	7
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	54	55
TURBIEDAD [P.T.U.]	0	5
BIOTA ACUATICA	<i>Aegla, Chironomidae, Plecoptera, Chilina, peces</i>	---, Peces
TIPO SUSTRATO	Pedregoso	Pedregoso

X REGIÓN
CUENCA RÍO VALDIVIA

	Río Neltume en desague de lago Neltume	Río Fui en Puerto Fui
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	24-09-1993	24-09-1993
Q [m ³ /s]	59,3	94,8
T [°C]	10	8
pH	6,4	6,6
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	24	54
TURBIEDAD [F.T.U.]	0	5
BIOTA ACUÁTICA	<i>Chironomidae, Plecoptera,</i> peces	---, Peces
TIPO SUSTRATO	Pedregoso	Pedregoso

	Río Huanehue antes de lago Panguipulli
UBICACIÓN	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón
FECHA MUESTREO	24-09-1993
Q [m ³ /s]	100,4
T [°C]	10
pH	6,1
O.D. [mg/l]	Saturado
C.E. [umhos/cm]	46
TURBIEDAD [F.T.U.]	8
BIOTA ACUÁTICA	---, Peces
TIPO SUSTRATO	Pedregoso

	Río Chesque	Río Melilahuén
UBICACIÓN	Lat. 39° 24' S Long. 72° 14' W	Lat. 39° 29' S Long. 72° 10' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	1,8-25	5,8-24,2
T [°C]	6,1-19,3	6,7-17,5
pH	6,4-8,1	6,9-7,9
O.D. [mg/l]	8,8-11,9	9,3-13,0
C.E. [umhos/cm]	22,9-47,7	29,5-87,7
DUREZA [°dh]	0,14-0,39	0,2-0,7
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Diptera.</i> <i>Salmo trutta.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Aegla sp</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Aplocheilichthys taeniatus</i>

	Río Cua-Cua	Río Llancahue
UBICACIÓN	Lat. 39° 42' S Long. 71° 54' W	Lat. 39° 34' S Long. 71° 57' W
ORDEN O JERARQUÍA	Potamón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	102-445,6	24,9-79,8
T [°C]	6,2-12,2	6,9-12,3
pH	6,2-7,7	6,6-8,5
O.D. [mg/l]	9,4-12,2	8,3-12,0
C.E. [umhos/cm]	28,8-135,2	59,6-134,3
DUREZA [°dh]	0,25-0,53	0,39-0,81
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Aplocheilichthys taeniatus</i>	<i>Plecoptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Aplocheilichthys taeniatus</i> <i>Pigidium aerolatum.</i>

X REGIÓN
CUENCA DEL RÍO BUENO

	Río Nilahue en Mayay	Río Bueno en Puerto Lapi.
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritropotamón
FECHA MUESTREO	26-09-1993	26-09-1993
Q [m ³ /s]	29	314,2
T [°C]	11	10
pH	7,2	6,7
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	140	60
TURBIEDAD [F.T.U.]	12	12
BIOTA ACUATICA	<i>Ephemeroptera, peces.</i>	<i>Aegla sp, Chulina, Plecoptera.</i> <i>Peces.</i>
TIPO SUSTRATO	Pedregoso	Rocoso-pedregoso.

	Río Bueno en Ruta 5	Río Llollelhue en La Unión.
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	---	Potamón
FECHA MUESTREO	27-09-1993	27-09-1993
Q [m ³ /s]	482,7	18,4
T [°C]	---	10
pH	---	6,4
O.D. [mg/l]	---	Saturado
C.E. [umhos/cm]	---	68
TURBIEDAD [P.T.U.]	---	15
BIOTA ACUATICA	---	---, Peces
TIPO SUSTRATO	---	Limoso-arcilloso

	Río Pilmaiquén en San Pablo	Río Rahue en Osorno
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA		Potamón
FECHA MUESTREO	27-09-1993	28-09-1993
Q [m ³ /s]	162	160,7
T [°C]	11	11
pH	6,9	6,4
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	62	74
TURBIEDAD [F.T.U.]	0	15
BIOTA ACUATICA	---, Peces	---, Peces
TIPO SUSTRATO	---	---

	Río Damas aguas arriba de Osorno	Río Pilmaiquén en desague de Lago Puyehue
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Potamón	Potamón
FECHA MUESTREO	28-09-1993	27-09-1993
Q [m ³ /s]	12,9	140,3
T [°C]	12	10
pH	6,7	6,2
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	70	60
TURBIEDAD [F.T.U.]	3	0
BIOTA ACUATICA	<i>Plecoptera, Chironomidae,</i> <i>Trichoptera.</i>	---
TIPO SUSTRATO	Limoso-arcilloso.	---

X REGIÓN
CUENCA RÍO VALDIVIA

	Río Reca	Río Puffir
UBICACIÓN	Lat. 39° 46' S Long. 72° 07' W	Lat. 39° 46' S Long. 72° 07' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	2,7-22,6	10,3-34,3
T [°C]	8,0-13,1	5,8-13,9
pH	6,1-7,7	6,4-7,8
O.D. [mg/l]	9,4-11,8	9,7-12,5
C.E. [umhos/cm]	36,0-70,5	16,9-44,0
DUREZA [°dh]	0,31-0,84	0,11-0,45
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Aegla sp, Coleoptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Percilla</i> <i>gillissi, Pygidium aerolatum.</i>	<i>Aegla sp.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Percilla gillissi.</i>

	Río Niltre	Río Nancul
UBICACIÓN	Lat. 39° 42' S Long. 72° 13' W	Lat. 39° 42' S Long. 72° 26' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	5,4-24,8	8,0-22,4
T [°C]	5,6-12,7	7,3-15,5
pH	6,9-7,8	6,2-7,8
O.D. [mg/l]	9,4-14,6	9,6-11,8
C.E. [umhos/cm]	15,4-101,1	22,2-33,9
DUREZA [°dh]	0,11-0,36	0,14-0,28
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla sp.</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Geotria.</i>

	Río Quinchilca
UBICACIÓN	Lat. 39° 52' S Long. 72° 45' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón, 6
FECHA MUESTREO	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	152,4-239,0
T [°C]	5,8-20,7
pH	7,0-7,9
O.D. [mg/l]	9,4-12,2
C.E. [umhos/cm]	25,0-99,7
DUREZA [°dh]	0,17-0,39
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i>

X REGIÓN
CUENCA DEL RÍO BUENO

	Río Caunahue en camino a Llifén	Río Calcurrepe antes de Lago Ranco
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	26-09-1993	26-09-1993
Q [m ³ /s]	16,9	128
T [°C]	11	10
pH	6,8	6,7
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	57	58
TURBIEDAD [F.T.U.]	15	16
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Chironomidae,</i> <i>Plecoptera.</i>	---, Peces
TIPO SUSTRATO	Rocoso	Pedregoso

X REGIÓN
CUENCA DEL RÍO BUENO

	Río Golo-Gol antes de Lago Puyehue	Río Rahue en desague del Lago Rupanco
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	27-09-1993	28-09-1993
Q [m ³ /s]	42,6	105
T [°C]	10	11
pH	6,4	6,8
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	50	50
TURBIEDAD [F.T.U.]	15	6
BIOTA ACUÁTICA	---	---
TIPO SUSTRATO	---	---

	Río Rahue en Forraque aguas abajo de Osorno
UBICACIÓN	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Potamón
FECHA MUESTREO	28-09-1993
Q [m ³ /s]	400
T [°C]	11
pH	6,8
O.D. [mg/l]	Saturado
C.E. [umhos/cm]	60
TURBIEDAD [F.T.U.]	0
BIOTA ACUÁTICA	<i>Plecoptera, Chironomidae,</i> <i>Chilina sp, Trichoptera. Peces.</i>
TIPO SUSTRATO	---

	Río Quimán	Río Caunahue
UBICACIÓN	Lat. 40° 07' S	Lat. 40° 09' S
	Long. 72° 21' W	Long. 72° 15' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	4,3-9,3	42-112
T [°C]	4,9-16	5,9-15
pH	6,8-7,9	6,5-7,3
O.D. [mg/l]	9,1-12,9	6,2-13,1
C.E. [umhos/cm]	34,8-74,7	15,2-79,8
DUREZA [°dh]	0,2-0,7	0,3-1
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Aplochiton taeniatus.</i>	<i>Ephemeroptera, Díptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Aplochiton</i> <i>taeniatus, Pygidium aerolatum</i>

	Río Curanilahue	Río Blanco (Maihué)
UBICACIÓN	Lat. 40° 12' S	Lat. 40° 11' S
	Long. 72° 08' W	Long. 72° 00' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	2,8-23,9	47,5-111,5
T [°C]	6,3-15,9	5,8-12,3
pH	5,8-7,3	7,2-8,2
O.D. [mg/l]	9,1-13,2	9,4-13
C.E. [umhos/cm]	32,9-96,1	58,2-141,7
DUREZA [°dh]	0,3-0,9	0,6-1,9
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla sp, Díptera,</i> <i>Coleóptera</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Salmo</i> <i>trutta, Pygidium aerolatum</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Díptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Aplochiton taeniatus.</i>

X REGIÓN
CUENCA DEL RÍO BUENO

	Río Ignao	Río Corrilelfu
UBICACIÓN	Lat. 40° 20' S Long. 72° 34' W	Lat. 40° 24' S Long. 72° 45' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Potamón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	40,5-115,5	12-50
T [°C]	7,9-18,8	8,4-20,8
pH	6,1-7,8	6,2-7,6
O.D. [mg/l]	9,5-12,1	8,8-16,7
C.E. [umhos/cm]	17,8-79,3	26,2-91,8
DUREZA [°dh]	0,2-0,7	0,2-0,6
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla sp.</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla sp.</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>

	Río Cuyaima	Río Chirre
UBICACIÓN	Lat. 40° 25' S Long. 72° 45' W	Lat. 40° 33' S Long. 72° 42' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	13,7-117,8	53,8-190,4
T [°C]	8,3-18	7,8-19
pH	5,5-7,3	6,3-8,1
O.D. [mg/l]	9,5-12,3	9,2-11,9
C.E. [umhos/cm]	21,3-69	22,3-67,7
DUREZA [°dh]	0,2-0,6	0,2-0,7
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla sp.</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Geotria.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>

	Río Gol-Gol	Río Chanleifu
UBICACIÓN	Lat. 40° 39' S Long. 72° 15' W	Lat. 40° 42' S Long. 72° 20' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	73,2-273,6	11-50,1
T [°C]	5,9-11,1	6,2-12,2
pH	5,7-7,8	6,3-7,7
O.D. [mg/l]	10,7-15,2	10,2-12,5
C.E. [umhos/cm]	29,1-94,4	26,9-85,3
DUREZA [°dh]	0,1-1,1	0,3-0,6
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Aplochiton</i> <i>taeniatus, Salmo trutta.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Amphipoda, Oligochaeta.</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>

	Río Nalcas	Río el Callao
UBICACIÓN	Lat. 40° 53' S Long. 72° 21' W	Lat. 40° 53' S Long. 72° 21' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	23,8	27
T [°C]	6,6-7,7	5,3-10,1
pH	5,7-7,9	5,5-7,6
O.D. [mg/l]	10,9-12,4	11,1-13,6
C.E. [umhos/cm]	35,6-67,1	28,7-57
DUREZA [°dh]	0,4-0,7	0,3-0,7
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Diptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Aplochiton taeniatus.</i>

X REGIÓN
CUENCA DEL RÍO BUENO

	Río Chaichaguen	Río Bonito
UBICACIÓN	Lat. 40° 26' S Long. 72° 44' W	Lat. 40° 53' S Long. 72° 28' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período `79-`80	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	5,1-49,5	21-81,2
T [°C]	7,6-17,8	6,2-11,5
pH	5,3-7,8	5,5-7,7
O.D. [mg/l]	9,6-12,6	11-13,2
C.E. [umhos/cm]	17,9-57,8	30,6-57,4
DUREZA [°dh]	0,1-0,8	0,4-0,6
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera.</i> <i>Galaxia maculatus, Geotria.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Aplochiton</i> <i>taeniatatus, Salmo trutta, Percilla</i> <i>gillissi, Galaxias maculatus.</i>

	Río Coihueco
UBICACIÓN	Lat. 40° 56' S Long. 72° 41' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	62,4-248,9
T [°C]	6,2-14
pH	5,7-8
O.D. [mg/l]	9,4-12,3
C.E. [umhos/cm]	29,1-69
DUREZA [°dh]	0,3-0,7
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla sp.</i> <i>Salmo trutta, Pygidium</i> <i>aerolatum.</i>

CUENCA DEL RÍO MAULLÍN

	Río Maullín en desague de Lago Llanquihue	Río Maullín en las Quemadas.
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Potamón	
FECHA MUESTREO	29-09-1993	29-09-1993
Q [m ³ /s]	85,4	97,6
T [°C]	11	11
pH	6,8	6,5
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	94	89
TURBIEDAD [P.T.U.]	0	5
BIOTA ACUÁTICA	<i>Chilina, Chironomidae,</i> <i>Trichoptera, Tipulidae, Peces.</i>	<i>Plecoptera, Chironomidae, Simuliidae</i> <i>Trichoptera, Ephemeroptera, Peces.</i>
TIPO SUSTRATO	Limoso-arcilloso.	Limoso-arcilloso.

	Río Blanco (Norte de Llanquihue)	Río Las Cascadas
UBICACIÓN	Lat. 41° 03' S Long. 72° 40' W	Lat. 41° 05' S Long. 72° 38' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón, 3	Ritrón, 3
FECHA MUESTREO	Período `79-`80	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	4,5-8,2	1,1-4,4
T [°C]	6,8-12,6	6,9-13
pH	6,3-7,0	5,7-7,6
O.D. [mg/l]	10,4-12,6	10,6-12,5
C.E. [umhos/cm]	42,2-65,8	43,3-95,1
DUREZA [°dh]	0,4-0,8	0,4-1,04
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Díptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Salmo trutta</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Díptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Salmo trutta</i>

X REGIÓN
CUENCA DEL RÍO MAULLÍN

	Río Tepu	Río Blanco (Sur Llanquihue)
UBICACIÓN	Lat. 41° 14' S Long. 72° 35' W	Lat. 41° 14' S Long. 72° 37' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón, 3	Ritrón, 3
FECHA MUESTREO	Período `79-`80	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	5-29,4	3,6-15,3
T [°C]	8,8-16	---
pH	5,5-8	5,2-7,5
O.D. [mg/l]	10,4-12,2	10,0-12,2
C.E. [umhos/cm]	31-86	12,0-65,4
DUREZA [°dh]	0,3-0,6	0,2-0,6
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Díptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Pygidium</i> <i>aerolatum, Galaxias platei.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Díptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Salmo trutta</i>

	Río Pescado	Río Sur
UBICACIÓN	Lat. 41° 15' S Long. 72° 48' W	Lat. 41° 16' S Long. 72° 37' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón, 4	Ritrón, 3
FECHA MUESTREO	Período `79-`80	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	16-57,5	7,8-14,3
T [°C]	7-15,8	6,7-12,3
pH	5,3-8	5,6-8,3
O.D. [mg/l]	10,3-11,8	10,4-12,3
C.E. [umhos/cm]	19,5-66,3	28-59,2
DUREZA [°dh]	0,2-0,6	0,1-0,3
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Salmo trutta</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Salmo trutta</i>

CUENCA DEL RÍO PUELO

	Río Puelo en Carrera de Basilio	Puelo Chico
UBICACIÓN	Estación de muestreo	-
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	-
FECHA MUESTREO	01-10-1993	FEB. 70
Q [m ³ /s]	339,5	133
T [°C]	9	10
pH	6,7	7,1
O.D. [mg/l]	Saturado	-
C.E. [umhos/cm]	54	-
TURBIDIDAD [F.T.U.]	0	-
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Peces.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Coleoptera</i>
TIPO SUSTRATO	Pedregoso	-

X REGIÓN
CUENCA DEL RÍO BUENO

	Río Ignao	Río Corrilelfu
UBICACIÓN	Lat. 40° 20' S Long. 72° 34' W	Lat. 40° 24' S Long. 72° 45' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Potamón
FECHA MUESTREO	Período `79-`80	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	40,5-115,5	12-50
T [°C]	7,9-18,8	8,4-20,8
pH	6,1-7,8	6,2-7,6
O.D. [mg/l]	9,5-12,1	8,8-16,7
C.E. [umhos/cm]	17,8-79,3	26,2-91,8
DUREZA [°dh]	0,2-0,7	0,2-0,6
BIOTA ACUATICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla,</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla,</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>

	Río Cuyaima	Río Chirre
UBICACIÓN	Lat. 40° 25' S Long. 72° 45' W	Lat. 40° 33' S Long. 72° 42' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período `79-`80	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	13,7-117,8	53,8-190,4
T [°C]	8,3-18	7,8-19
pH	5,5-7,3	6,3-8,1
O.D. [mg/l]	9,5-12,3	9,2-11,9
C.E. [umhos/cm]	21,3-69	22,3-67,7
DUREZA [°dh]	0,2-0,6	0,2-0,7
BIOTA ACUATICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla,</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Geotria.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera,</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>

	Río Gol-Gol	Río Chanleifu
UBICACIÓN	Lat. 40° 39' S Long. 72° 15' W	Lat. 40° 42' S Long. 72° 20' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período `79-`80	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	73,2-273,6	11-50,1
T [°C]	5,9-11,1	6,2-12,2
pH	5,7-7,8	6,3-7,7
O.D. [mg/l]	10,7-15,2	10,2-12,5
C.E. [umhos/cm]	29,1-94,4	26,9-85,3
DUREZA [°dh]	0,1-1,1	0,3-0,6
BIOTA ACUATICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera,</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Aplochiton</i> <i>taeniatus, Salmo trutta.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Amphipoda, Oligochaeta,</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>

	Río Nalcas	Río el Callao
UBICACIÓN	Lat. 40° 53' S Long. 72° 21' W	Lat. 40° 53' S Long. 72° 21' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período `79-`80	Período `79-`80
Q [m ³ /s]	23,8	27
T [°C]	6,6-7,7	5,3-10,1
pH	5,7-7,9	5,5-7,6
O.D. [mg/l]	10,9-12,4	11,1-13,6
C.E. [umhos/cm]	35,6-67,1	28,7-57
DUREZA [°dh]	0,4-0,7	0,3-0,7
BIOTA ACUATICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Diptera,</i> <i>Oncorhynchus mykiss.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera,</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Aplochiton taeniatus.</i>

X REGIÓN
CUENCA DEL RÍO BUENO

	Río Chaichaguen	Río Bonito
UBICACIÓN	Lat. 40° 26' S Long. 72° 44' W	Lat. 40° 53' S Long. 72° 28' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	5,1-49,5	21-81,2
T [°C]	7,6-17,8	6,2-11,5
pH	5,3-7,8	5,5-7,7
O.D. [mg/l]	9,6-12,6	11-13,2
C.E. [umhos/cm]	17,9-57,8	30,6-57,4
DUREZA [°dh]	0,1-0,8	0,4-0,6
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera.</i> <i>Galaxia maculatus, Geotria.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss, Aplochiton</i> <i>taeniatatus, Salmo trutta, Percilla</i> <i>gillissi, Galaxias maculatus.</i>

	Río Coihueco
UBICACIÓN	Lat. 40° 56' S Long. 72° 41' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón
FECHA MUESTREO	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	62,4-248,9
T [°C]	6,2-14
pH	5,7-8
O.D. [mg/l]	9,4-12,3
C.E. [umhos/cm]	29,1-69
DUREZA [°dh]	0,3-0,7
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Aegla.</i> <i>Salmo trutta, Pygidium</i> <i>aerolatum.</i>

CUENCA DEL RÍO MAULLÍN

	Río Maullín en desague de Lago Llanquihue	Río Maullín en las Quemadas.
UBICACIÓN	Estación de muestreo	Estación de muestreo
ORDEN O JERARQUÍA	Potamón	
FECHA MUESTREO	29-09-1993	29-09-1993
Q [m ³ /s]	85,4	97,6
T [°C]	11	11
pH	6,8	6,5
O.D. [mg/l]	Saturado	Saturado
C.E. [umhos/cm]	94	89
TURBIEDAD [P.T.U.]	0	5
BIOTA ACUÁTICA	<i>Chilina, Chironomidae,</i> <i>Trichoptera, Tipulidae, Peces.</i>	<i>Plecoptera, Chironomidae, Simuliidae</i> <i>Trichoptera, Ephemeroptera, Peces.</i>
TIPO SUSTRATO	Limoso-arcilloso.	Limoso-arcilloso.

	Río Blanco (Norte de Llanquihue)	Río Las Cascadas
UBICACIÓN	Lat. 41° 03' S Long. 72° 40' W	Lat. 41° 05' S Long. 72° 38' W
ORDEN O JERARQUÍA	Ritrón, 3	Ritrón, 3
FECHA MUESTREO	Período '79-'80	Período '79-'80
Q [m ³ /s]	4,5-8,2	1,1-4,4
T [°C]	6,8-12,6	6,9-13
pH	6,3-7,0	5,7-7,6
O.D. [mg/l]	10,4-12,6	10,6-12,5
C.E. [umhos/cm]	42,2-65,8	43,3-95,1
DUREZA [°dh]	0,4-0,8	0,4-1,04
BIOTA ACUÁTICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Trichoptera, Díptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Salmo trutta</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera,</i> <i>Díptera.</i> <i>Oncorhynchus mykiss,</i> <i>Salmo trutta</i>

OTRAS ESTACIONES

	Est. La Zorra	Río del Este
UBICACIÓN	-	-
ORDEN O JERARQUÍA	-	-
FECHA MUESTREO	FEB. 70	ABR. 70
Q [m ³ /s]	5	170
T [°C]	18	11
pH	7,1	6,7
O.D. [mg/l]	-	-
C.E. [umhos/cm]	-	-
TURBIEDAD [P.T.U.]	-	-
BIOTA ACUATICA	<i>Chironomidae, Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera, Trichonictenus aerolatus, Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera.</i>

	Cochamó	Lenca	Chaparrano
UBICACIÓN	-	-	-
ORDEN O JERARQUÍA	-	-	-
FECHA MUESTREO	FEB. 70	FEB. 70	FEB. 70
Q [m ³ /s]	-	265	-
T [°C]	9	14,5	11
pH	6,8	6,8	7,9
O.D. [mg/l]	-	-	-
C.E. [umhos/cm]	-	-	-
TURBIEDAD [P.T.U.]	-	-	-
BIOTA ACUATICA	<i>Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera.</i>	<i>Ephemeroptera.</i>	<i>Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera</i>

ENCUESTA A EXPERTO EN INSECTOS DEL ORDEN TRICHOPTERA

Fecha: 25/07/1996

Nombre: *Fresia Rojas Alvarado*
Institución: *Museo Nacional de Historia Natural*
Departamento de: *Entomología*

i) Características generales del orden:

- Nombre: *Familia de larvas de tricópteros.*
- Se puede considerar como indicadora de: *calidad físico-química de las aguas.*
- Es propia de la zona comprendida entre: *IV región y XII región.*
- Requiere
 - pH entre: *5.0 y 9.0 el óptimo es 7.2*
 - Conductividad entre: *300 μ s y 420 μ s*
 - Temperatura: *régimen térmico del agua variable entre 0 y 25° con rangos específicos de acuerdo a la latitud del curso de agua y a las familias presentes.*
 - Velocidad mínima: *10 cm/s (dependiendo de la especie)*
 - Velocidad máxima: *100 cm/s (dependiendo de la especie)*
 - Tipo de sedimento: *arena, limo, gravas, bloques (según familia)*
 - Se alimenta principalmente de: *algas filamentosas, desechos orgánicos y otros macroinvertebrados, dependiendo de la familia.*
 - Viven en: *lechos de corrientes de ancho y profundidad variada.*

A continuación se presenta el número de familias y especies existentes por región.

<i>REGIÓN</i>	<i>Nº ESPECIES/FAMILIAS</i>
<i>IV</i>	<i>5/4</i>
<i>V</i>	<i>27/9</i>
<i>R.M</i>	<i>19/7</i>
<i>VI</i>	<i>17/6</i>
<i>VII</i>	<i>65/14</i>
<i>VIII</i>	<i>114/17</i>
<i>IX</i>	<i>102/15</i>
<i>X</i>	<i>99/17</i>

ii) **Recomendaciones para el seguimiento de la calidad de los recursos hídricos en Chile:**

Establecer los patrones de correlación entre la presencia, abundancia y riqueza faunística y las condiciones físico-químicas de los principales cursos de cada cuenca. Continuar con un seguimiento de la calidad de las aguas por medio de un régimen de monitoreo con muestreos periódicos aplicados 4 veces al año (en cada cambio de estación), que permitan establecer un control por medio de bioindicadores, usando métodos probadamente eficaces como el de Verneaux y Tuffery aplicado en Suiza (F. Noel y Fasel, 1983), o el método de Hilsenhof, que se basa especialmente en insectos y ha sido aplicado en una experiencia colombiana (Quintero y Rojas, 1987). Dado que los bioindicadores integran en el tiempo las variables físico-químicas de medición instantánea, complementada además por la posibilidad de reconocer potenciales de autodepuración, parece razonable adoptar dichos métodos.

iii) **Aspectos ambientales que se consideran relevantes:**

La calidad de las aguas como sustrato de diversidad biológica de los ecosistemas, depende indudablemente de la cantidad y régimen del caudal. Estudios foráneos respecto de la dinámica de los ríos en constante transformación de su morfología a lo largo del tiempo, mantienen comunidades ecológicas importantes gracias a que en los períodos de estiaje mantiene un caudal mínimo que depende de la categoría piscícola a la que oficialmente pertenecen.

Las transformaciones ambientales de la cuenca (tales como tala de bosques que sombreaban el agua, erosión de terrenos colindantes, arrastre de abonos y plaguicidas, aumento de descargas de desechos orgánicos, extracción de caudal, etc.), señalan aspectos a monitorear periódicamente para evaluar por medio de índices bióticos, su impacto en la desaparición de un número de especies características para ese biótomo y en ciertos casos por la aparición de otras especies mejor adaptadas a la naturaleza particular de la contaminación en un proceso de progresivo deterioro.

INFORME COMPLEMENTARIO

Los insectos tricópteros en estado juvenil participan como componentes importantes en las comunidades de macroinvertebrados que sustentan a crustáceos y peces. La tolerancia específica de las larvas a factores de contaminación hace de ellos buenos indicadores de calidad de las aguas.

Es posible establecer una relación directa entre familias y géneros encontrados con estados específicos de calidad de agua (Quinteros y Rojas, 1987). Además han demostrado ser buenos descriptores del funcionamiento de cuerpos de agua en ecosistemas fluviales en Francia (Verneaux et G. Tuffery), Suiza (Noel y Fasel, 1982) e Italia (Braioni y Ruffo, 1986) entre muchas otras experiencias que se acopian en la bibliografía extranjera de casi medio siglo.

En Chile escasos estudios sobre calidad y productividad biológica de aguas dulces han iniciado el establecimiento de relaciones entre aspectos físico-químicos y biológicos.

Sin embargo, las bases biológicas sobre el orden han sido estudiadas y cerca del 80% de las especies presumiblemente existentes están descritas en su estado adulto (Rojas, 1995). Su distribución puede ser referida a las principales cuencas hidrográficas entre las regiones IV a XII, con aislada mención de la I región.

Requerimientos o Características Ecológicas de las Larvas:

Tienen gran afinidad con el O.D., se supone que es un grupo de organismos originalmente de aguas corrientes y que secundariamente han colonizado las aguas estancadas. La distribución de las larvas en la profundidad del cuerpo de agua se encuentra limitada, por su oxigenofilia, a unos pocos centímetros; algunas especies incluso se presentan en el borde o en rocas bañadas por el agua (fauna higropétrica), mientras que otras están en el canal central del curso.

En relación a la temperatura, las larvas de tricópteros están adaptadas a muy diferentes regímenes térmicos, de acuerdo a las familias y especies. En el sur de Chile (Magallanes) toleran temperaturas cercanas a 0°, pudiendo llegar a congelarse en invernación en Rusia. Mientras que otras especies habitantes de aguas estancadas en llanuras o cuerpos de agua de corriente lenta pueden soportar 20° a 27° de temperatura. Estas formas toleran además fluctuaciones en la temperatura del agua (Lepneva, 1964).

Las larvas de tricóptero están adaptadas mayoritariamente a las aguas con corrientes y se presentan en toda la red del sistema hídrico, manantiales, arroyos, riachuelos y grandes vías fluviales. La velocidad de la corriente en el hábitat de las distintas especies varía ampliamente desde una corriente tan lenta que resulta inregistrable (menos de 1 cm/s), hasta un riachuelo turbulento con fuerza de 2-3 m/s, donde algunas especies viven fuertemente atadas a un sustrato de piedra, generalmente para evitar ser arrastradas.

En cuanto a la iluminación, las larvas jóvenes (en primeros estadios), que se alimentan de vegetales, son atraídas por la luz, pero en estadios tardíos la rehuye; los adultos rehuyen la luz solar pero son atraídos en la noche por luz artificial y focos ultravioleta como trampas para colectarlos.

El oxígeno disuelto es el parámetro más importante entre los que sirven para evaluar la calidad del agua, porque varía más significativamente al incrementarse la contaminación. La cantidad de oxígeno disuelto depende de los factores entre los que se destaca la turbulencia, temperatura, altura sobre el nivel del mar y contenido salino. En aguas frías valores de oxígeno superiores a 5 mg son buenos para preservar la biota acuática promedio de un cuerpo de agua (según Ministerio de salud de Colombia). El nivel de O.D. es menor en las áreas planas y va aumentando al acercarse a las cabeceras. El O.D. varía en proporción directa a la altura e inversa a la temperatura.

Bibliografía

Quintero, A. & A. Rojas. 1987. Aspectos bioecológicos del Orden Trichóptera y su relación con la calidad del agua. *Revista de Entomología* 13 (1): 26-38.

Lepneva, S., 1964. Fauna of the U.S.S.R. Trichóptera. Zoological Institute of the Academy of Sciences of the U.S.S.R. N° 88.

Noel, F & D. Fasel, 1985. Etude de l'état sanitaire des cours d'eau du Canton de Fribourg. *Bull Sc. Fibr. Sc. Nat.* 74: 1-332.

Vernaux, J. Et Tuffery, 1982. Une methode zoologique pratique de determination de la qualité biologique des eaux courantes. *Ann. Sc. Univ. Besancon* (3): 80-90.

Rojas, F., 1985. Diversidad Biológica. Orden Trichóptera. Editorial Simonette.

ANEXO E

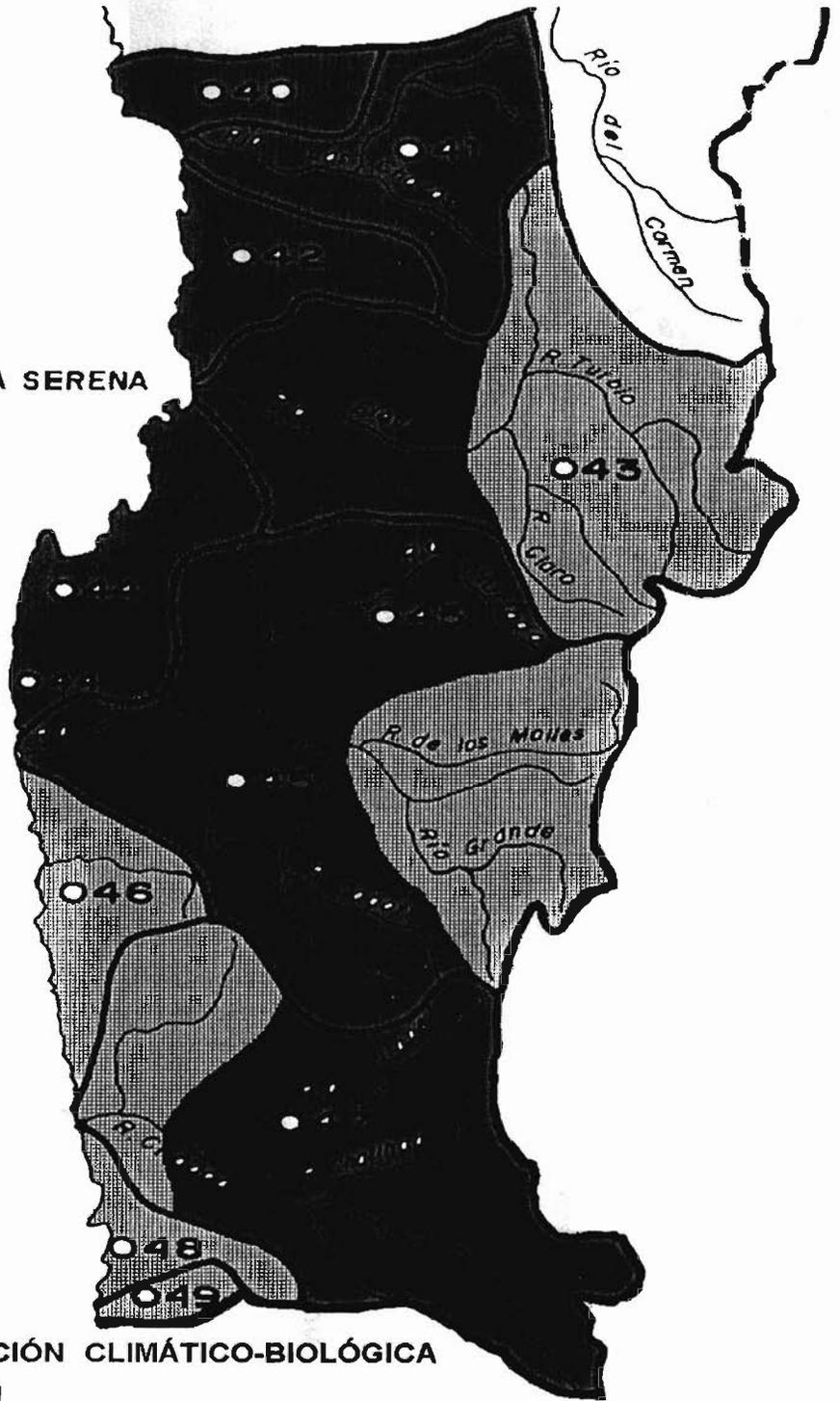
ZONIFICACIÓN

IV REGIÓN
Cuenca 043 Elqui
Cuenca 045 Limarí
Cuenca 047 Choapa

LA SERENA

SIMBOLOGÍA:

 SISTEMA ÁRIDO
 SISTEMA SEMIÁRIDO



**FIG.1: ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO-BIOLÓGICA
IV REGIÓN**

Todo el territorio consignado en esta figura pertenece a la zona biológica denominada "Zona Norte".

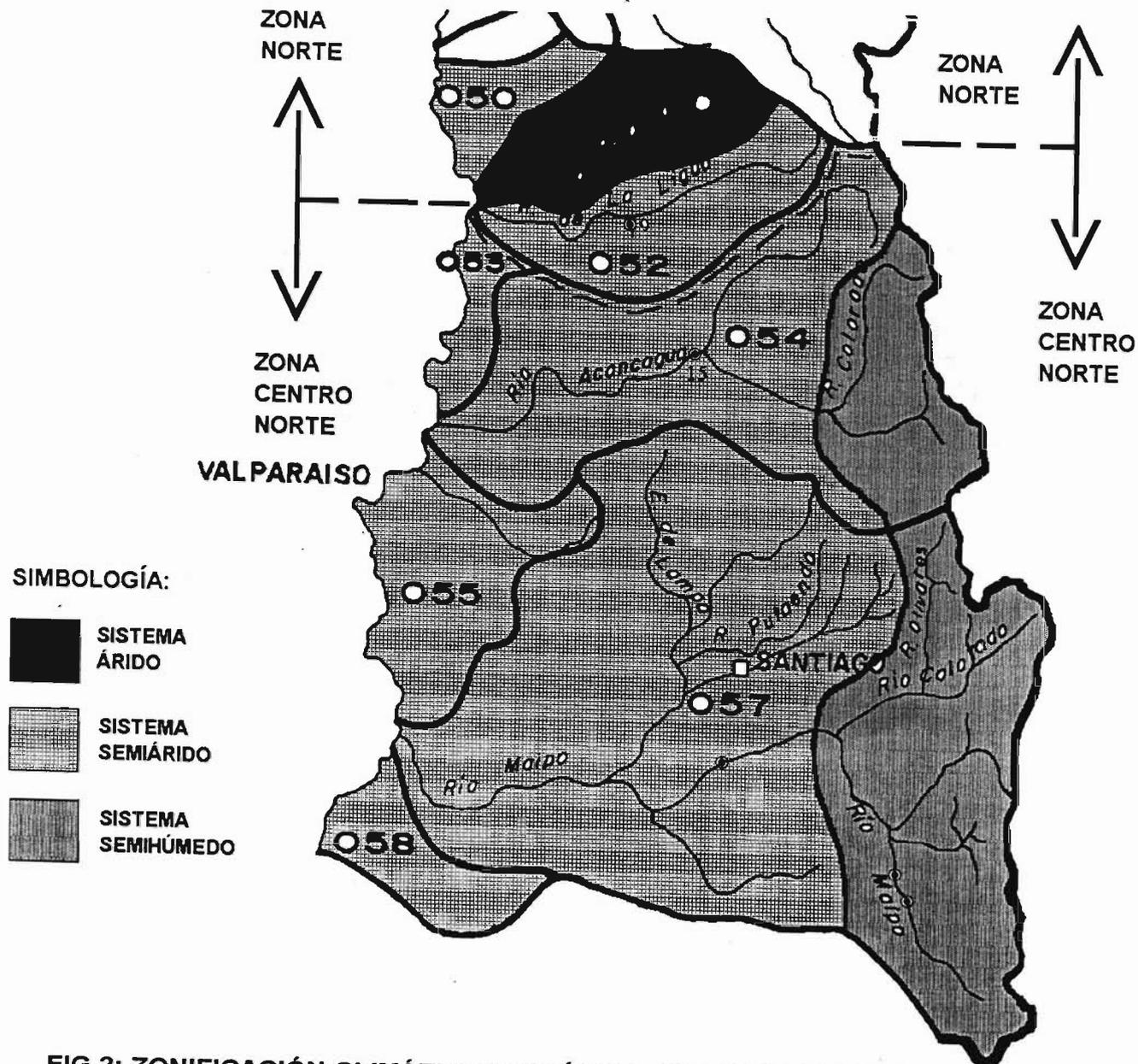


FIG.2: ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO-BIOLÓGICA. V REGIÓN Y R.METROPOLITANA

VI REGIÓN
Cuenca 060 Rapel

VII REGIÓN
Cuenca 071 Mataquito
Cuenca 073 Maule

SIMBOLOGÍA:

-  SISTEMA SEMIÁRIDO
-  SISTEMA SEMIHÚMEDO
-  SISTEMA HÚMEDO

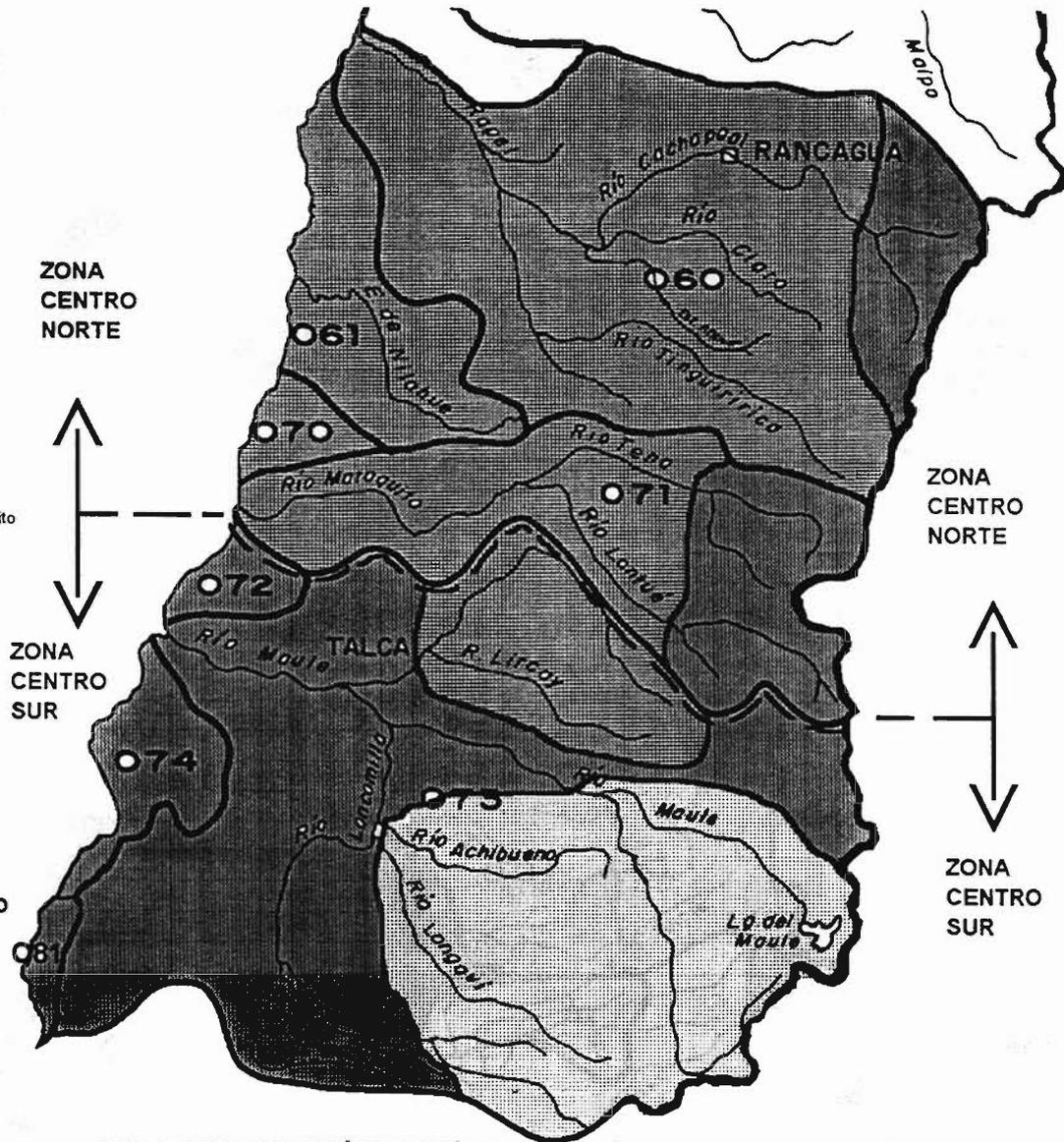


FIG.3: ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO-BIOLÓGICA. VI Y VII REGIÓN.

VIII REGIÓN
 Cuenca 081 Itata
 Cuenca 083 Bío-Bío

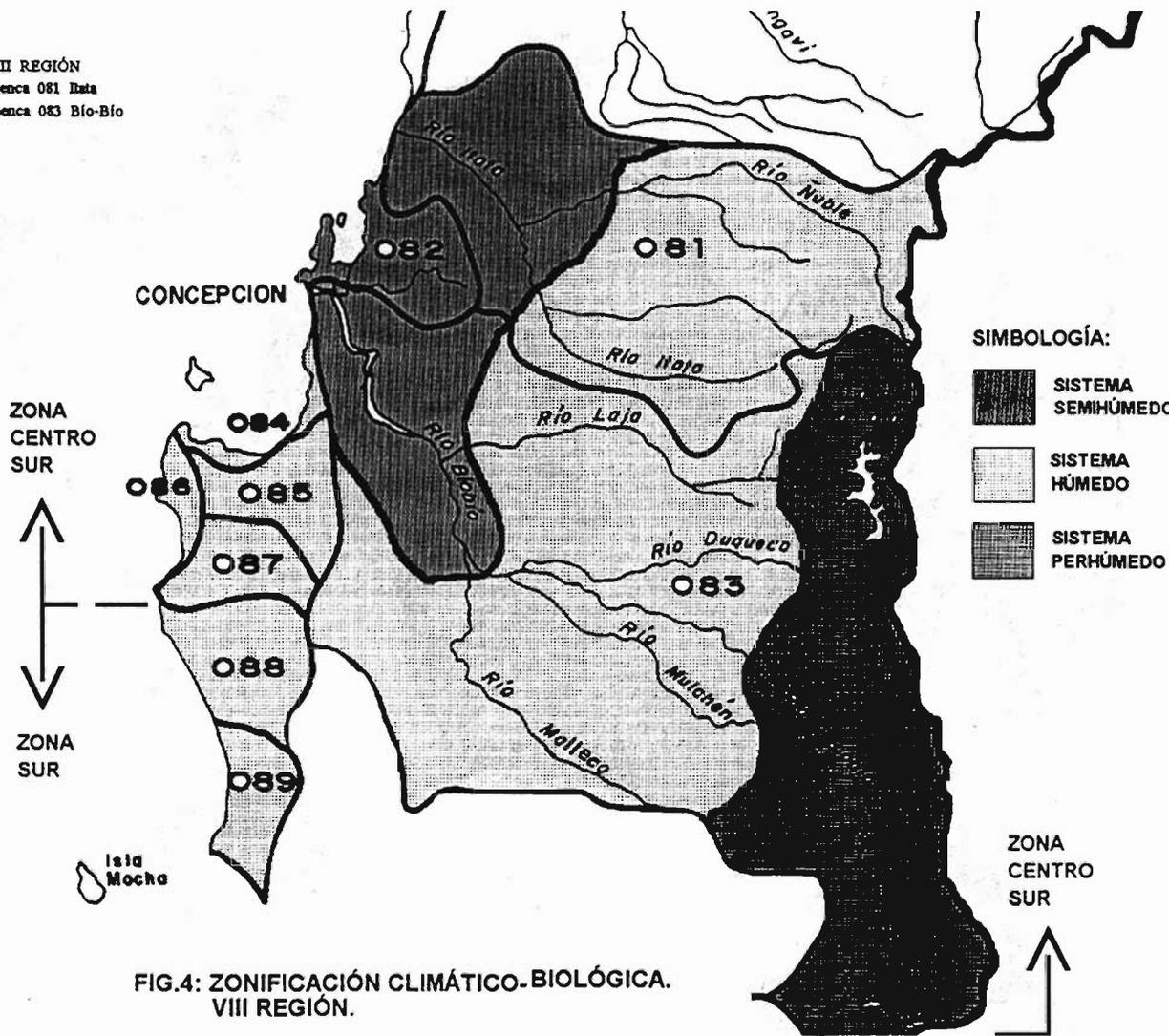


FIG.4: ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO-BIOLÓGICA.
 VIII REGIÓN.

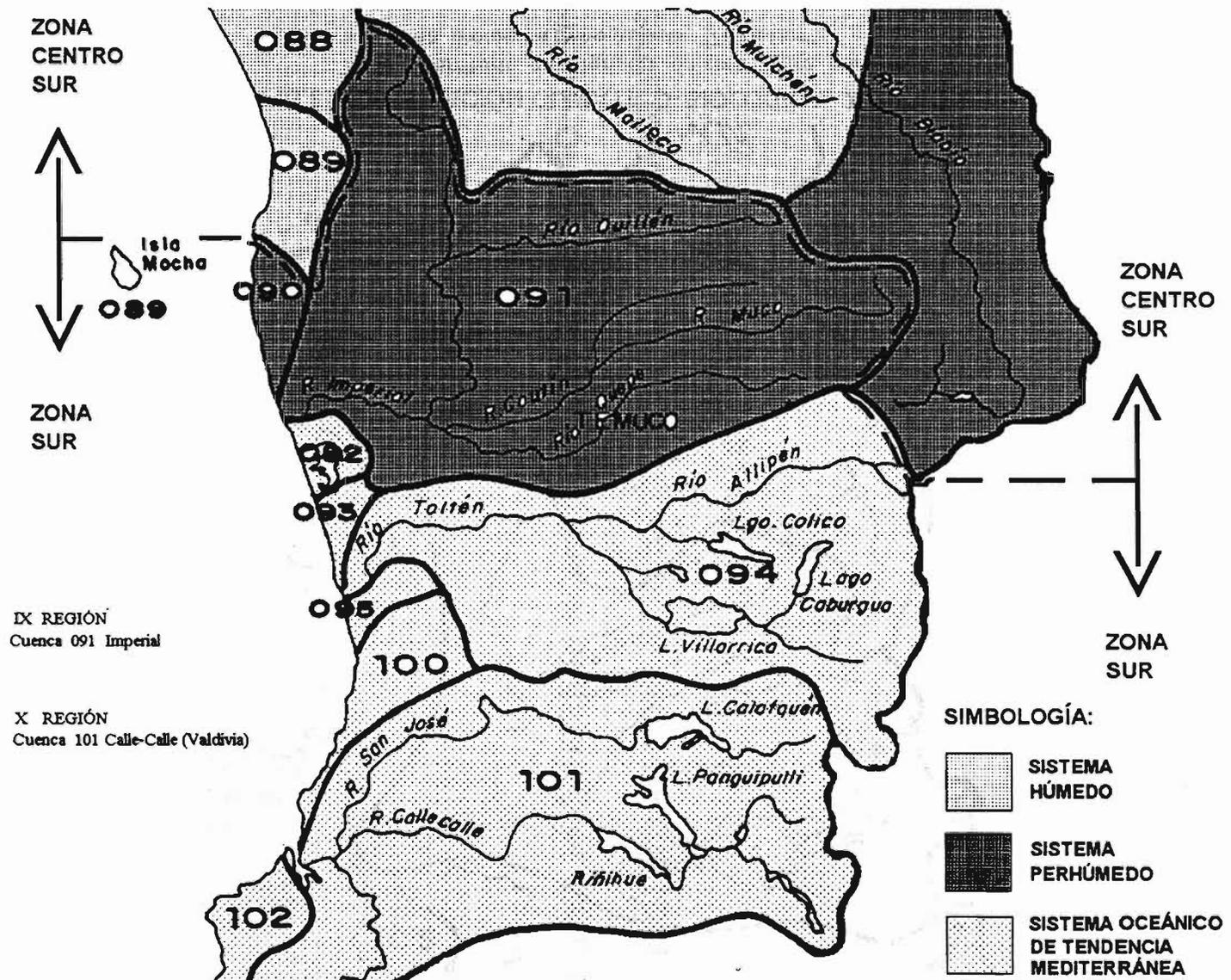


FIG.5: ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO-BIOLÓGICA. IX REGIÓN

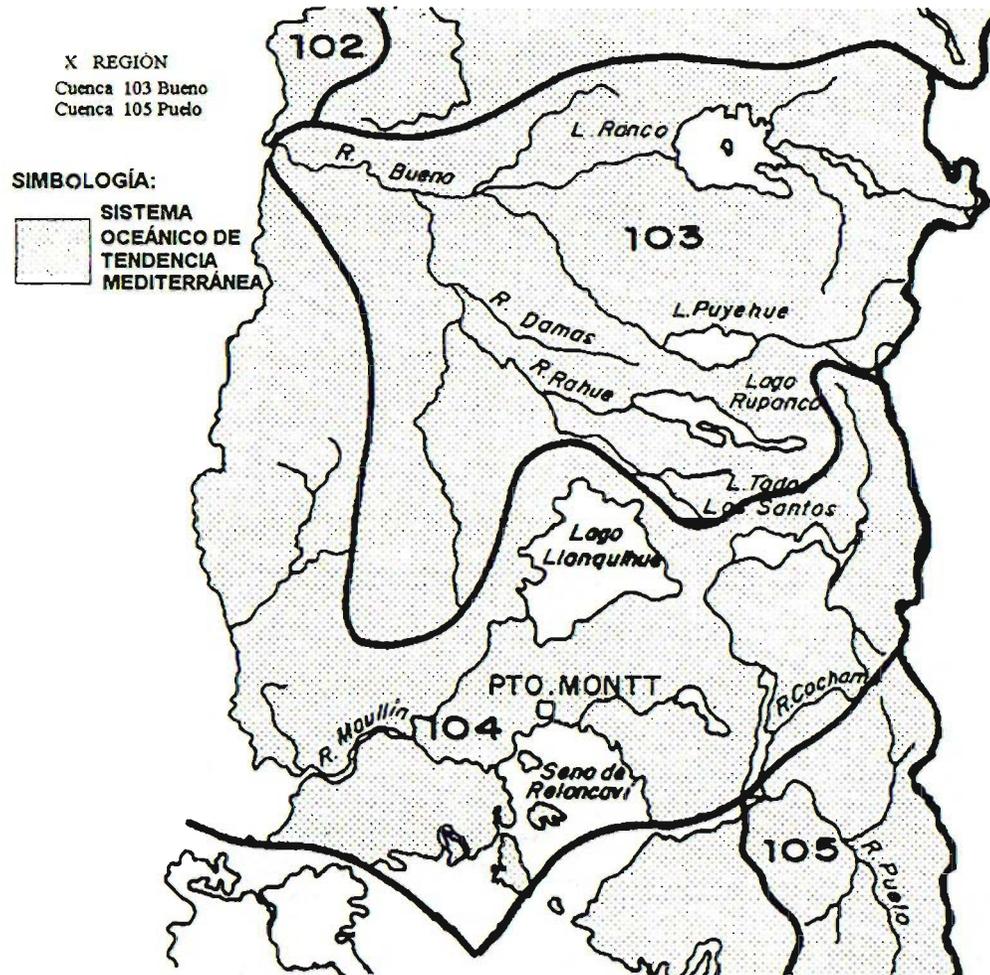


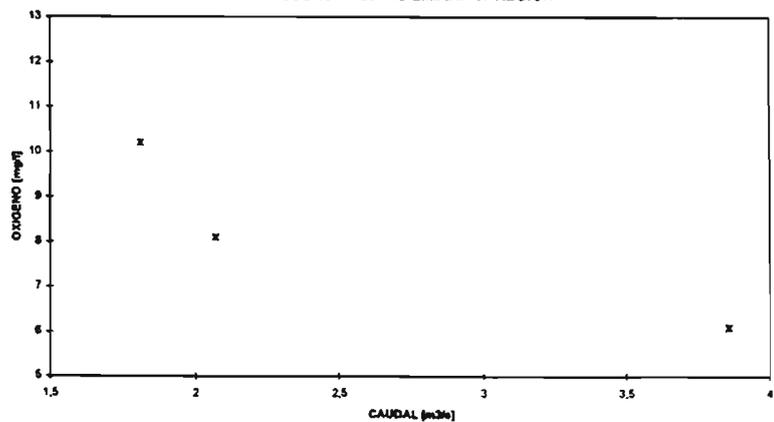
FIG.6: ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO-BIOLÓGICA. X REGIÓN

Todo el territorio consignado en esta figura, pertenece a la zona biológica denominada "Zona Sur".

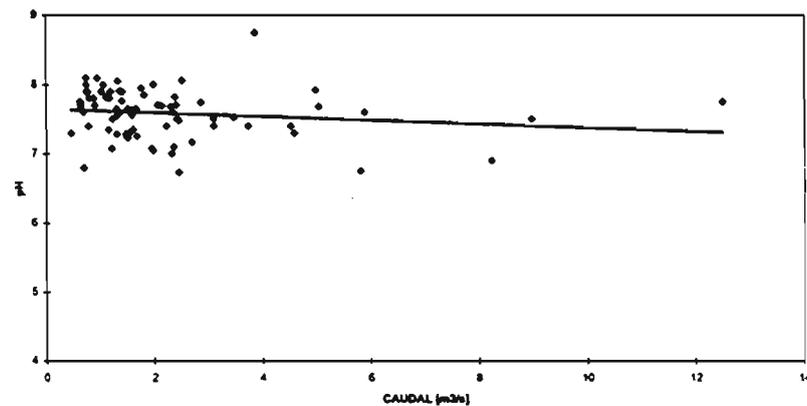
ANEXO F

GRÁFICOS DE TENDENCIA DE PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICO – QUÍMICA DE LAS AGUAS CON RESPECTO AL CAUDAL

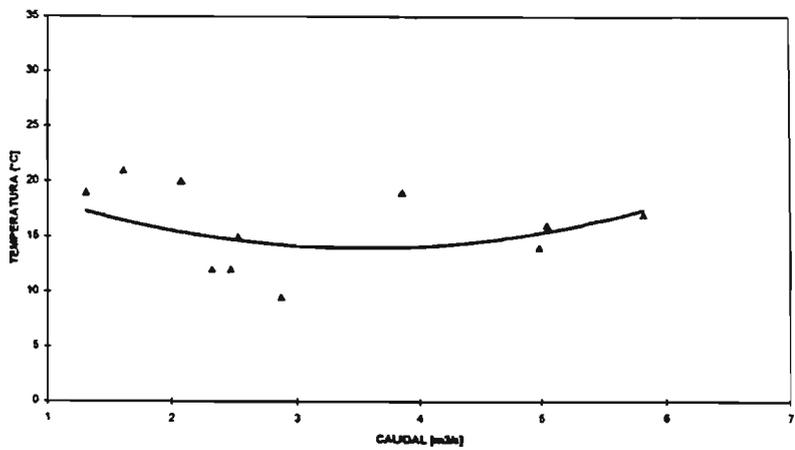
OXÍGENO VERSUS CAUDAL
RÍO GRANDE EN LAS RAMADAS
CUENCA DEL RÍO LIMARÍ - IV REGIÓN



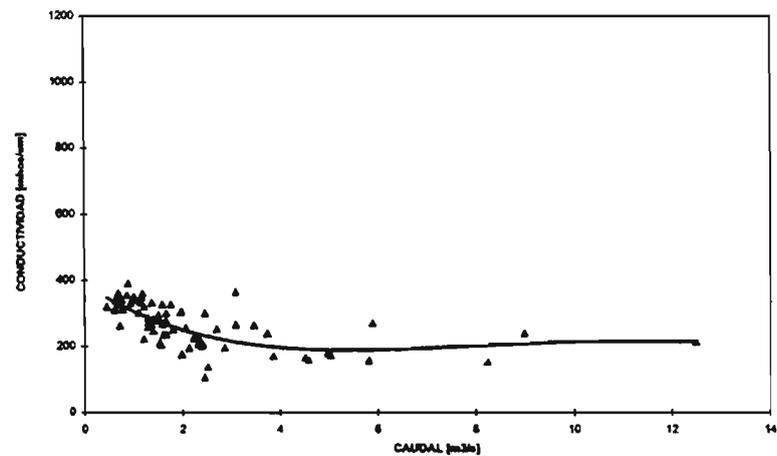
pH VERSUS CAUDAL
RÍO GRANDE EN LAS RAMADAS
CUENCA DEL RÍO LIMARÍ - IV REGIÓN

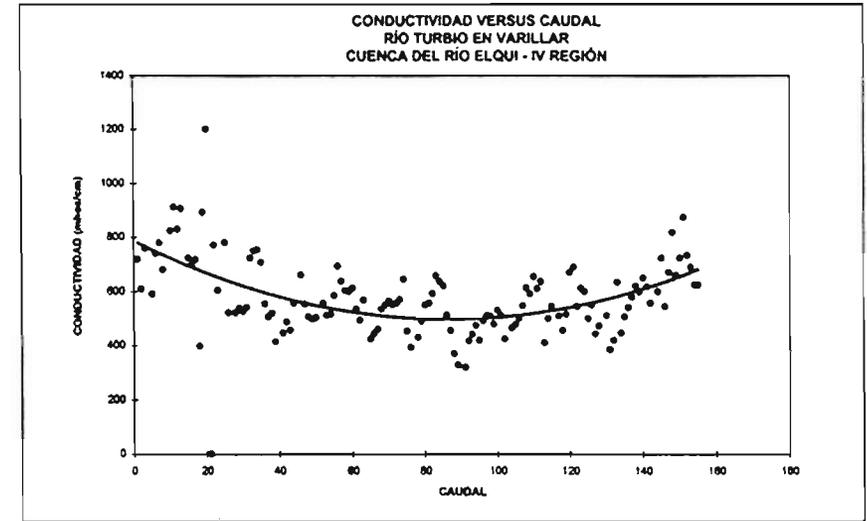
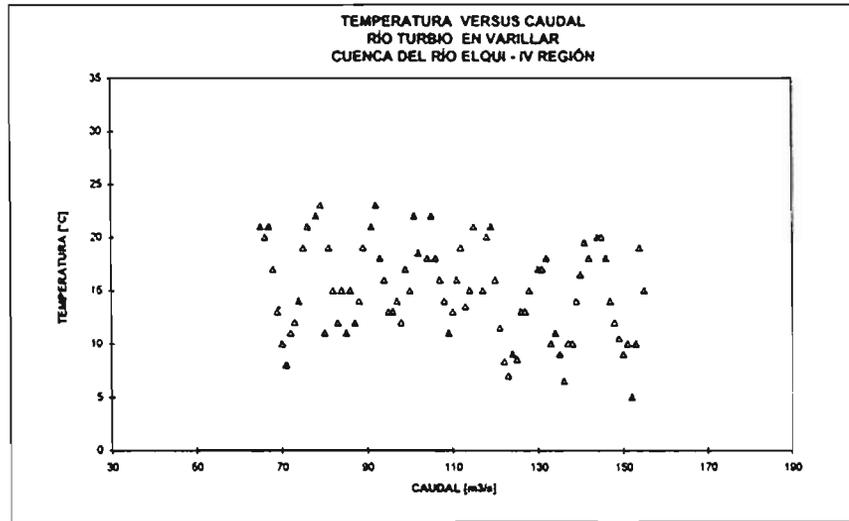
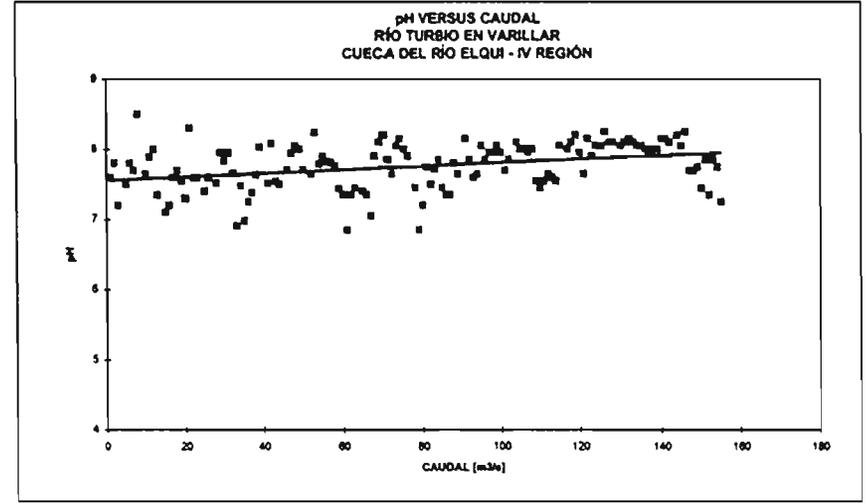
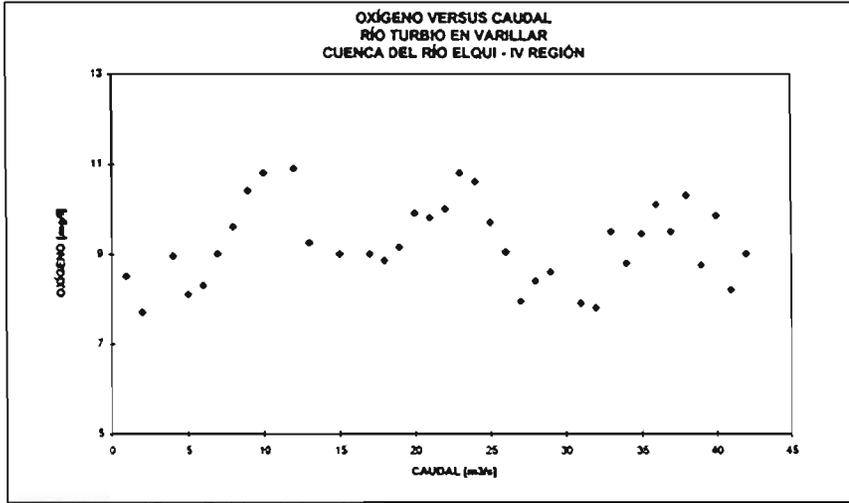


TEMPERATURA VERSUS CAUDAL
RÍO GRANDE EN LAS RAMADAS
CUENCA DEL RÍO LIMARÍ - IV REGIÓN

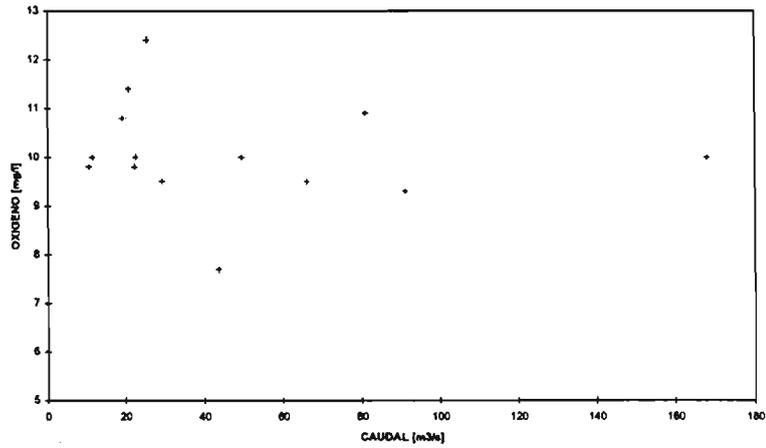


CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO GRANDE EN LAS RAMADAS
CUENCA DEL RÍO LIMARÍ - IV REGIÓN

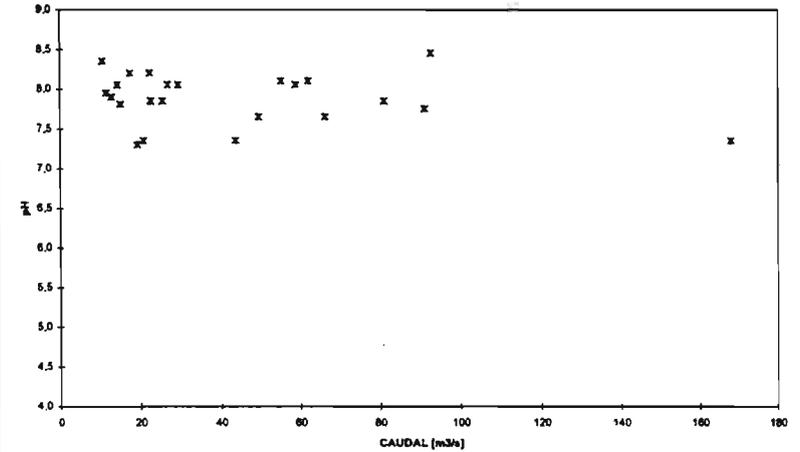




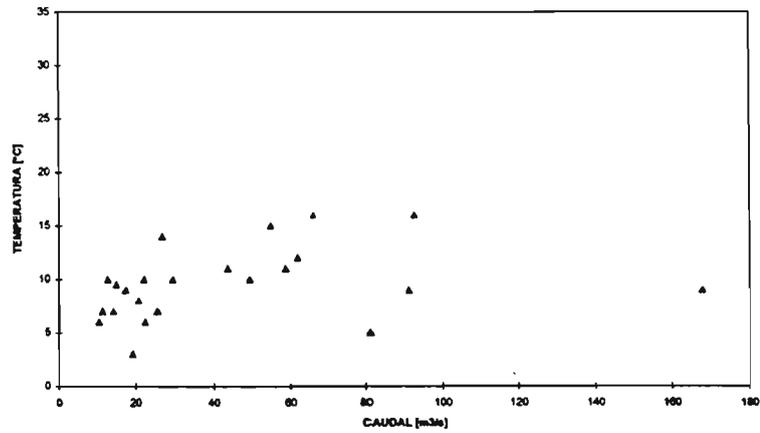
OXÍGENO VERSUS CAUDAL
RÍO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA - V REGIÓN



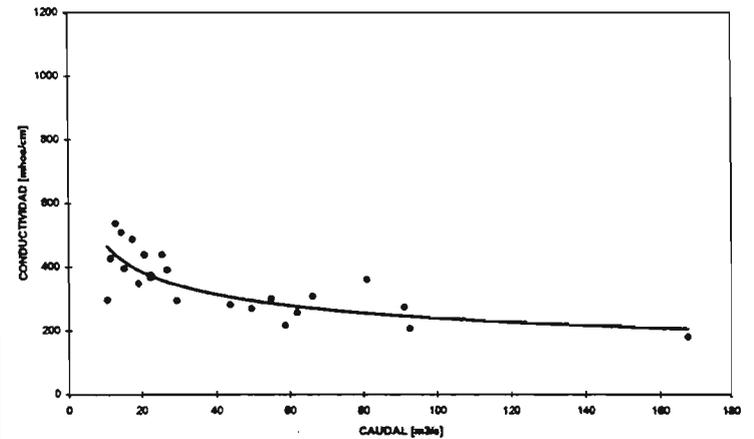
pH VERSUS CAUDAL
RÍO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA - V REGIÓN



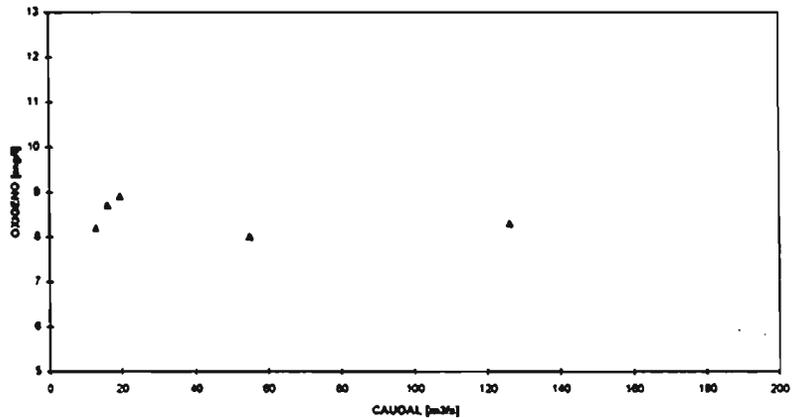
TEMPERATURA VERSUS CAUDAL
RÍO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA - V REGIÓN



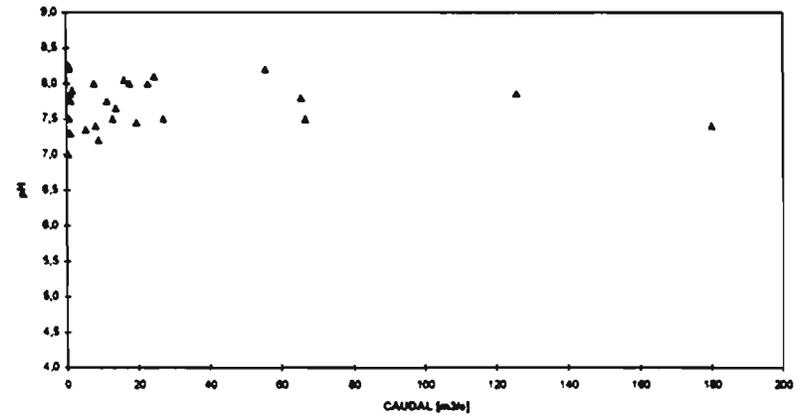
CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CUANCA DEL RÍO ACONCAGUA - V REGIÓN



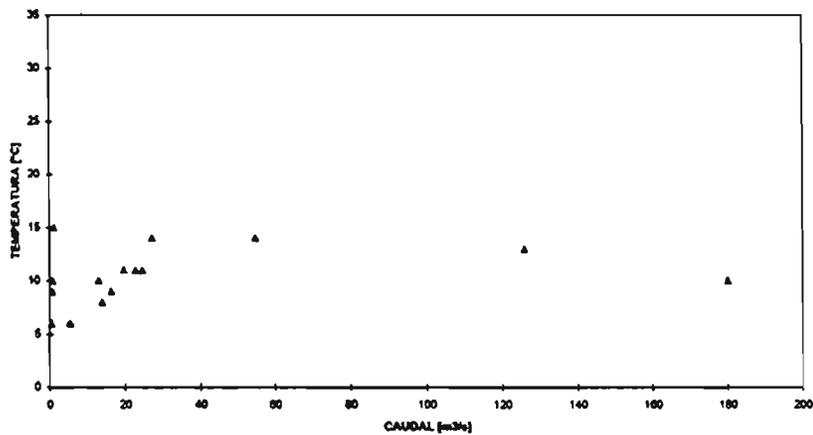
OXÍGENO VERSUS CAUDAL
RÍO MAIPO EN LAS MELOSAS
CUENCA DEL RÍO MAIPO - V REGIÓN



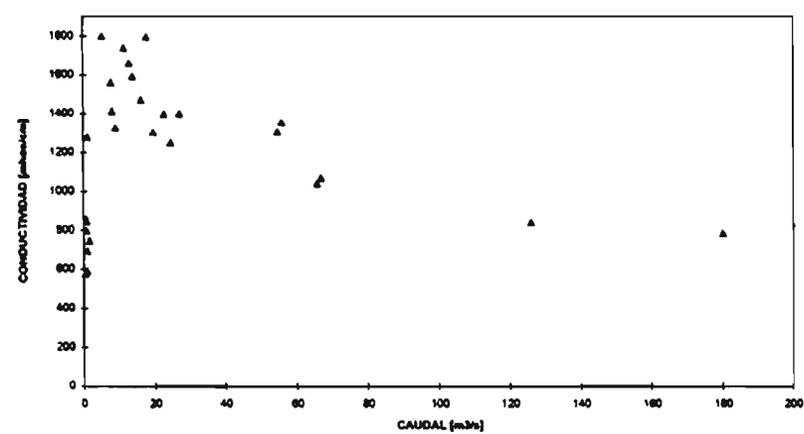
pH VERSUS CAUDAL
RÍO MAIPO EN LAS MELOSAS
CUENCA DEL RÍO MAIPO - V REGIÓN



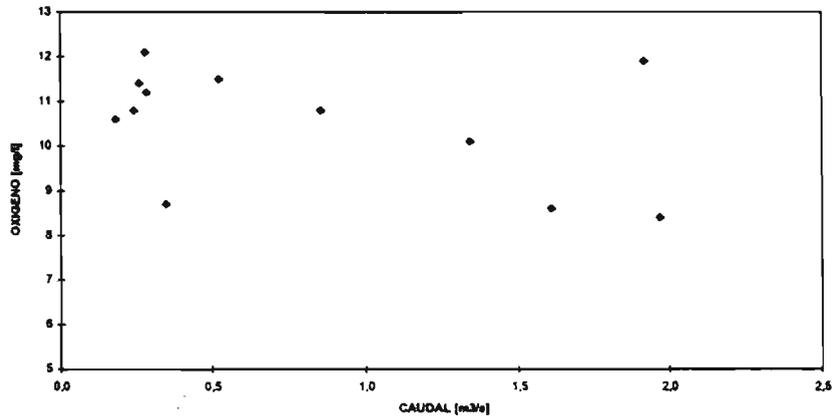
TEMPERATURA VERSUS CAUDAL
RÍO MAIPO EN LAS MELOSAS
CUENCA DEL RÍO MAIPO - V REGIÓN



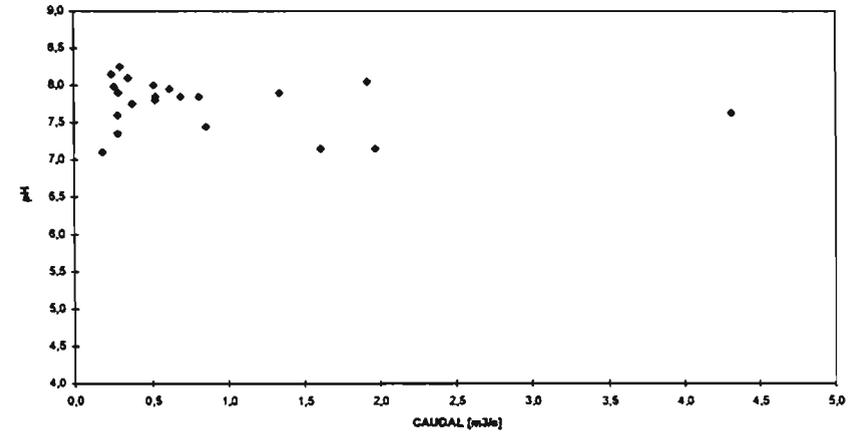
CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO MAIPO EN LAS MELOSAS
CUENCA DEL RÍO MAIPO - V REGIÓN



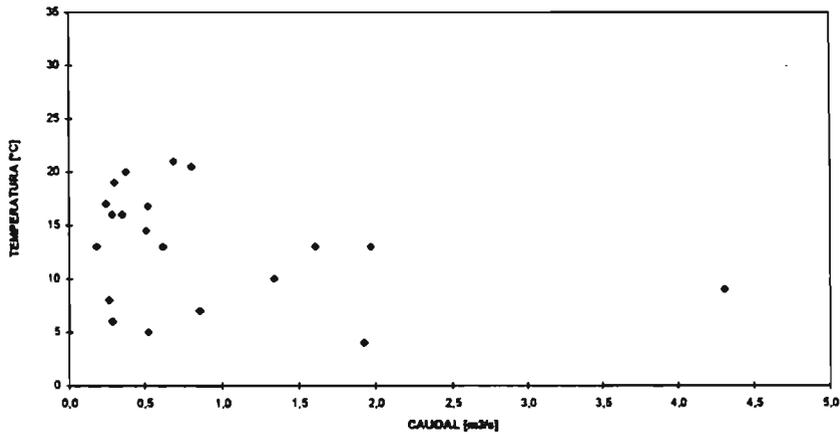
**OXÍGENO VERSUS CAUDAL
RÍO SOBRANTE EN PIGNADERO
CUENCA RÍO PETORCA - V REGIÓN**



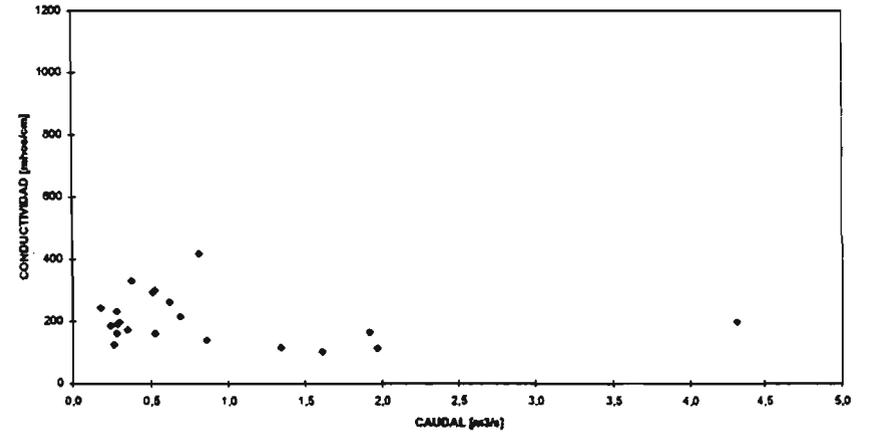
**pH VERSUS CAUDAL
RÍO SOBRANTE EN PIGNADERO
CUENCA RÍO PETORCA - V REGIÓN**

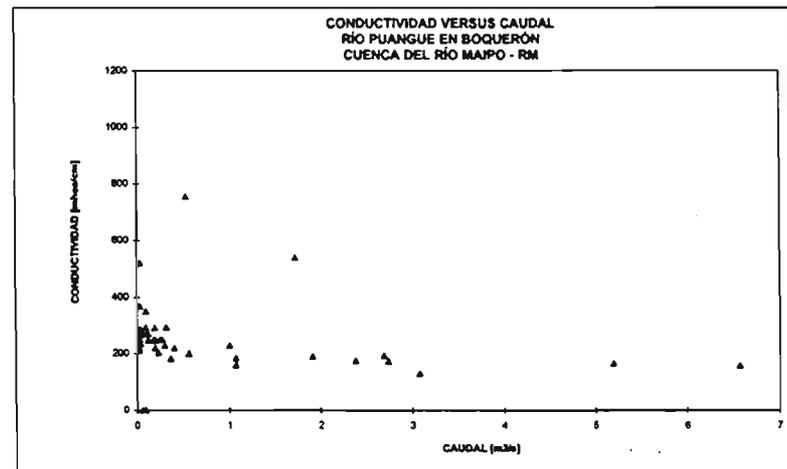
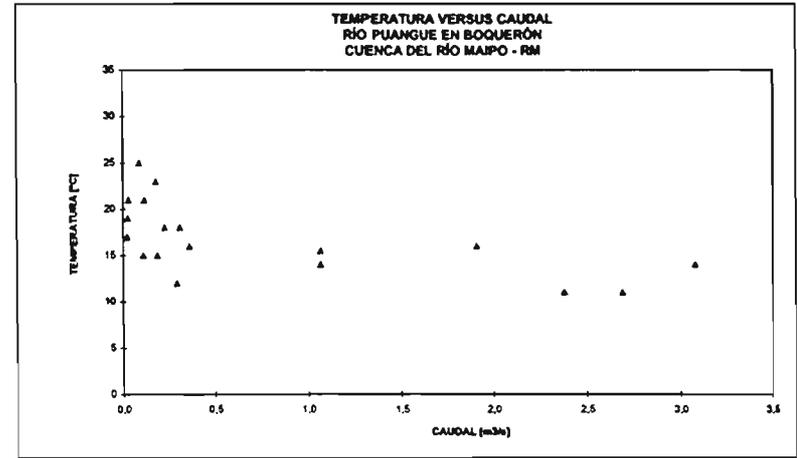
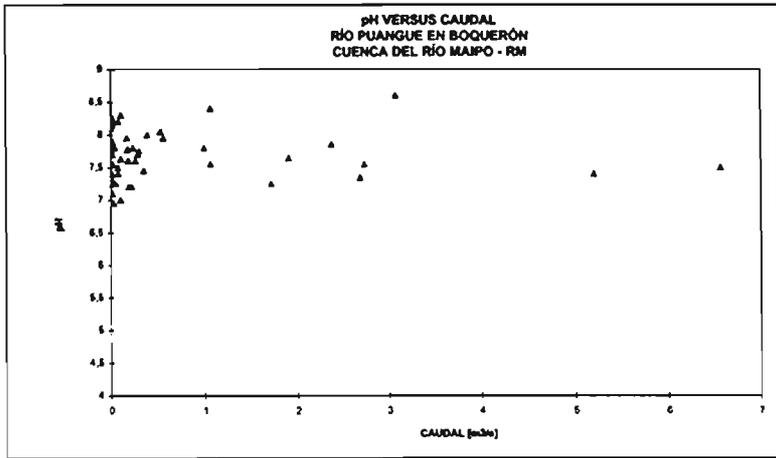


**TEMPERATURA VERSUS CAUDAL
RÍO SOBRANTE EN PIGNADERO
CUENCA DEL RÍO PETORCA - V REGIÓN**

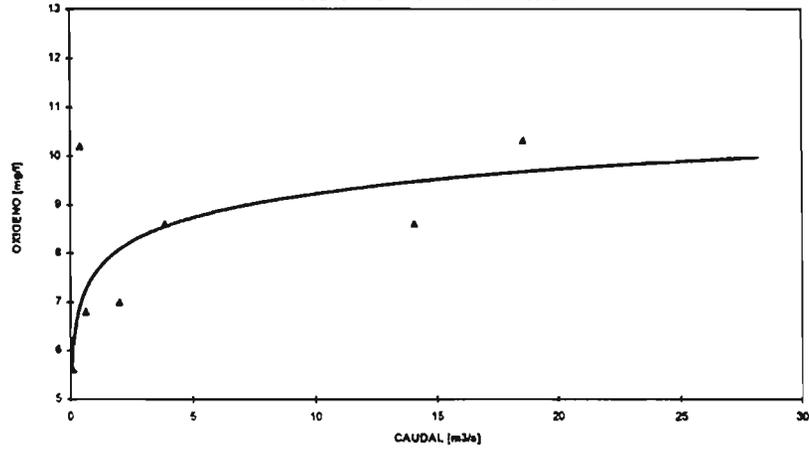


**CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO SOBRANTE EN PIGNADERO
CUENCA RÍO PETORCA - V REGIÓN**

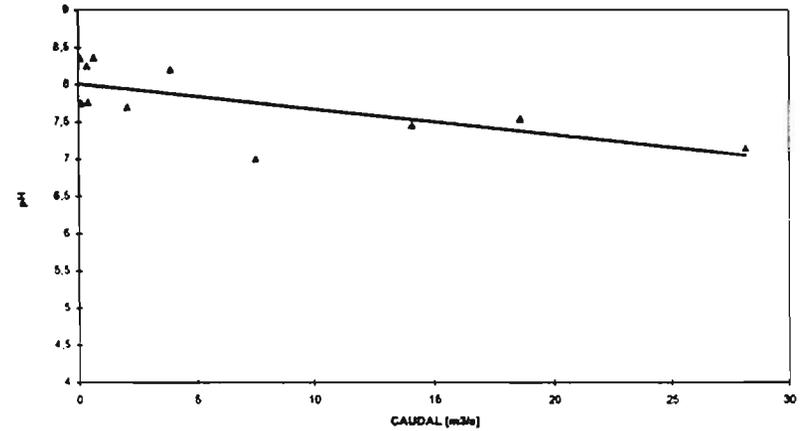




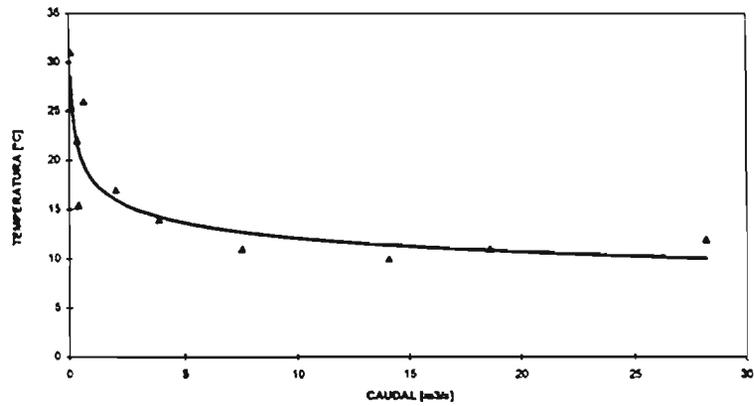
OXÍGENO VERSUS CAUDAL
RÍO ALHUE EN QUILAMUTA
CUENCA DEL RÍO RAPEL - VI REGIÓN



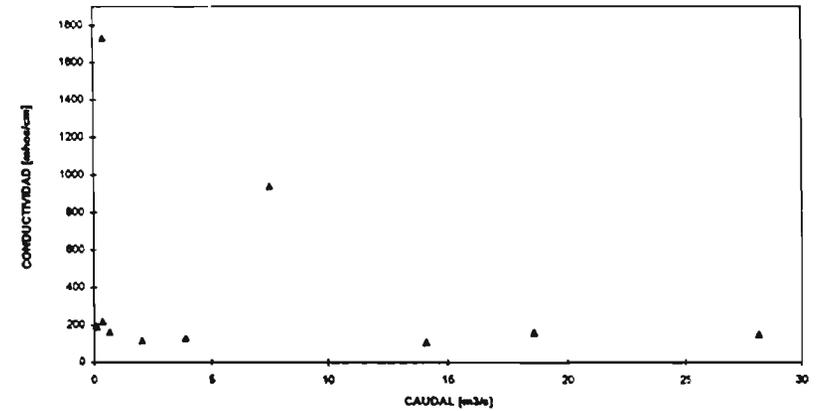
pH VERSUS CAUDAL
RÍO ALHUE EN QUILAMUTA
CUENCA DEL RÍO RAPEL - VI REGIÓN



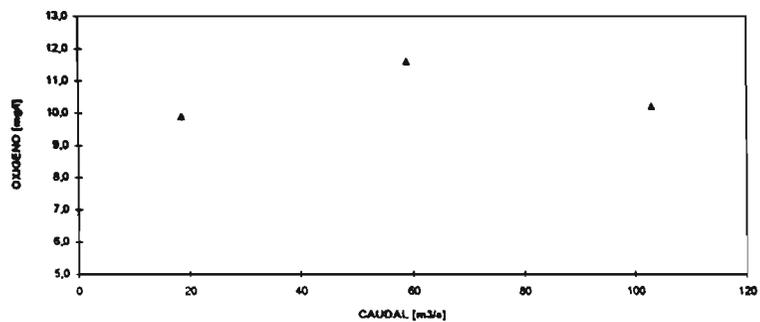
TEMPERATURA VERSUS CAUDAL
RÍO ALHUE EN QUILAMUTA
CUENCA DEL RÍO RAPEL - VI REGIÓN



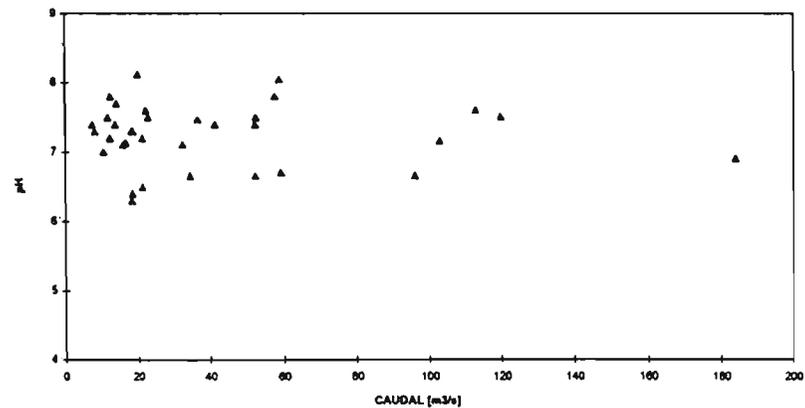
CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO ALHUE EN QUILAMUTA
CUENCA DEL RÍO RAPEL - VI REGIÓN



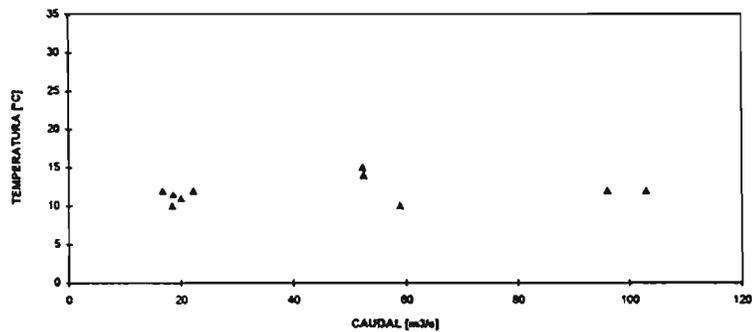
OXÍGENO VERSUS CAUDAL
RÍO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES
CUENCA RÍO RAPEL - VI REGIÓN



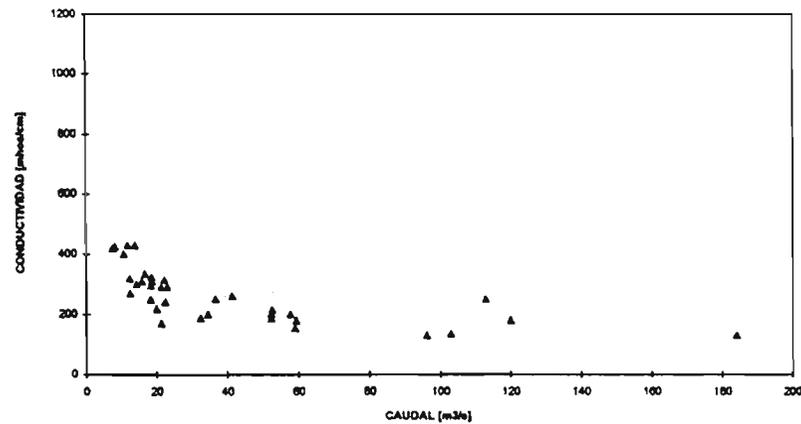
pH VERSUS CAUDAL
RÍO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES
CUENCA RÍO RAPEL - VI REGIÓN

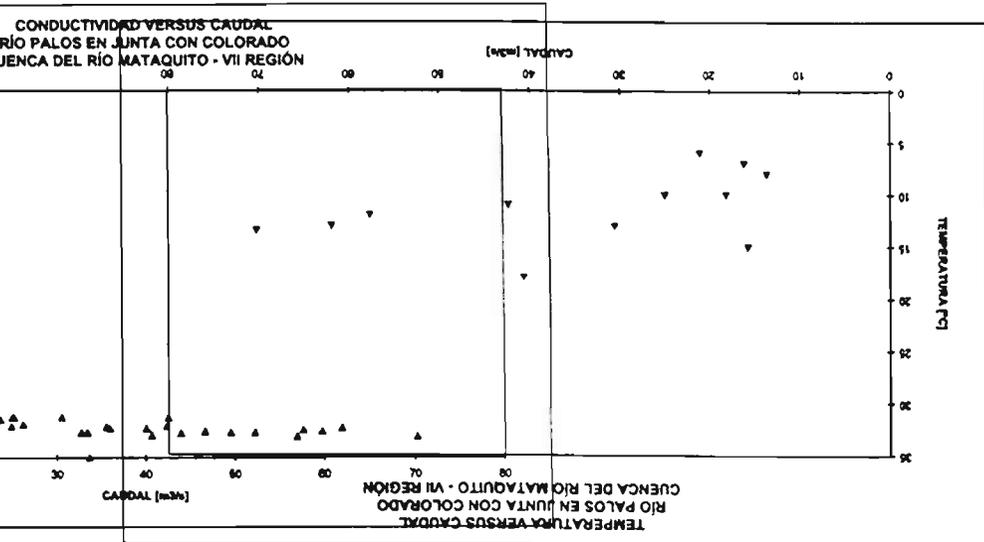
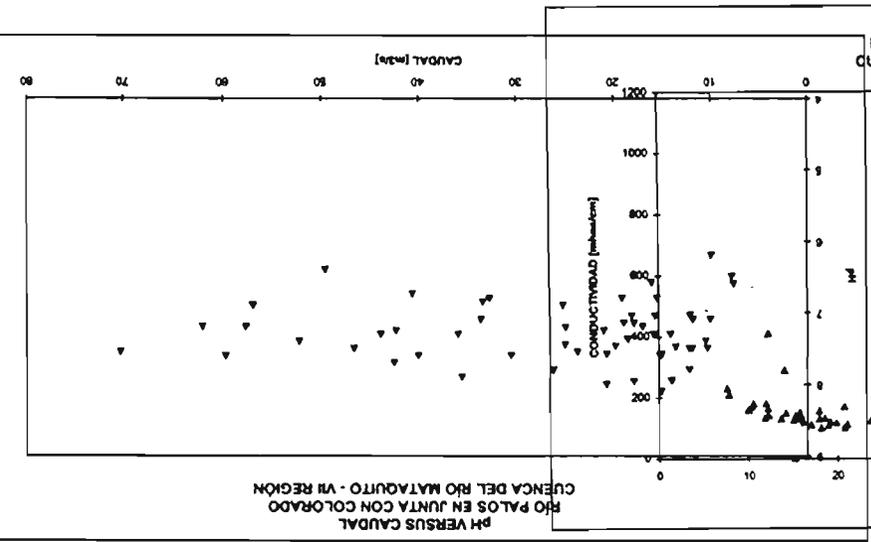
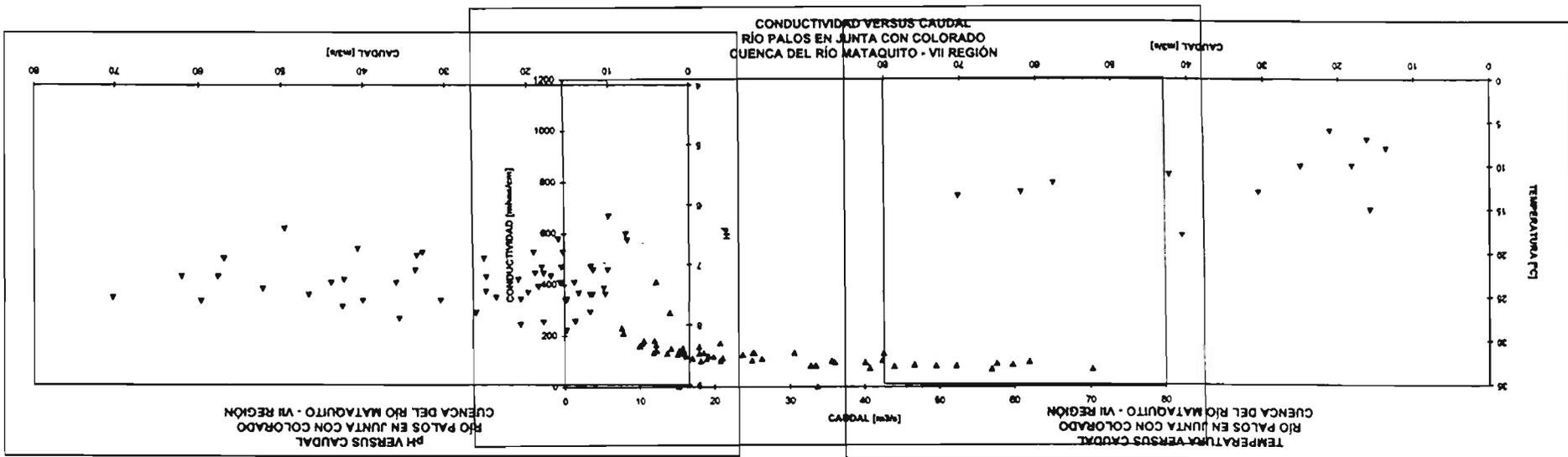
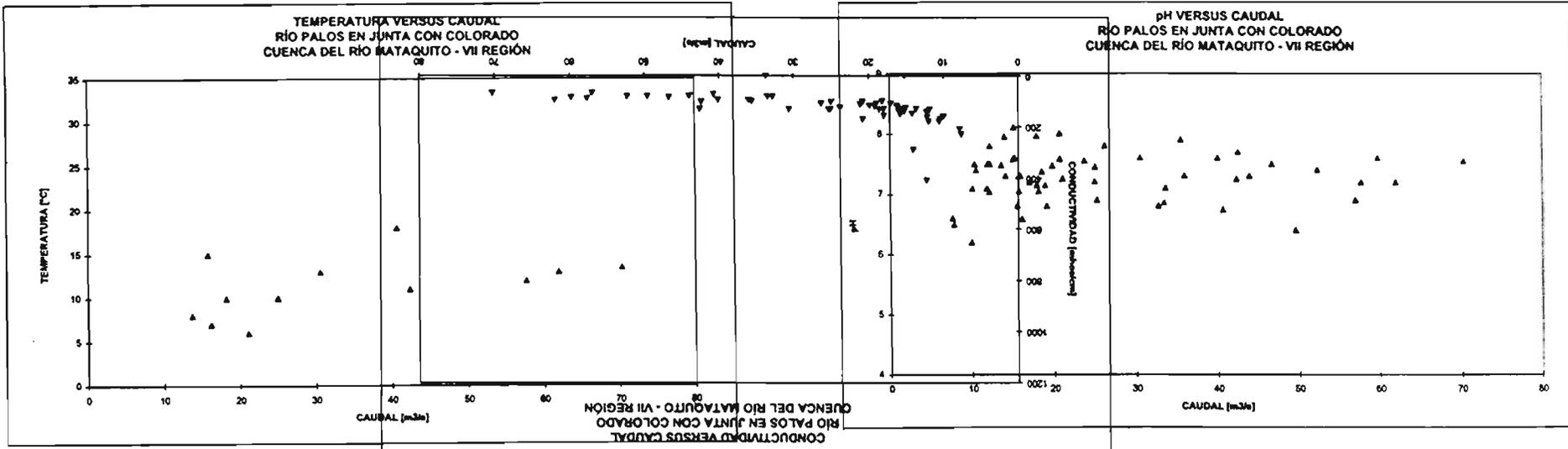


TEMPERATURA VERSUS CAUDAL
RÍO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES
CUENCA RÍO RAPEL - VI REGIÓN

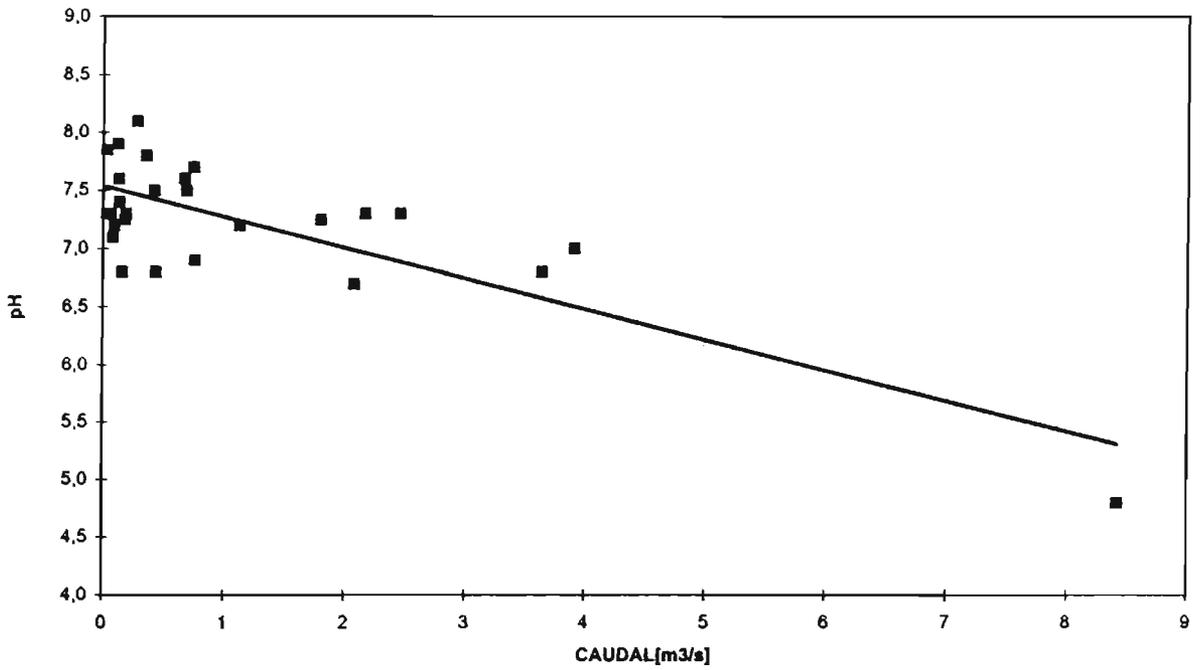


CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES
CUENCA RÍO RAPEL - VI REGIÓN

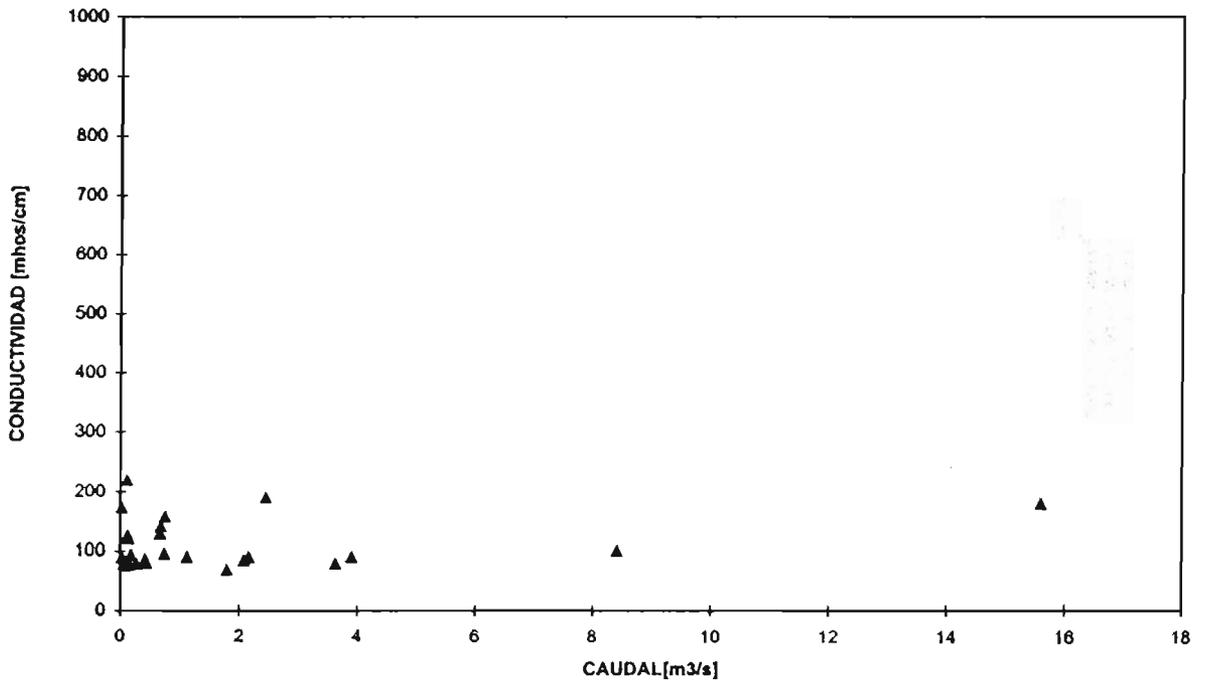




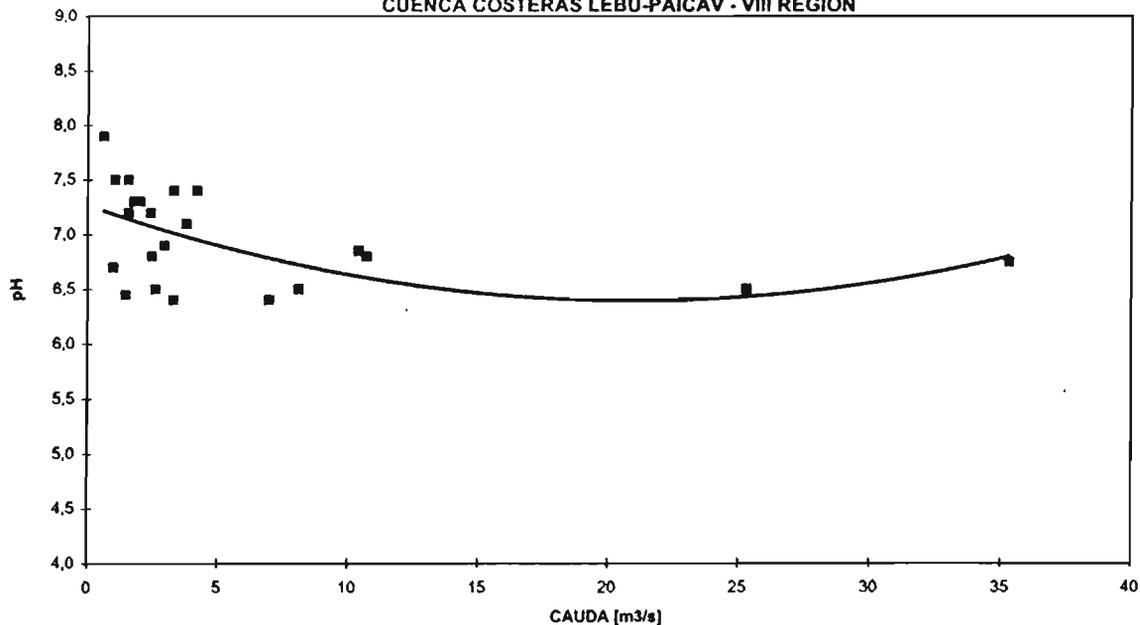
pH VERSUS CAUDAL
RÍO PURAPEL EN NIRIVILO
CUENCA DEL RÍO MAULE - VII REGIÓN



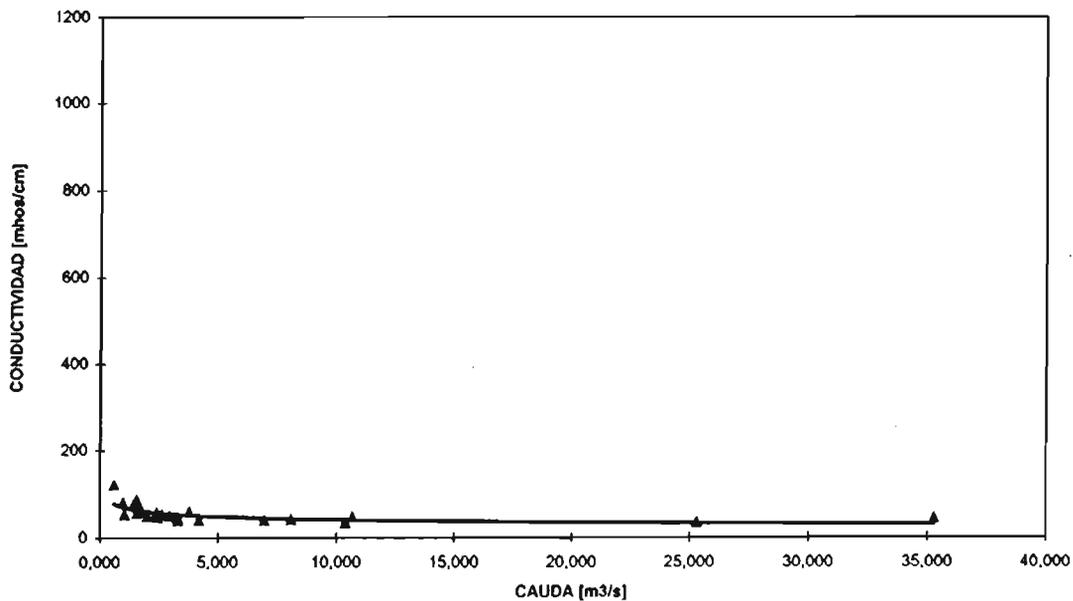
CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO PURAPEL EN NIRIVILO
CUENCA DEL RÍO MAULE - VII REGIÓN



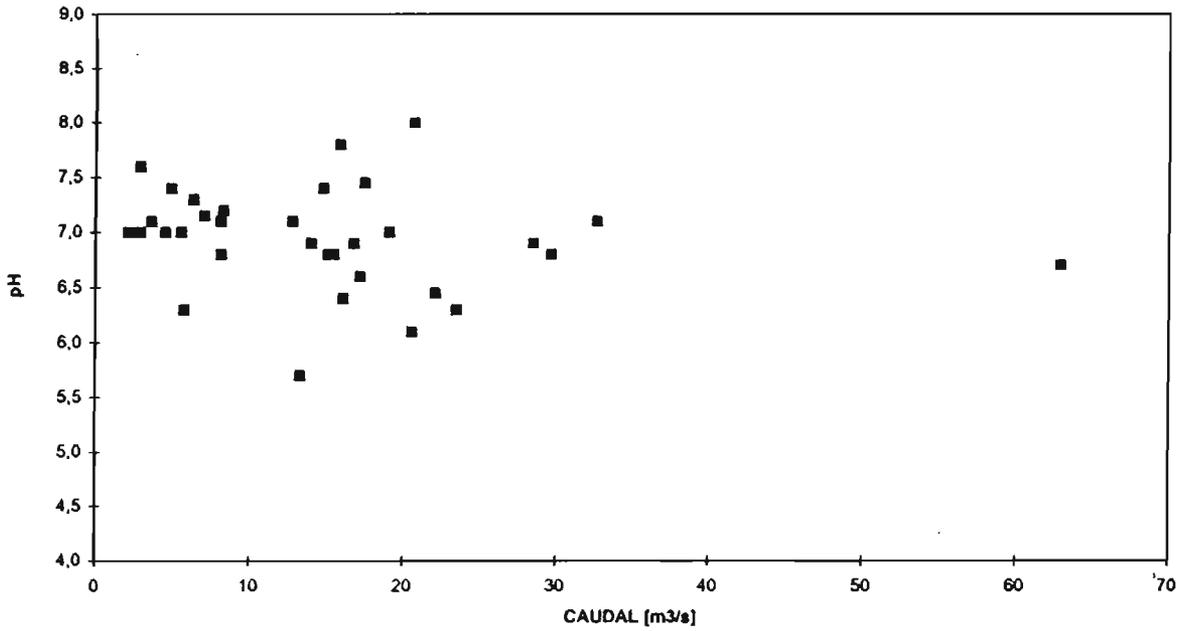
pH VERSUS CAUDAL
RÍO BUTAMALAL EN BUTAMALAL
CUENCA COSTERAS LEBU-PAICAV - VIII REGIÓN



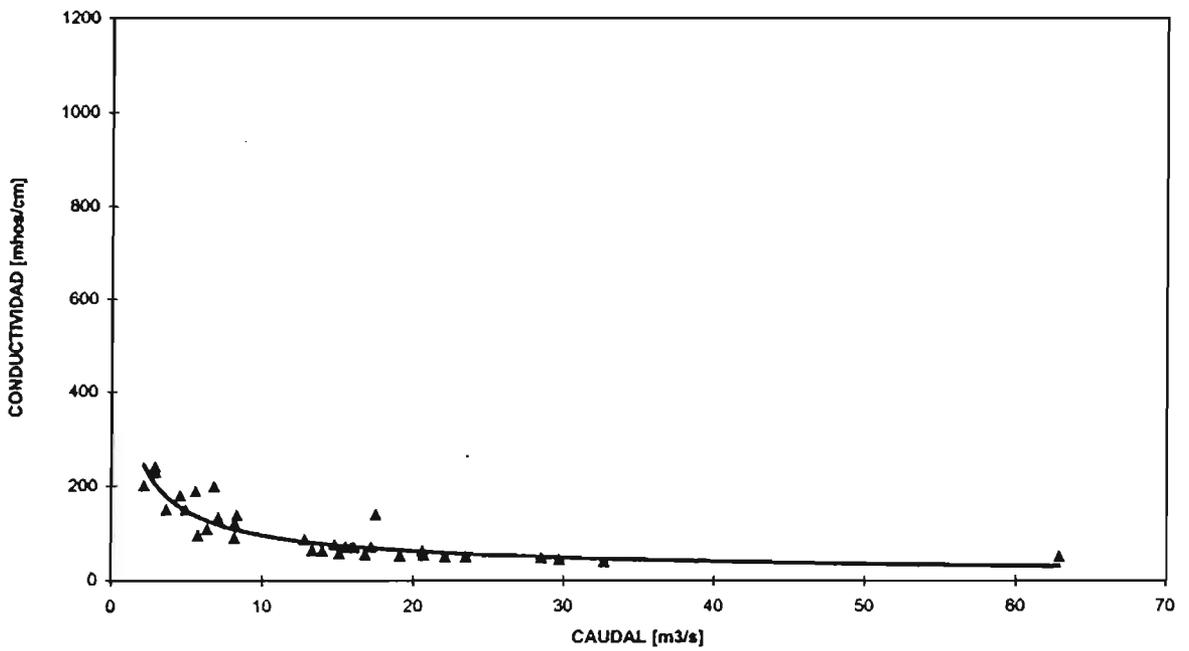
CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO BUTAMALAL EN BUTAMALAL
CUENCA COSTERAS LEBU-PAICAV - VIII REGIÓN



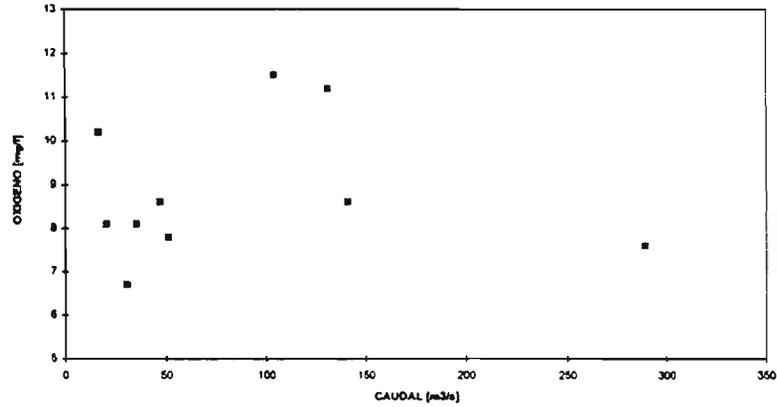
**pH VERSUS CAUDAL
RÍO DIGUILLÍN EN SAN LORENZO
CUENCA DEL RÍO ITATA- VIII REGIÓN**



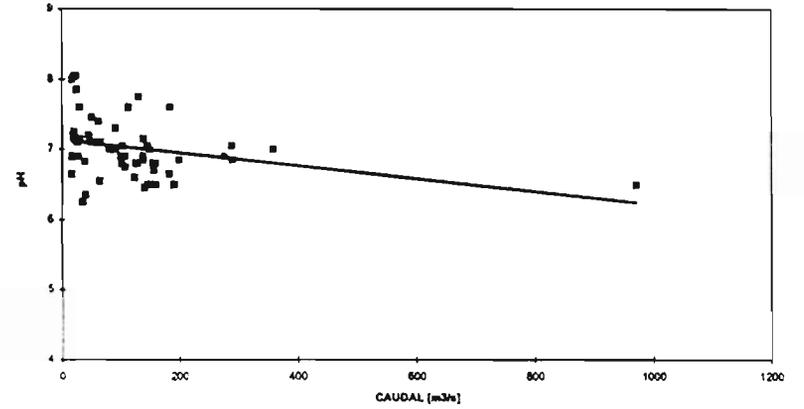
**CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO DIGUILLÍN EN SAN LORENZO
CUENCA DEL RÍO ITATA- VIII REGIÓN**



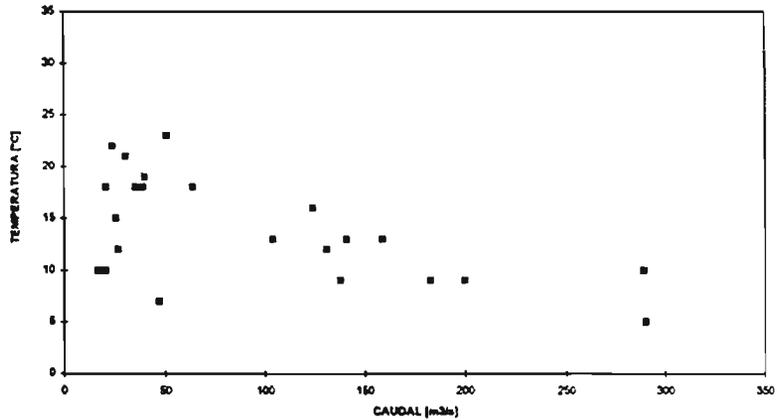
OXÍGENO VERSUS CAUDAL
RÍO ÑUBLE EN SAN FABIÁN
CUENCA DEL RÍO ÑUBLE - VIII REGIÓN



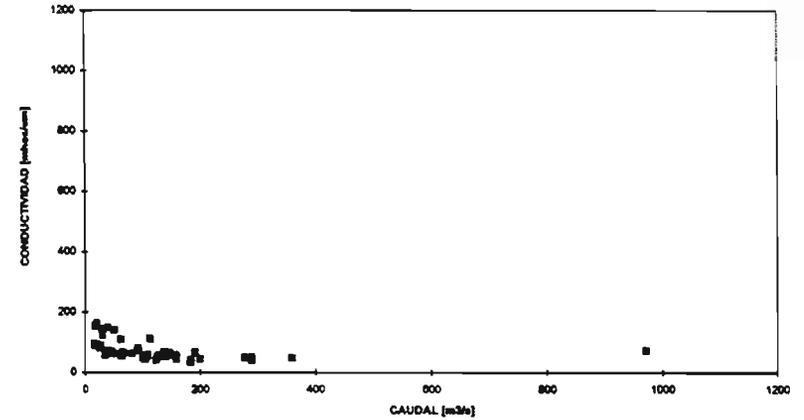
pH VERSUS CAUDAL
RÍO ÑUBLE EN SAN FABIÁN
CUENCA DEL RÍO ÑUBLE - VIII REGIÓN



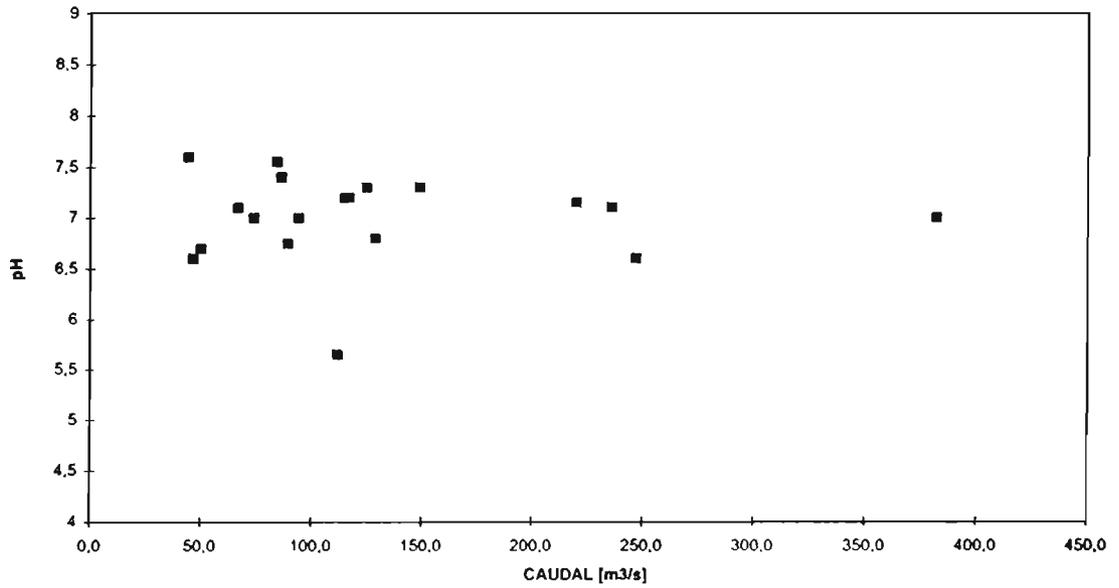
TEMPERATURA VERSUS CAUDAL
RÍO ÑUBLE EN SAN FABIÁN
CUENCA DEL RÍO ÑUBLE - VIII REGIÓN



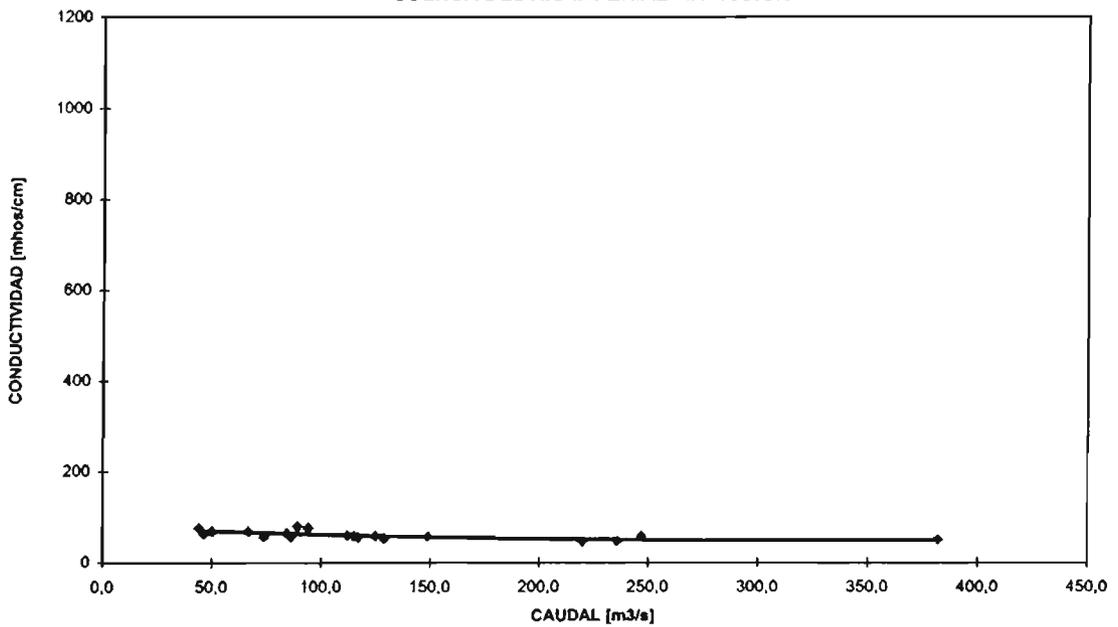
CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO ÑUBLE EN SAN FABIÁN
CUENCA DEL RÍO ÑUBLE - VIII REGIÓN



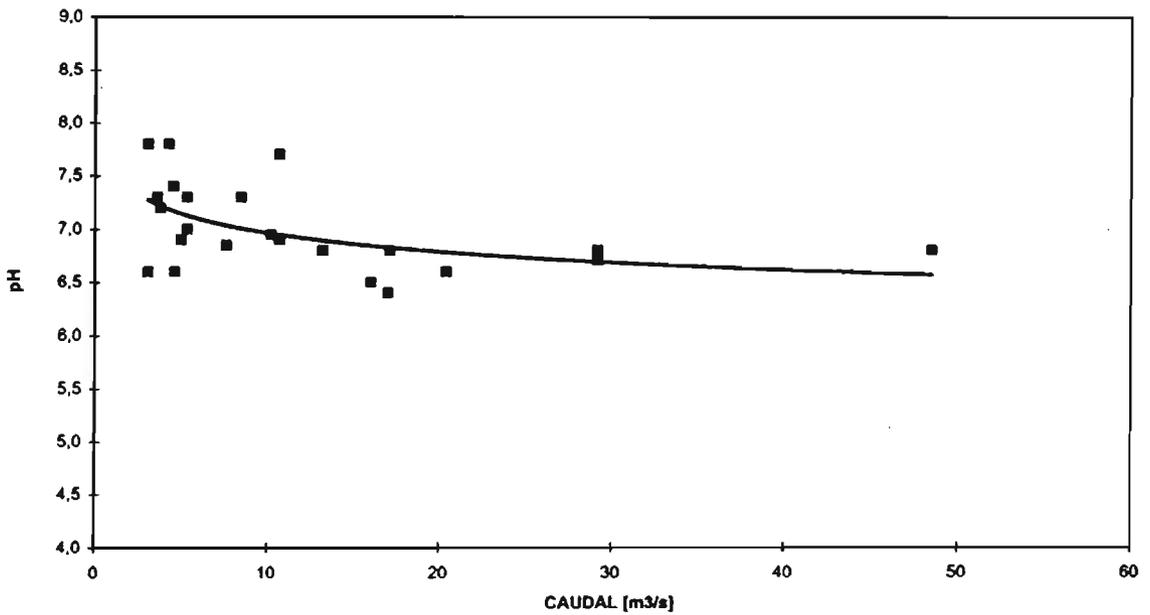
**pH VERSUS CAUDAL
RÍO CAUTÍN EN CAJÓN
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN**



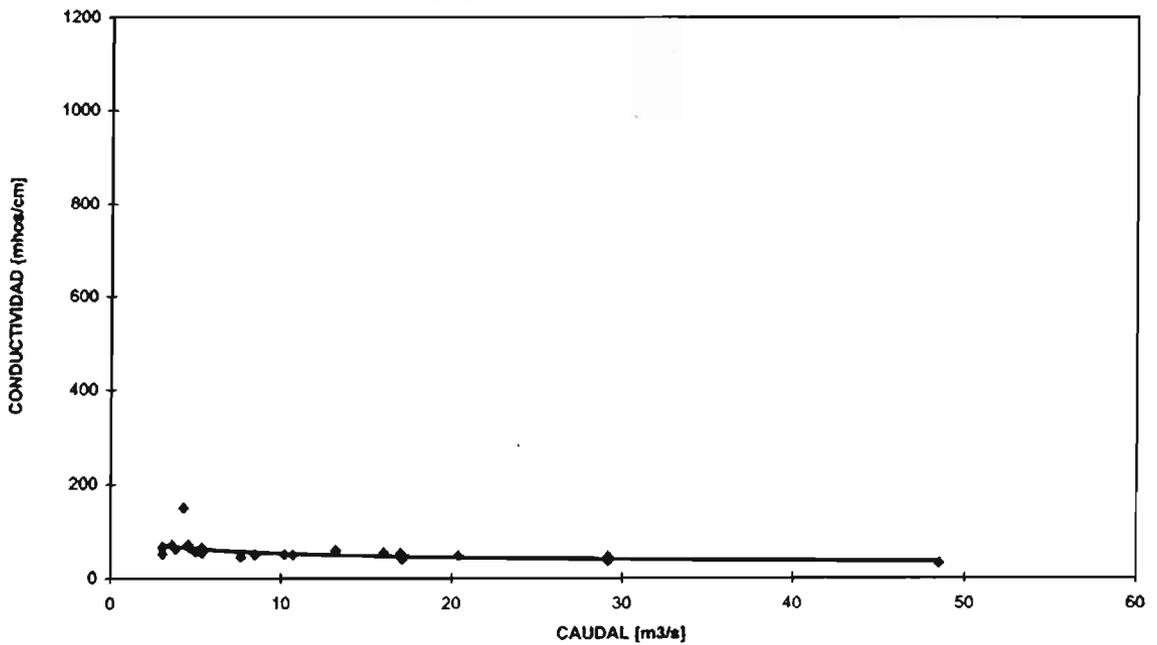
**CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO CAUTÍN EN CAJÓN
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN**



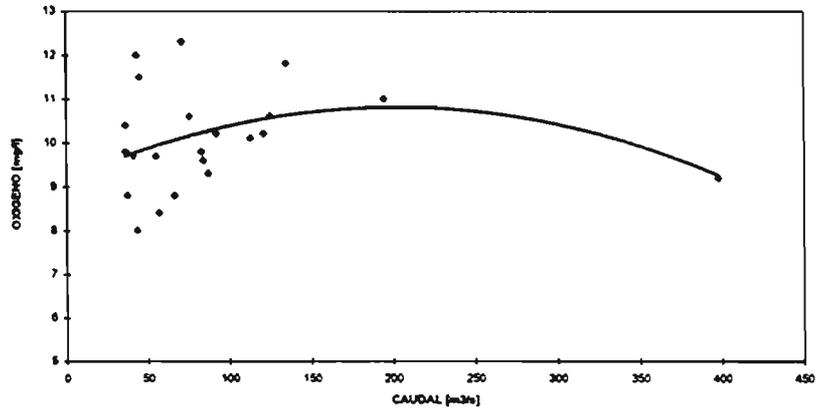
**pH VERSUS CAUDAL
RÍO PURÉN EN TRANAMÁN
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN**



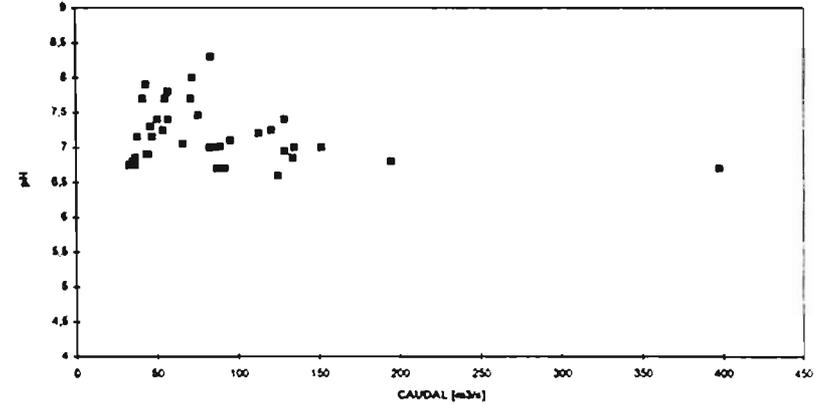
**CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO PURÉN EN TRANAMÁN
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN**



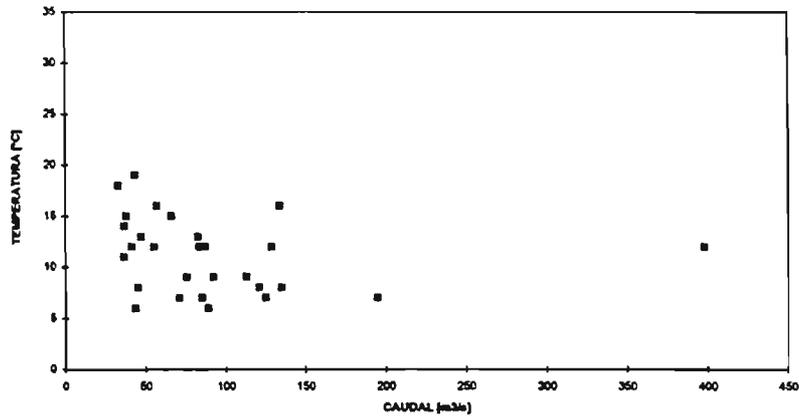
OXIGENO VERSUS CAUDAL
RÍO CAUTÍN EN RARI-RUCA
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN



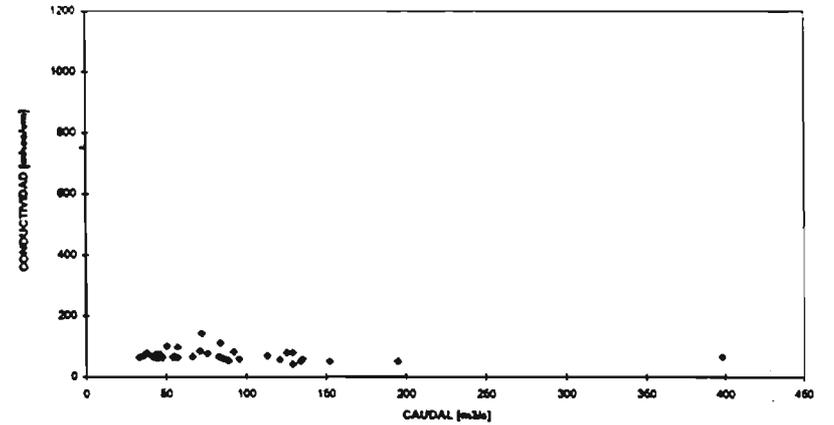
pH VERSUS CAUDAL
RÍO CAUTÍN EN RARI-RUCA
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN



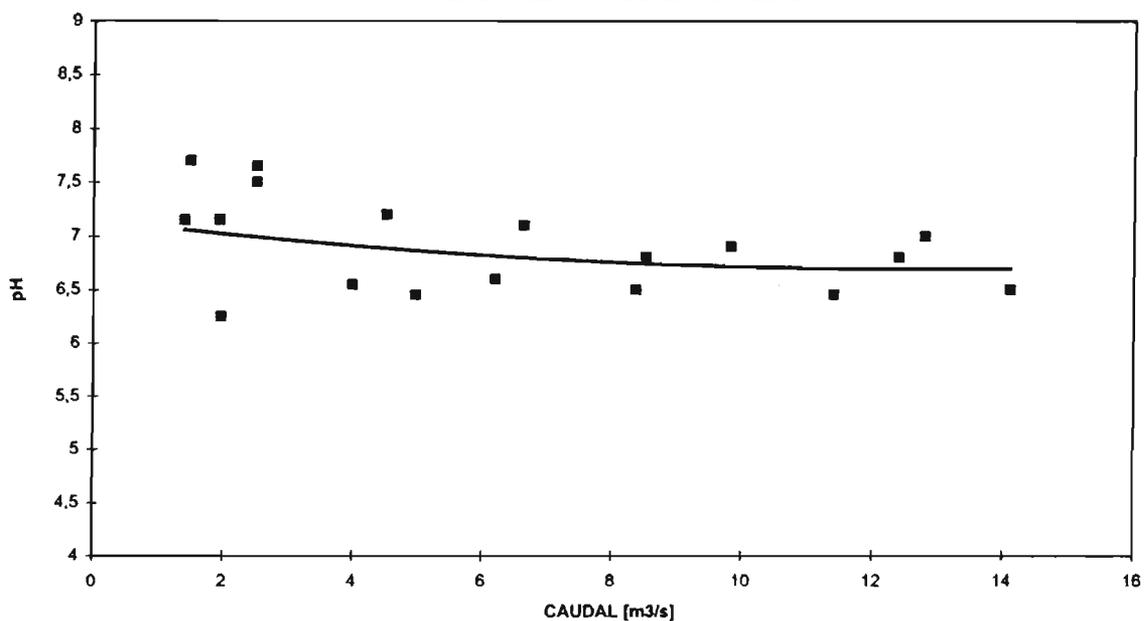
TEMPERATURA VERSUS CAUDAL
RÍO CAUTÍN EN RARI-RUCA
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN



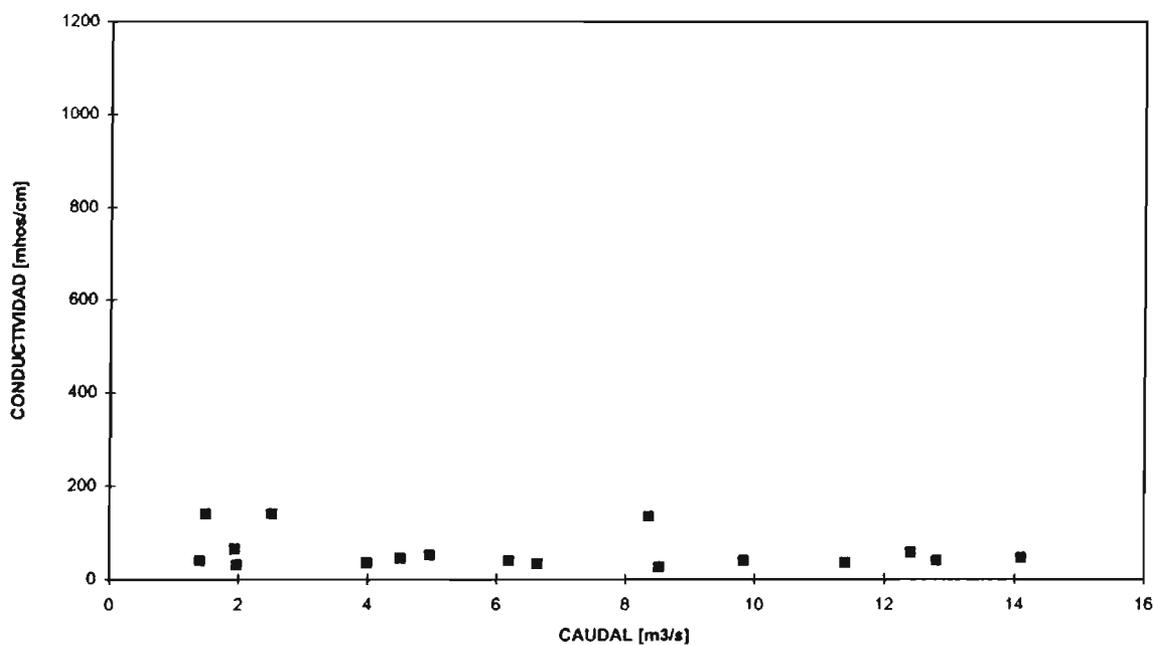
CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO CAUTÍN EN RARI-RUCA
CUENCA DEL RÍO IMPERIAL - IX REGIÓN



pH VERSUS CAUDAL
RÍO PUYEHUE EN QUITRATUE
CUENCA DEL RÍO TOLTÉN - IX REGIÓN



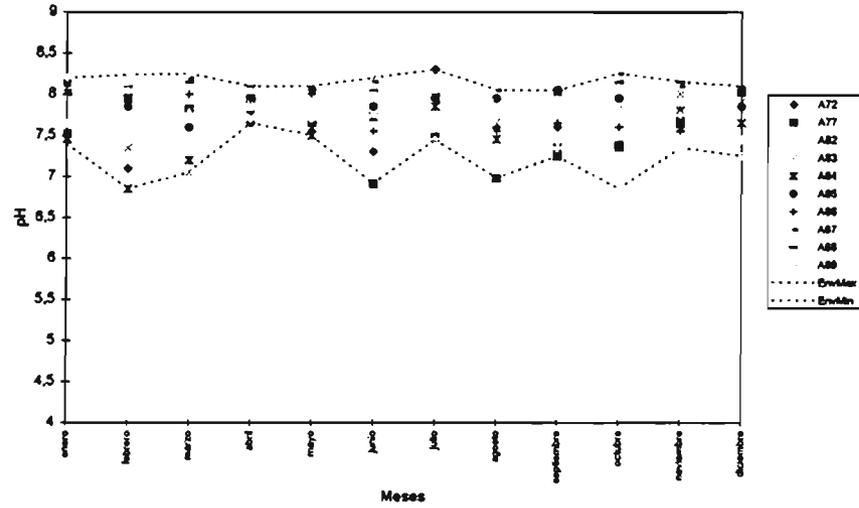
CONDUCTIVIDAD VERSUS CAUDAL
RÍO PUYEHUE EN QUITRATUE
CUENCA DEL RÍO TOLTÉN - IX REGIÓN



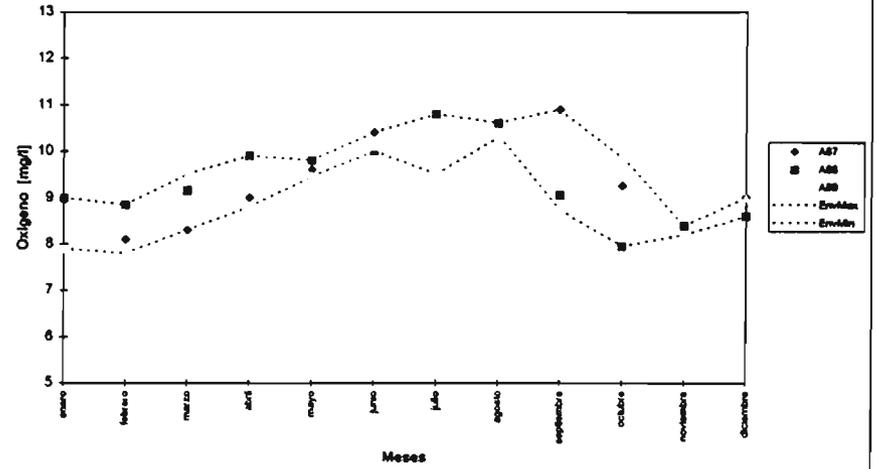
ANEXO G

VARIACIÓN ESTACIONAL DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICO – QUÍMICA DE LAS AGUAS

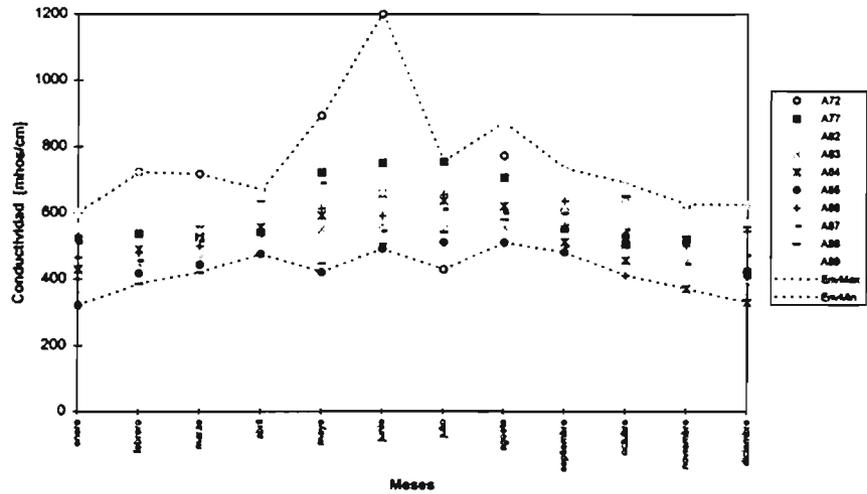
ESTACION RIO TURBIO EN VARILLAR
CUENCA RIO ELQUI - IV REGION



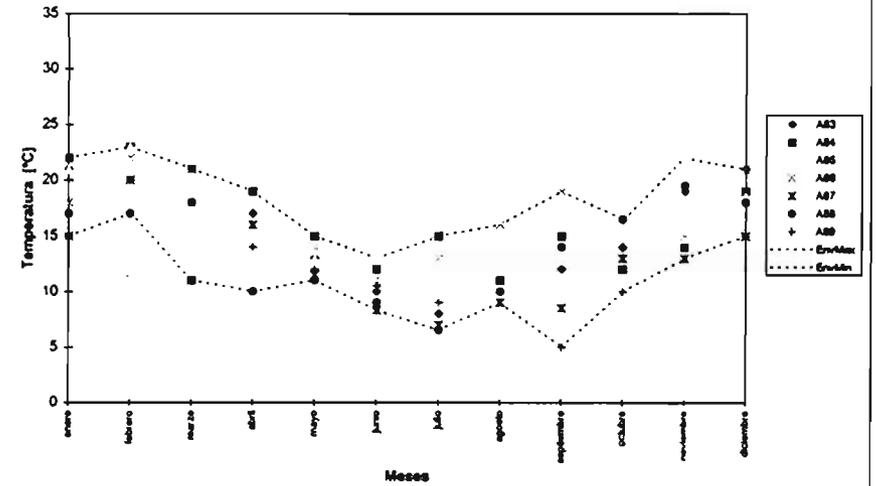
ESTACION RIO TURBIO EN VARILLAR
CUENCA RIO ELQUI - IV REGION



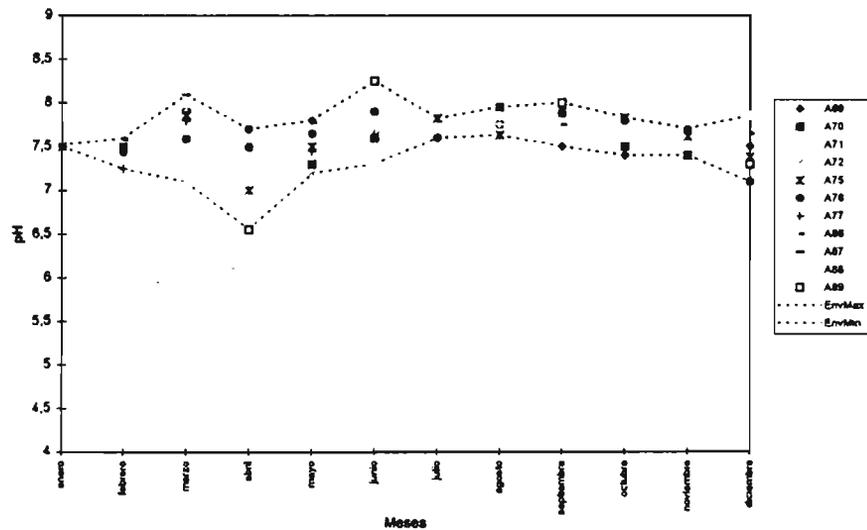
ESTACION RIO TURBIO EN VARILLAR
CUENCA RIO ELQUI - IV REGION



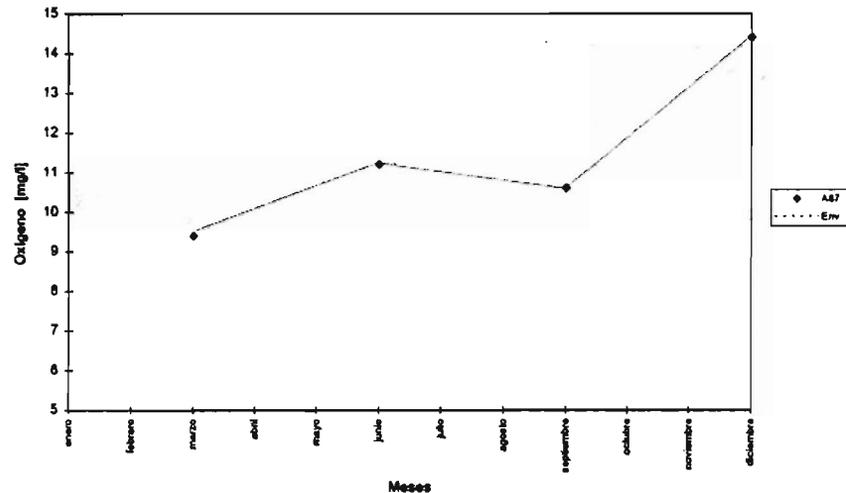
ESTACION RIO TURBIO EN VARILLAR
CUENCA RIO ELQUI - IV REGION



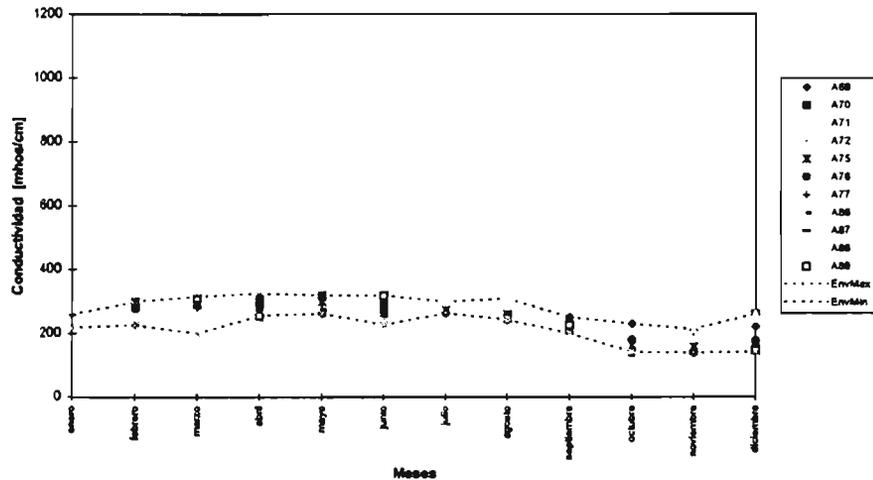
ESTACION RIO CHOAPA EN CUNCUMEN
CUENCA RIO CHOAPA - IV REGION



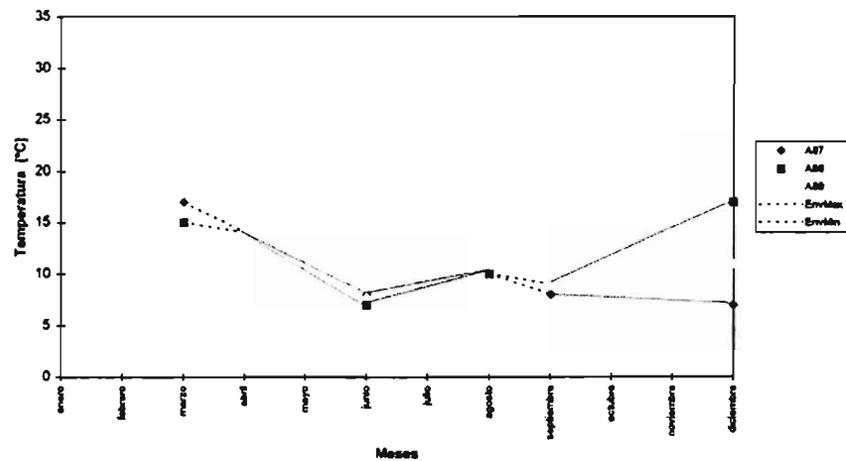
ESTACION RIO CHOAPA EN CUNCUMEN
CUENCA RIO CHOAPA - IV REGION



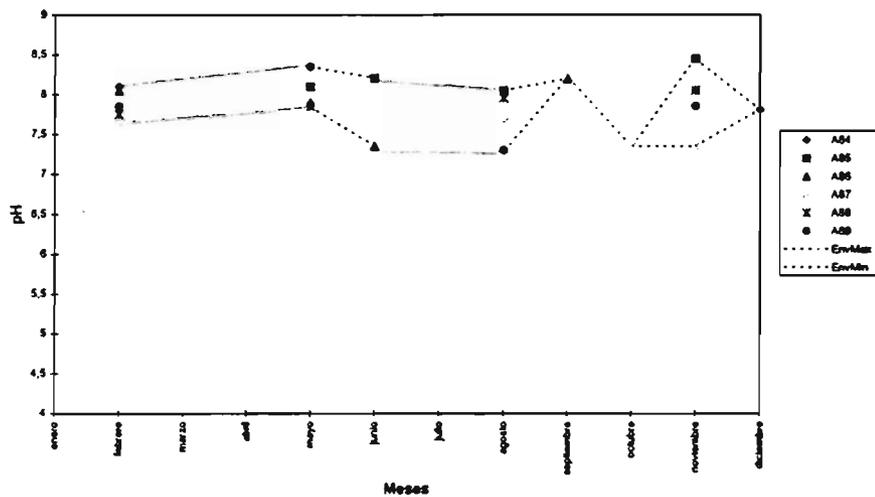
ESTACION RIO CHOAPA EN CUNCUMEN
CUENCA RIO CHOAPA - IV REGION



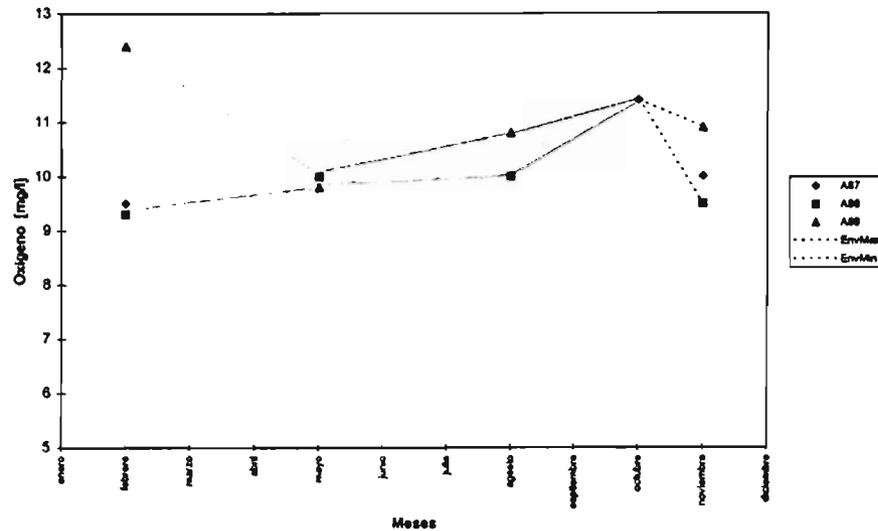
ESTACION RIO CHOAPA EN CUNCUMEN
CUENCA RIO CHOAPA - IV REGION



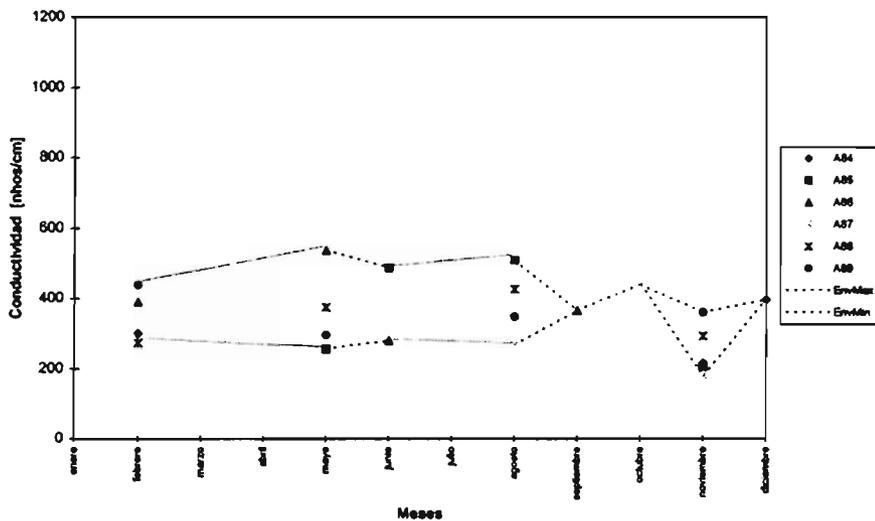
ESTACION RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CUENCA RIO ACONCAGUA - V REGION



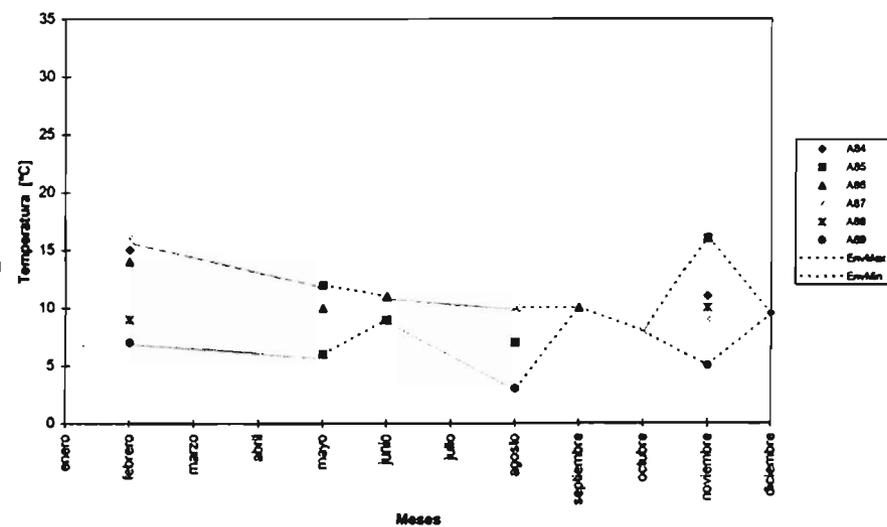
ESTACION RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CUENCA RIO ACONCAGUA - V REGION



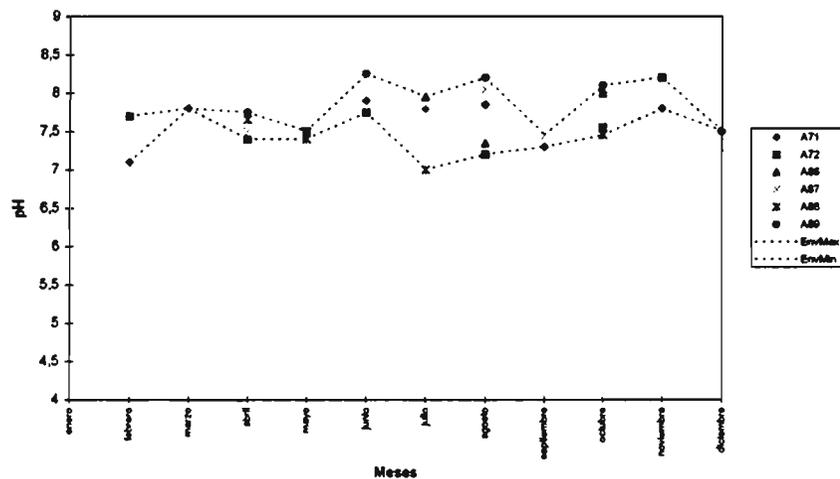
ESTACION RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CUENCA RIO ACONCAGUA - V REGION



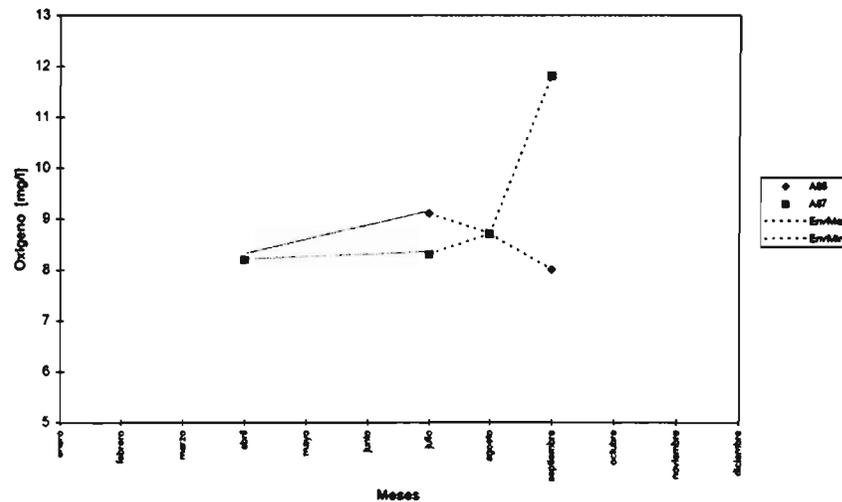
ESTACION RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CUENCA RIO ACONCAGUA - V REGION



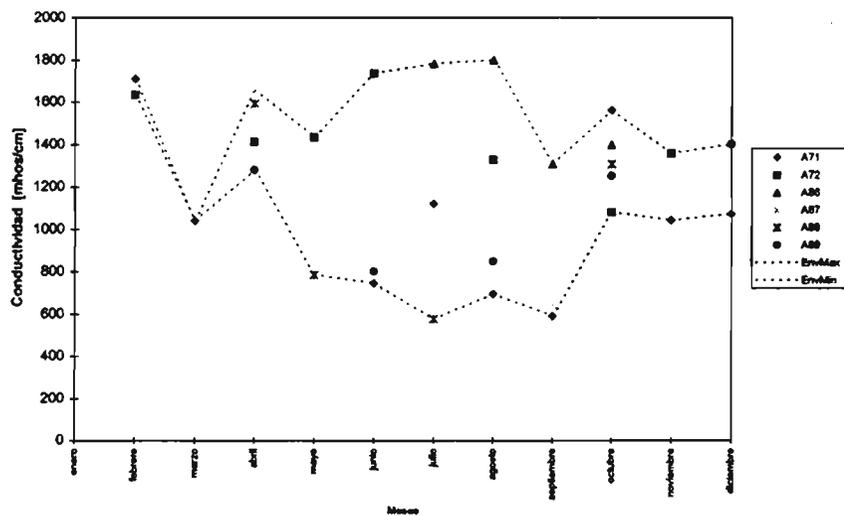
ESTACION RIO MAIPO EN LAS MELOSAS
CUENCA RIO MAIPO - R.M.



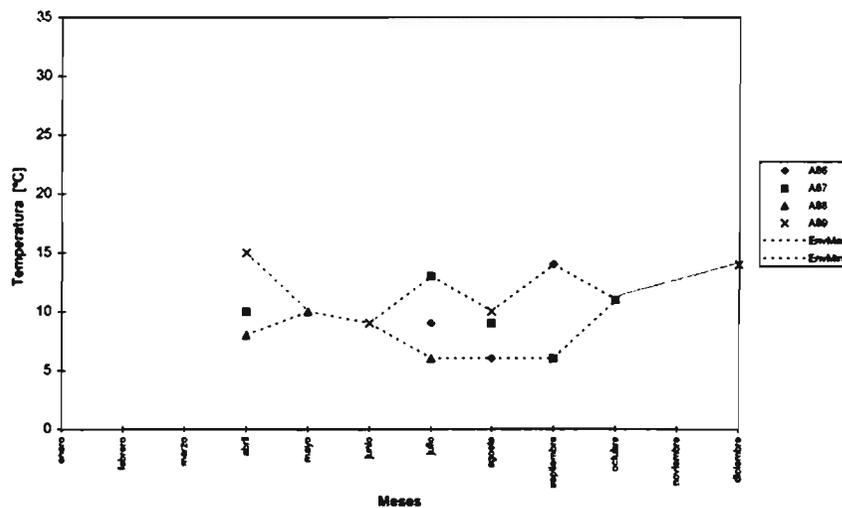
ESTACION RIO MAIPO EN LAS MELOSAS
CUENCA RIO MAIPO - R.M.



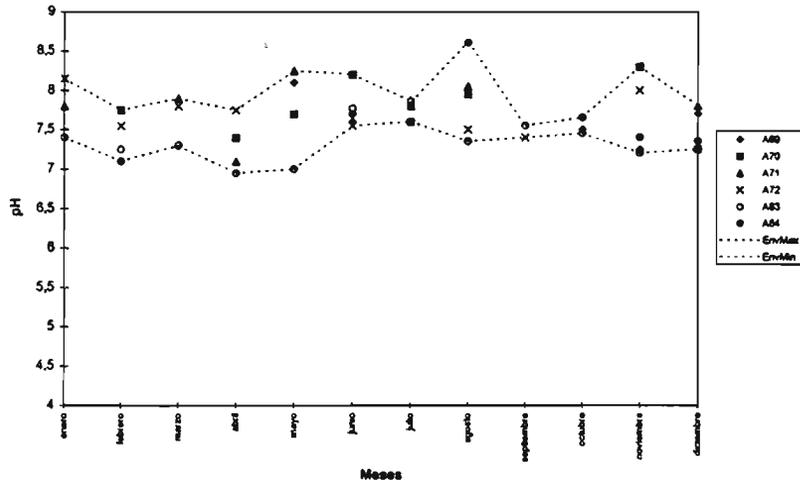
ESTACION RIO MAIPO EN LAS MELOSAS
CUENCA RIO MAIPO - R.M.



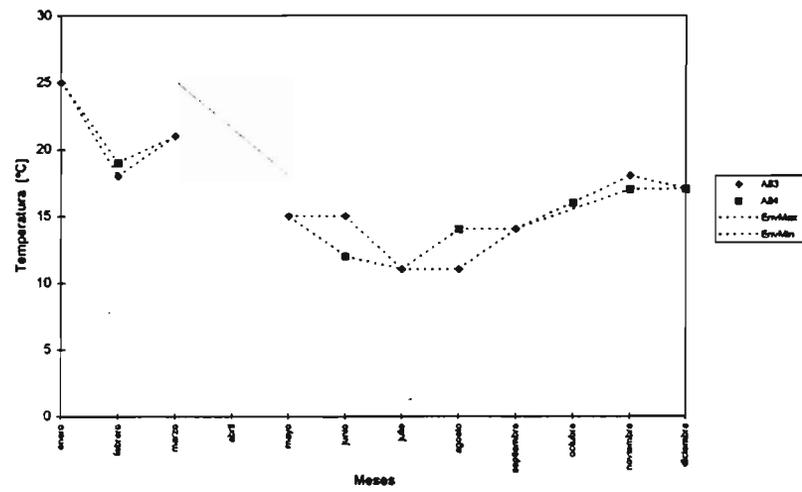
ESTACION RIO MAIPO EN LAS MELOSAS
CUENCA RIO MAIPO - R.M.



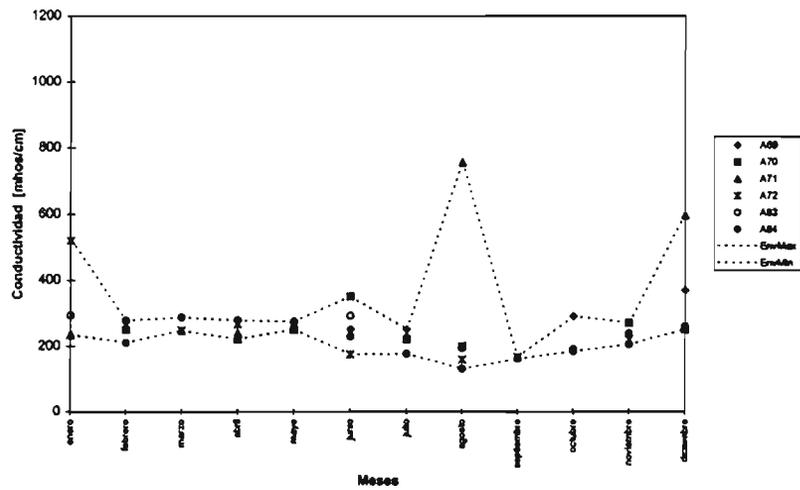
ESTACION RIO PUANGUE EN BOQUERON
CUENCA RIO MAIPO - R.M.



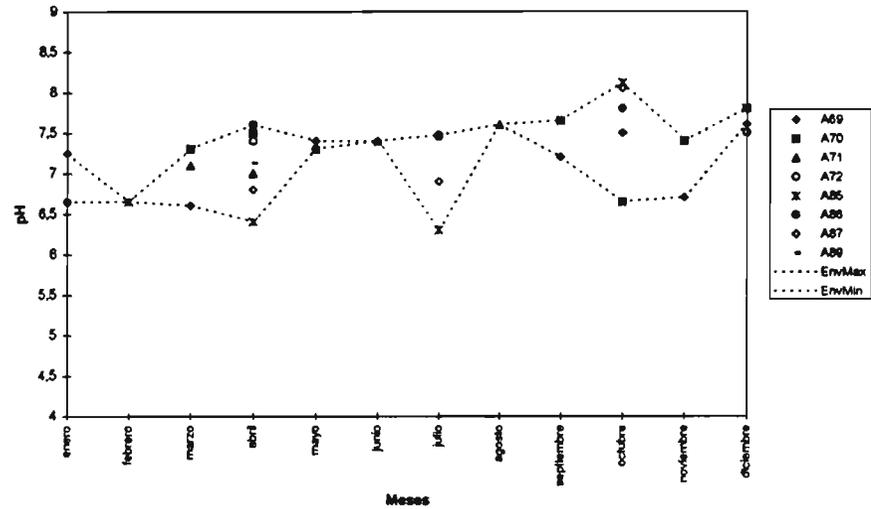
ESTACION RIO PUANGUE EN BOQUERON
CUENCA RIO MAIPO - R.M.



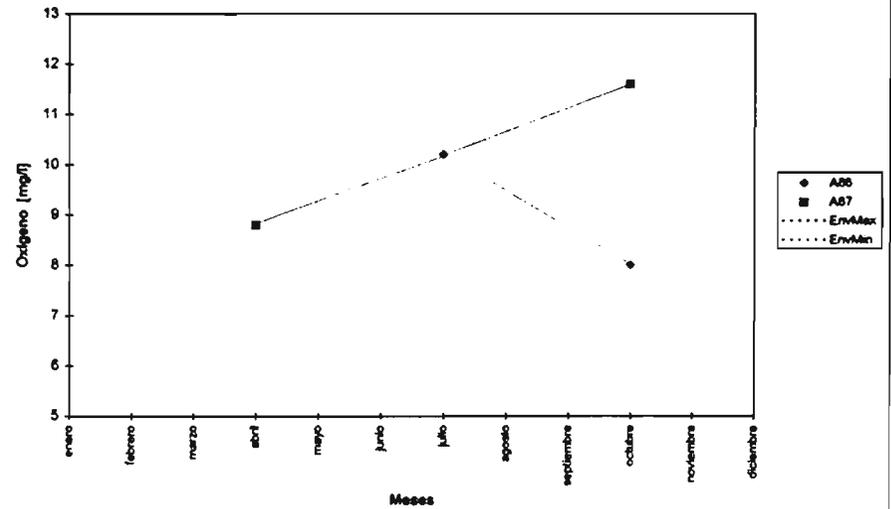
ESTACION RIO PUANGUE EN BOQUERON
CUENCA RIO MAIPO - R.M.



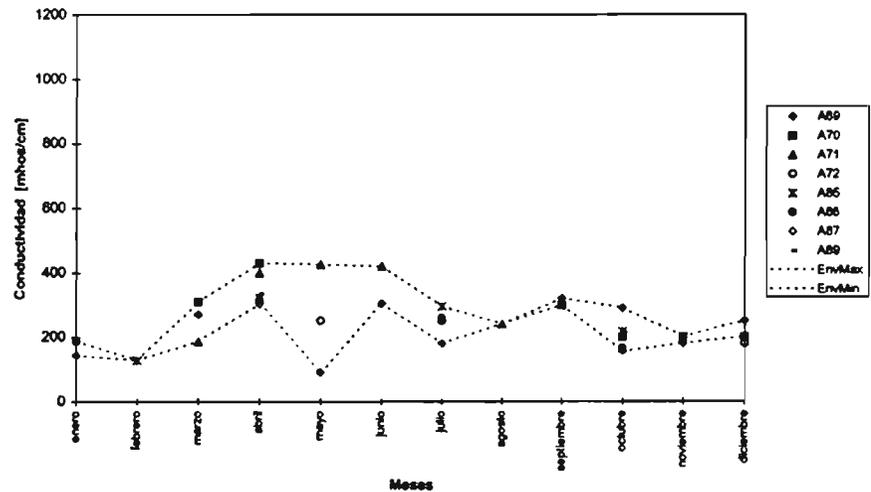
ESTACION RIO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES
CUENCA RIO RAPEL - VI REGION



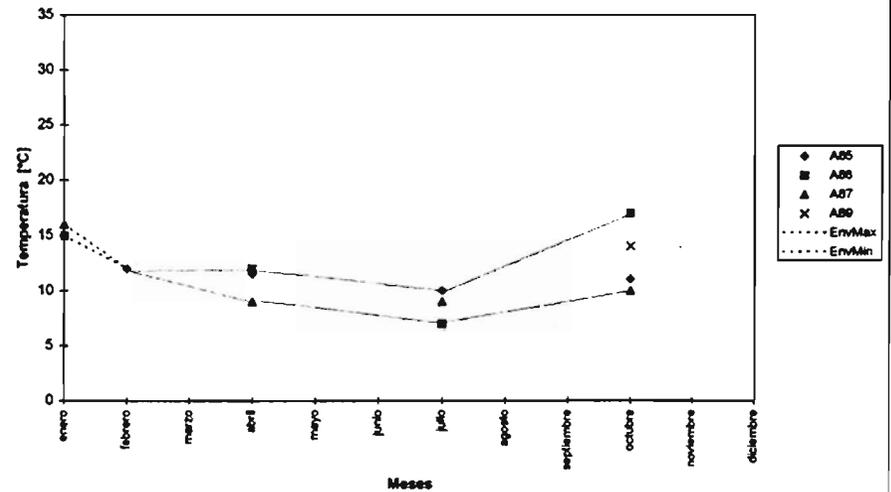
ESTACION RIO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES
CUENCA RIO RAPEL - VI REGION



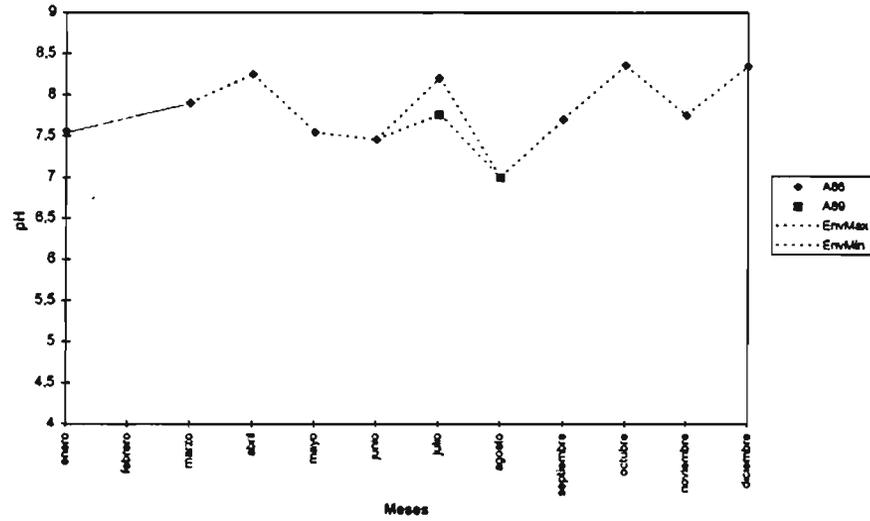
ESTACION RIO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES
CUENCA RIO RAPEL - VI REGION



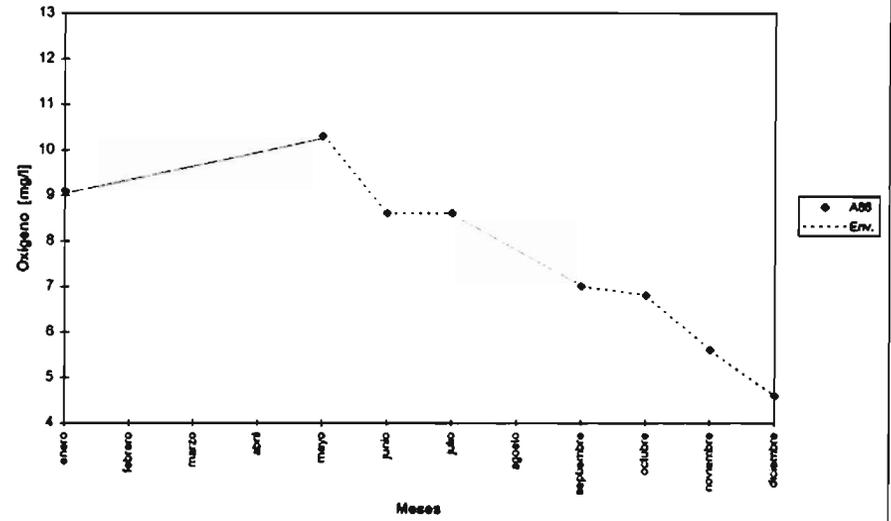
ESTACION RIO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES
CUENCA RIO RAPEL - VI REGION



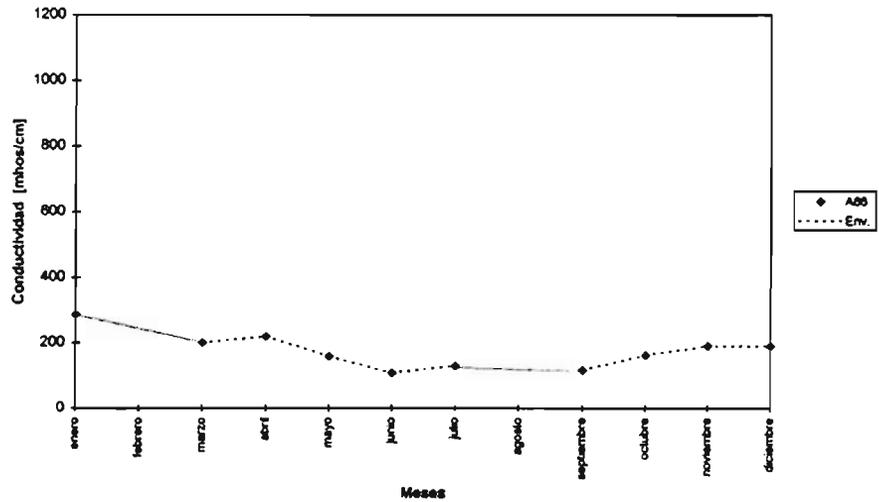
ESTACION RIO ALHUE EN QUILAMUTA
CUENCA RIO RAPEL - VI REGION



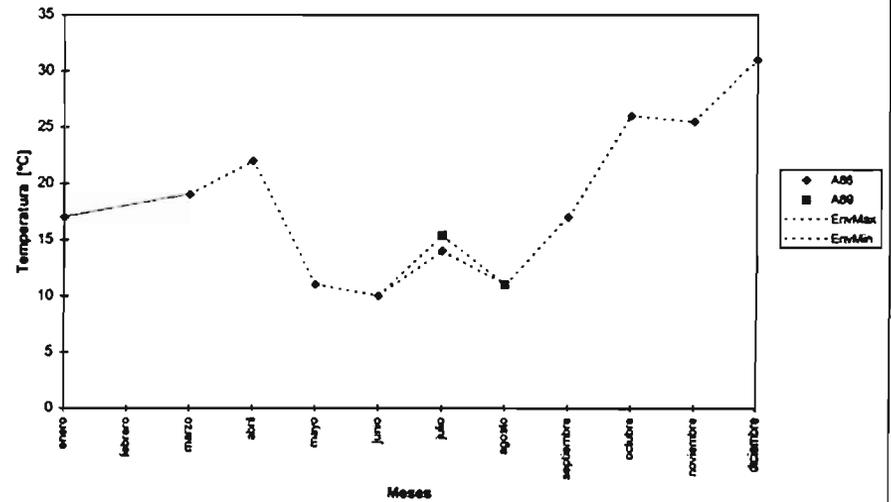
ESTACION RIO ALHUE EN QUILAMUTA
CUENCA RIO RAPEL - VI REGION

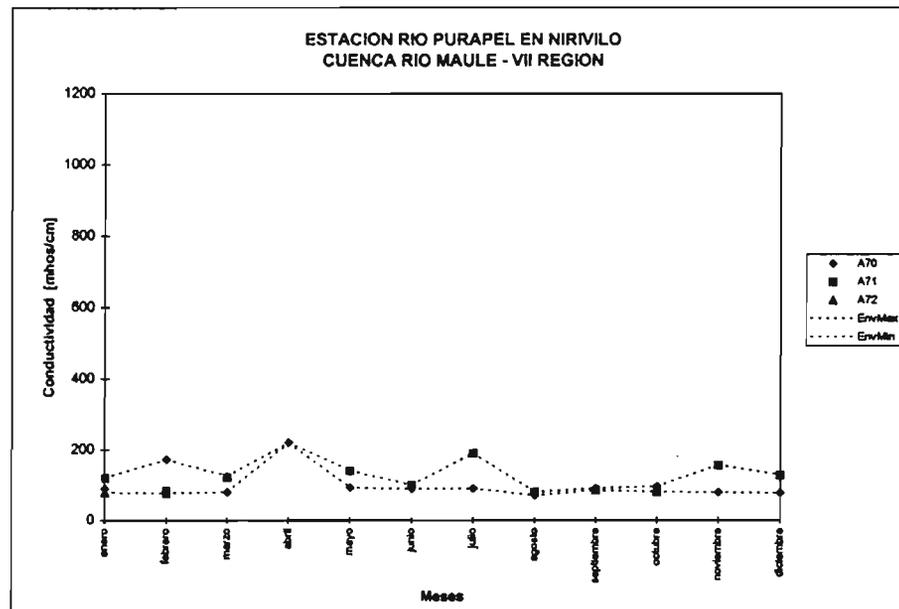
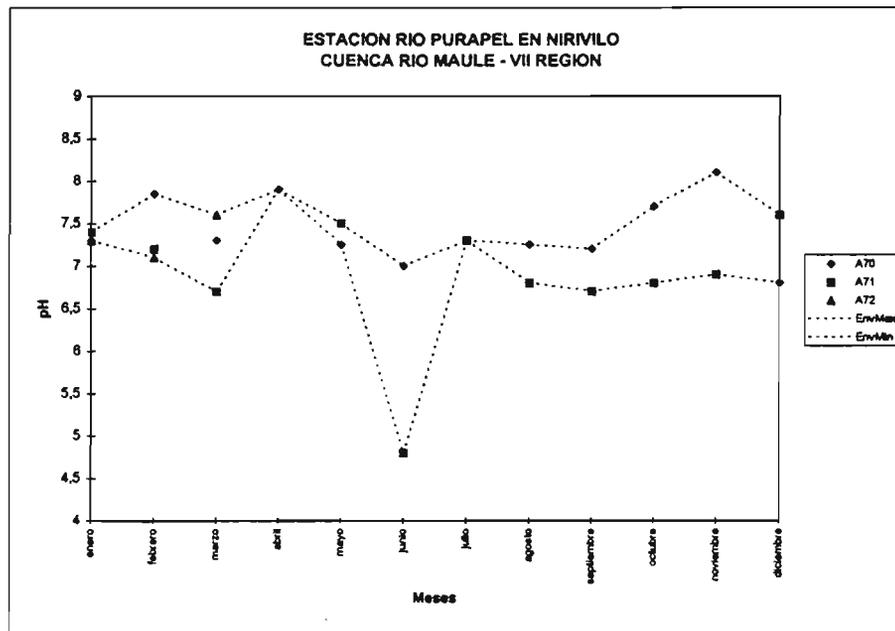


ESTACION RIO ALHUE EN QUILAMUTA
CUENCA RIO RAPEL - VI REGION

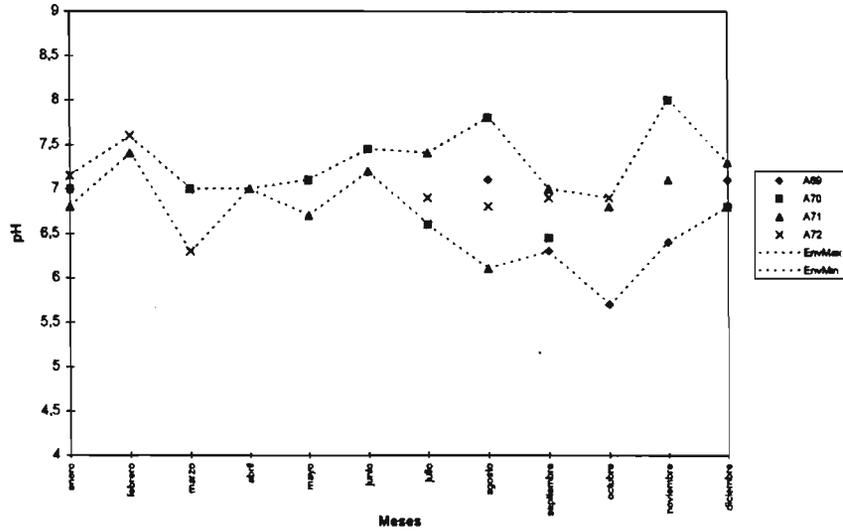


ESTACION RIO ALHUE EN QUILAMUTA
CUENCA RIO RAPEL - VI REGION

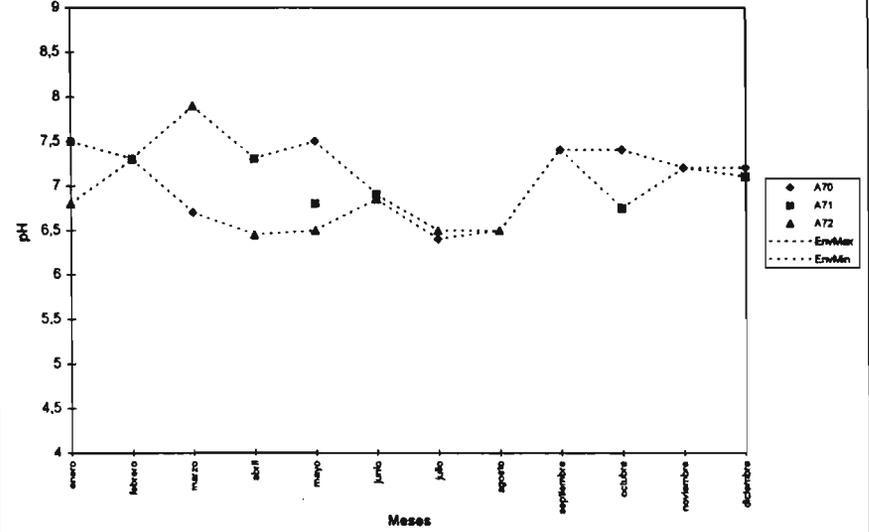




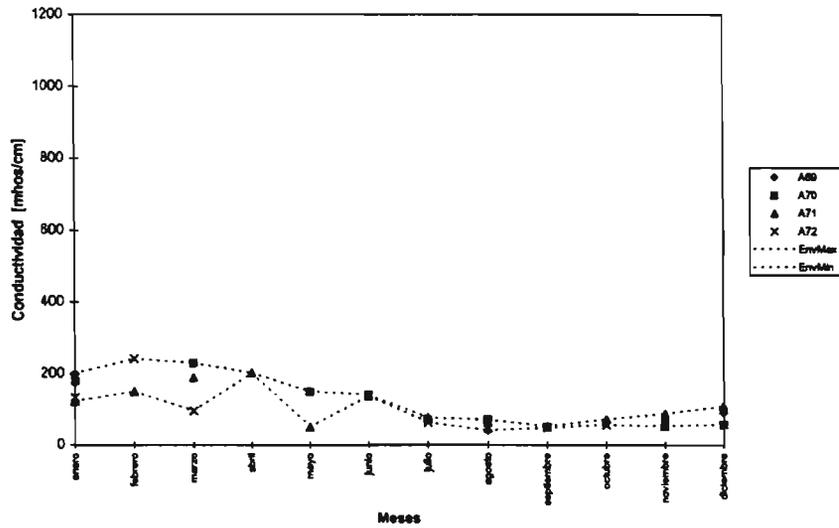
ESTACION RIO DIGULLIN EN SAN LORENZO
CUENCA RIO ITATA - VIII REGION



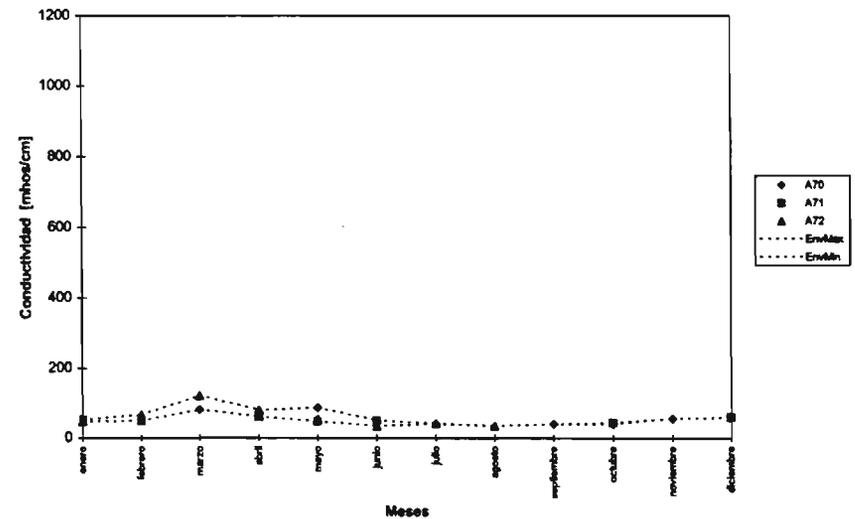
ESTACION ESTERO BUTAMALAL EN BUTAMALAL
CUENCA COSTERAS LEBU-PICAV - VIII REGION



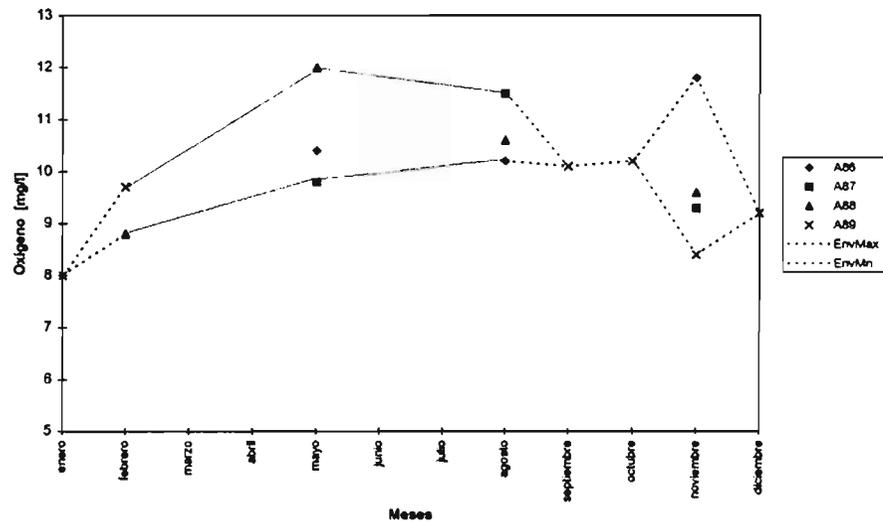
ESTACION RIO DIGULLIN EN SAN LORENZO
CUENCA RIO ITATA VIII - REGION



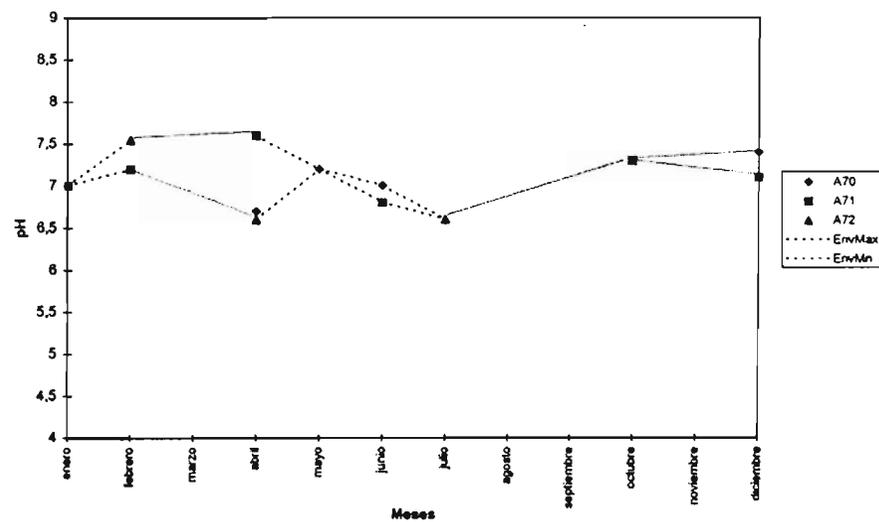
ESTACION ESTERO BUTAMALAL EN BUTAMALAL
CUENCA COSTERAS LEBU-PICAV - VIII REGION



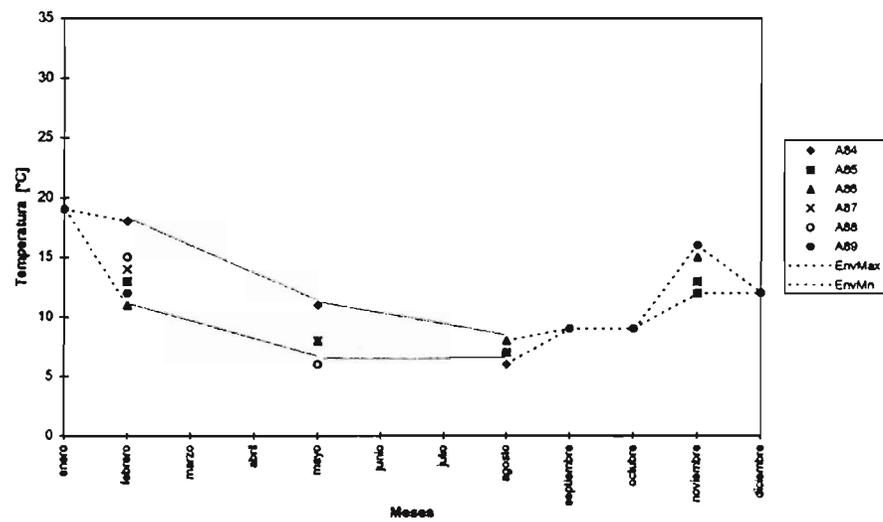
ESTACION RIO CAUTIN EN RARI - RUCA
CUENCA RIO IMPERIAL - IX REGION



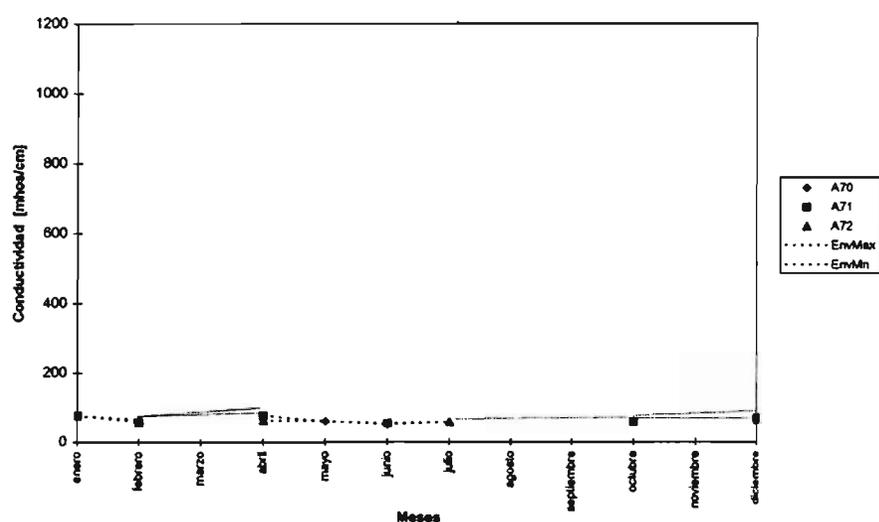
ESTACION RIO CAUTIN EN CAJON
CUENCA RIO IMPERIAL - IX REGION



ESTACION RIO CAUTIN EN RARI - RUCA
CUENCA RIO IMPERIAL - IX REGION



ESTACION RIO CAUTIN EN CAJON
CUENCA RIO IMPERIAL - IX REGION



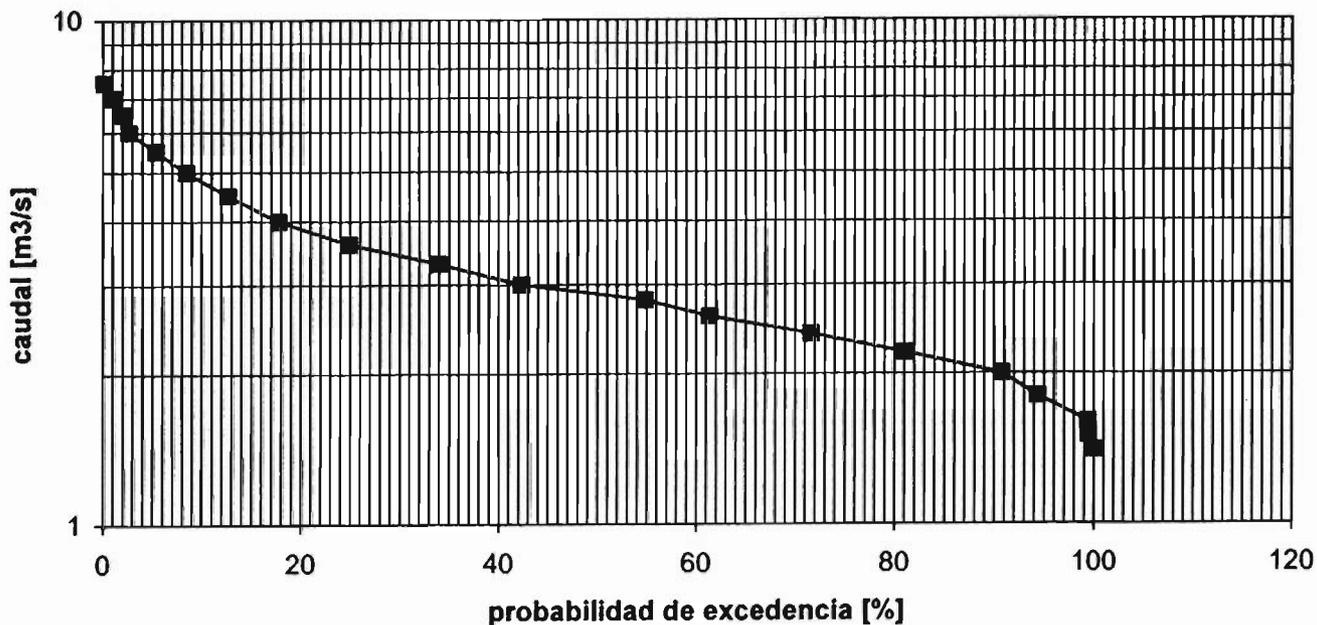
ANEXO I

CURVAS DE DURACIÓN EN AÑOS CON VALORES DE

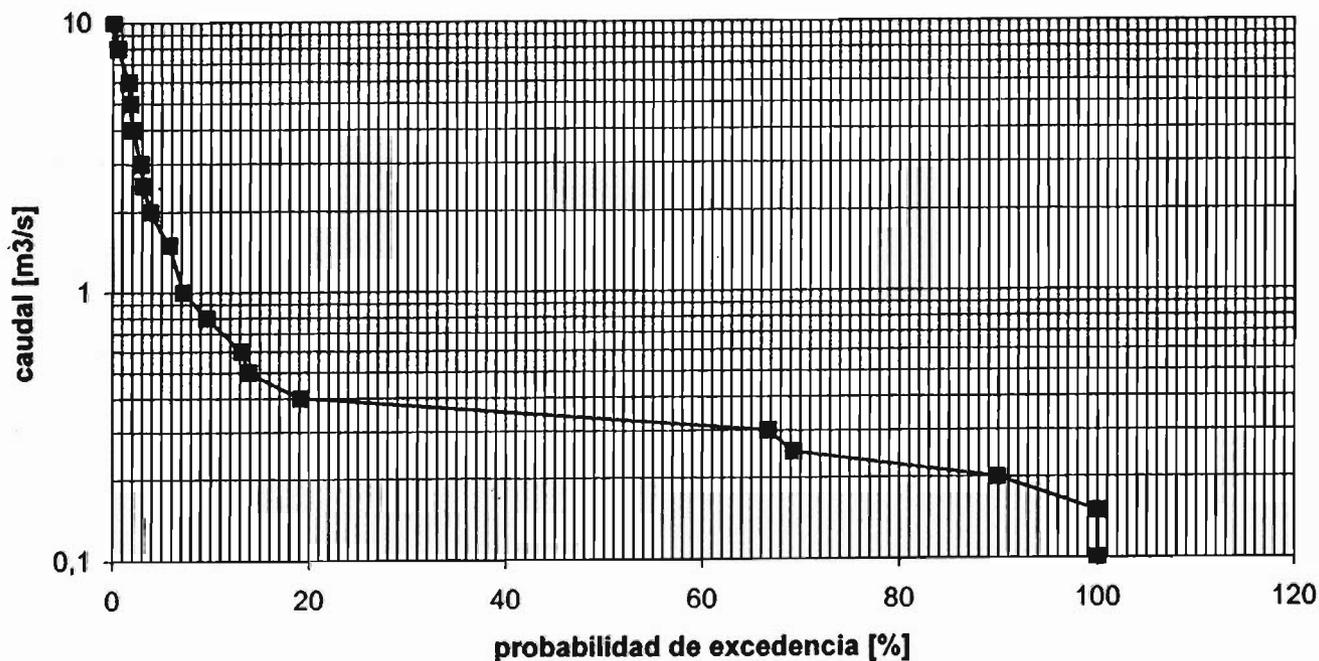
CAUDAL MEDIO ANUAL CORRESPONDIENTES

AL PRIMER CUARTIL

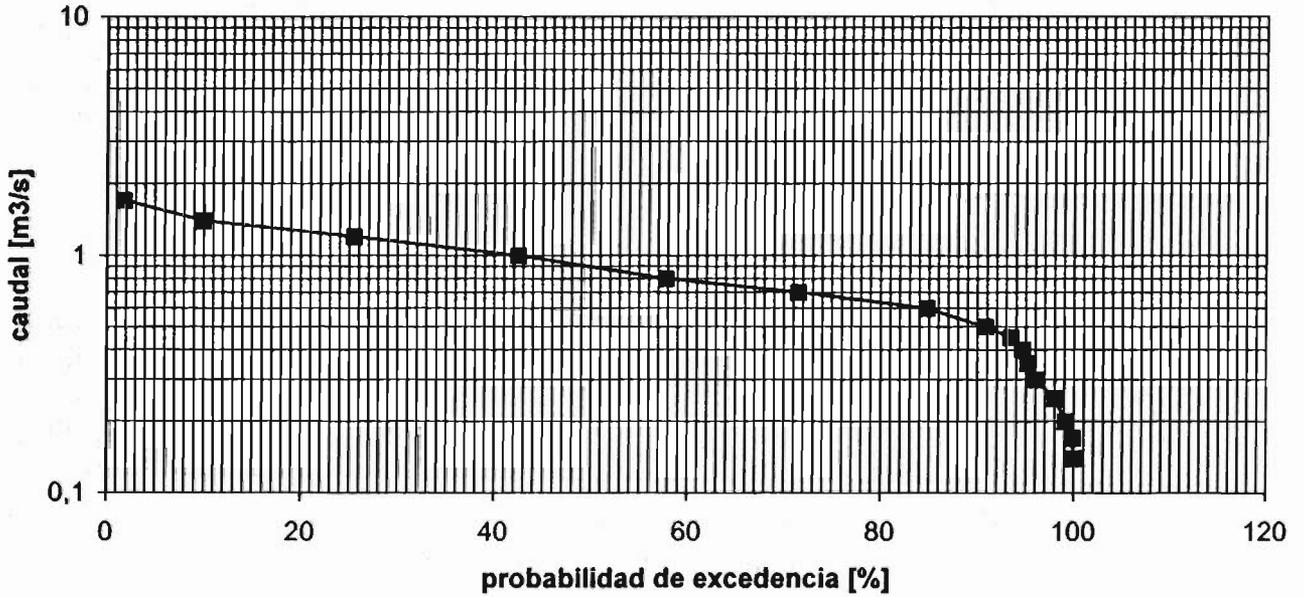
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. TURBIO EN
VARILLAR - IV REGIÓN**



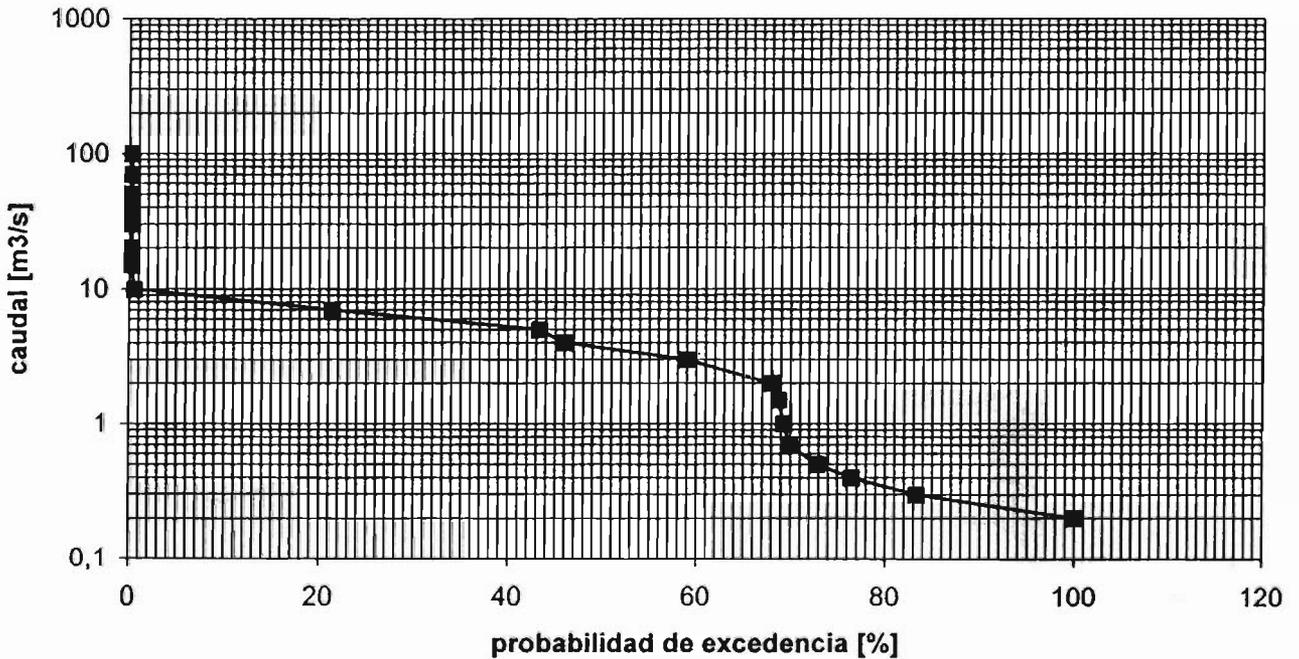
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CHOAPA EN
SALAMANCA - IV REGIÓN**



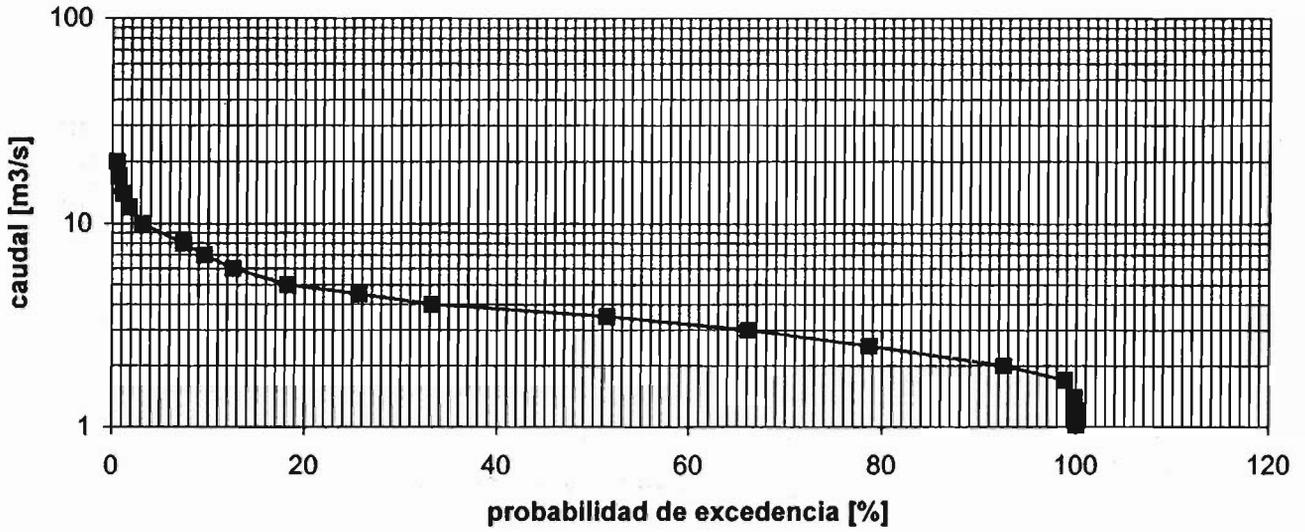
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. GRANDE EN LAS
RAMADAS - IV REGIÓN**



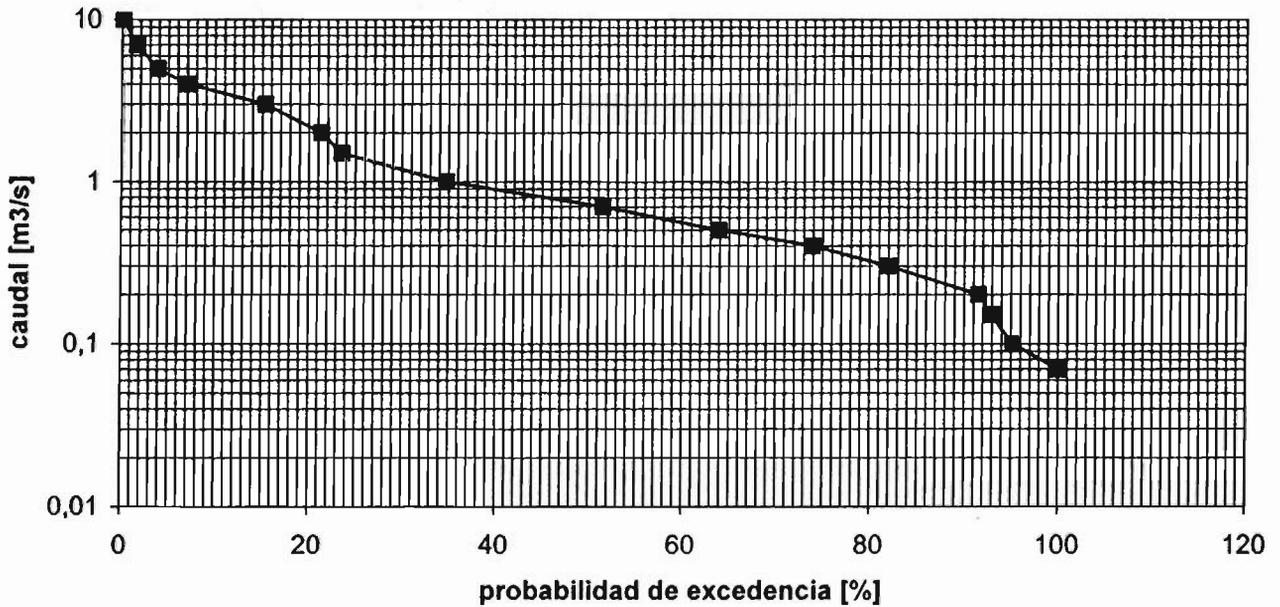
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CHOAPA AGUAS
ARRIBA DE ESTERO CANELA - IV REGIÓN**



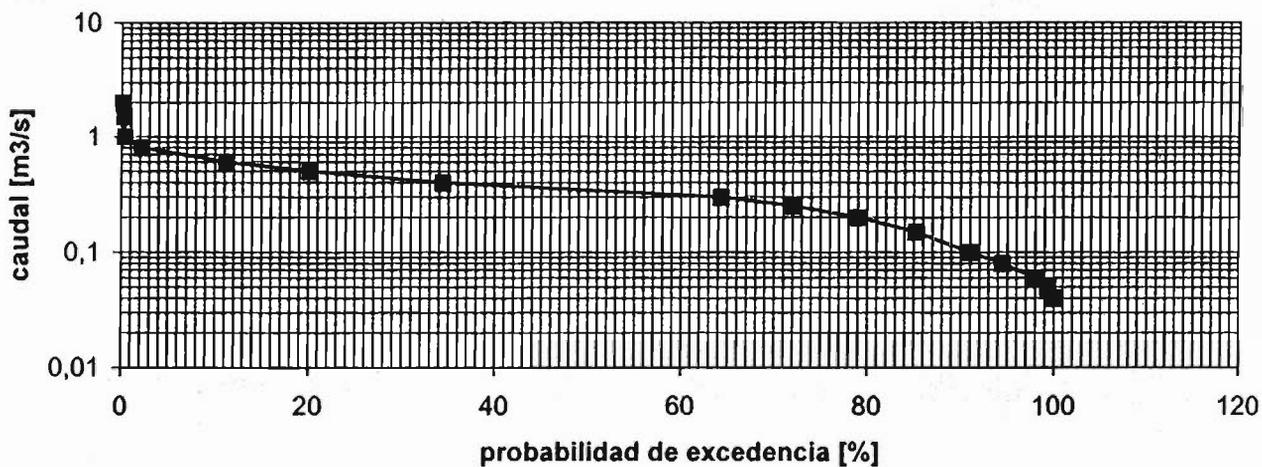
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CHOAPA EN
CUNCUMEN - IV REGIÓN**



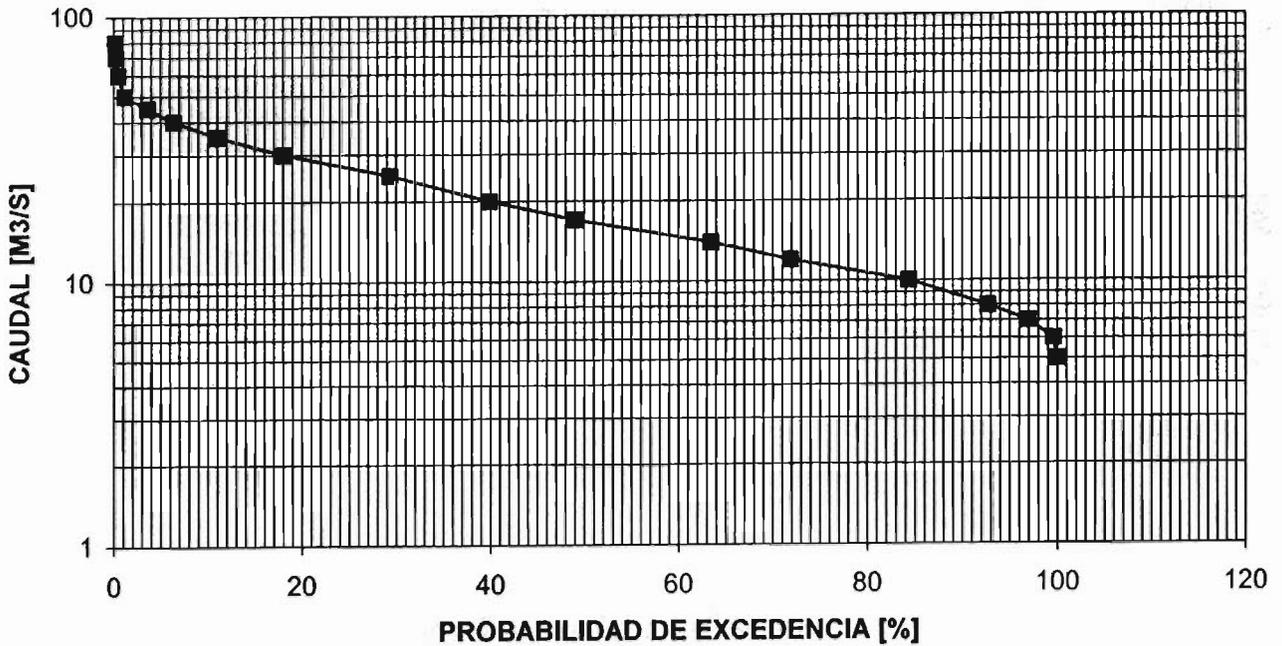
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS DE APORTACIÓN
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CHOAPA EN PUENTE
NEGRO - IV REGIÓN**



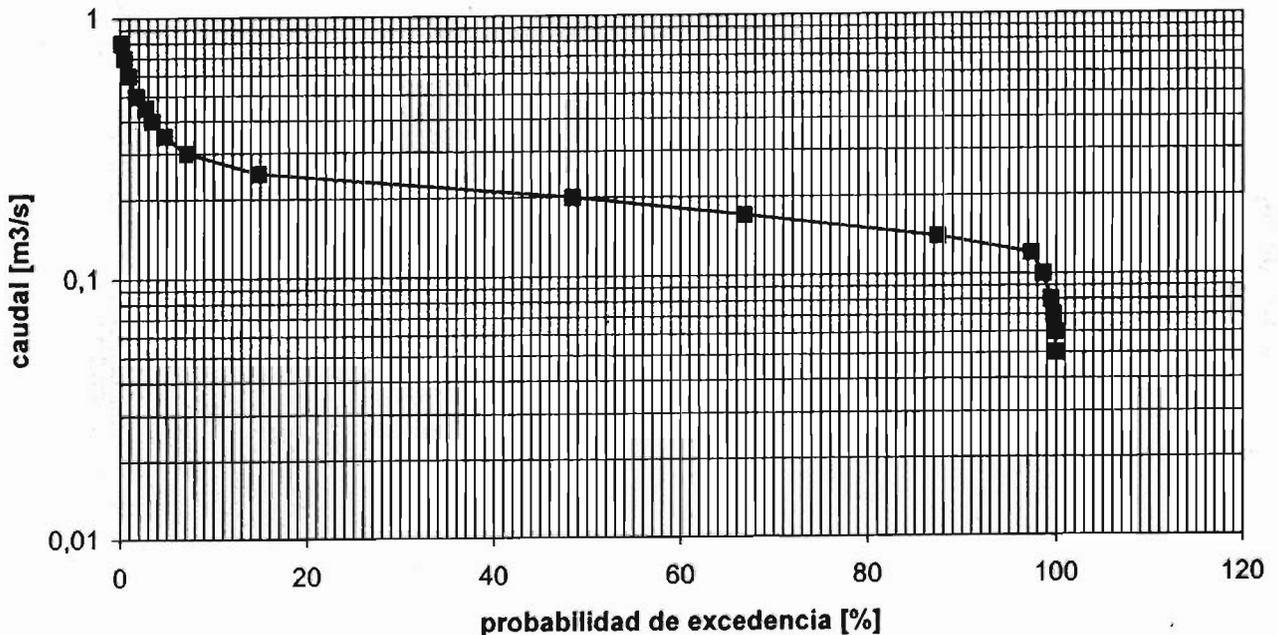
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. ILLAPEL EN HUINTIL .
IV REGIÓN**



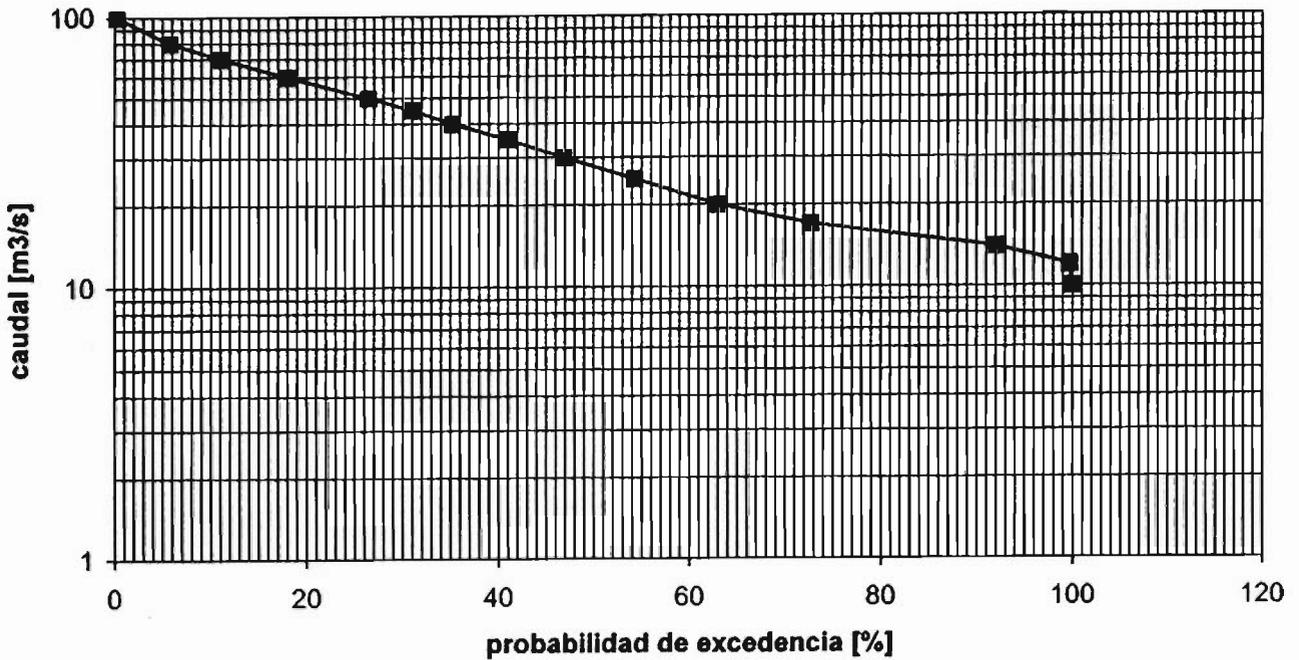
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL ACONCAGUA EN
CHACABUQUITO - V REGIÓN**



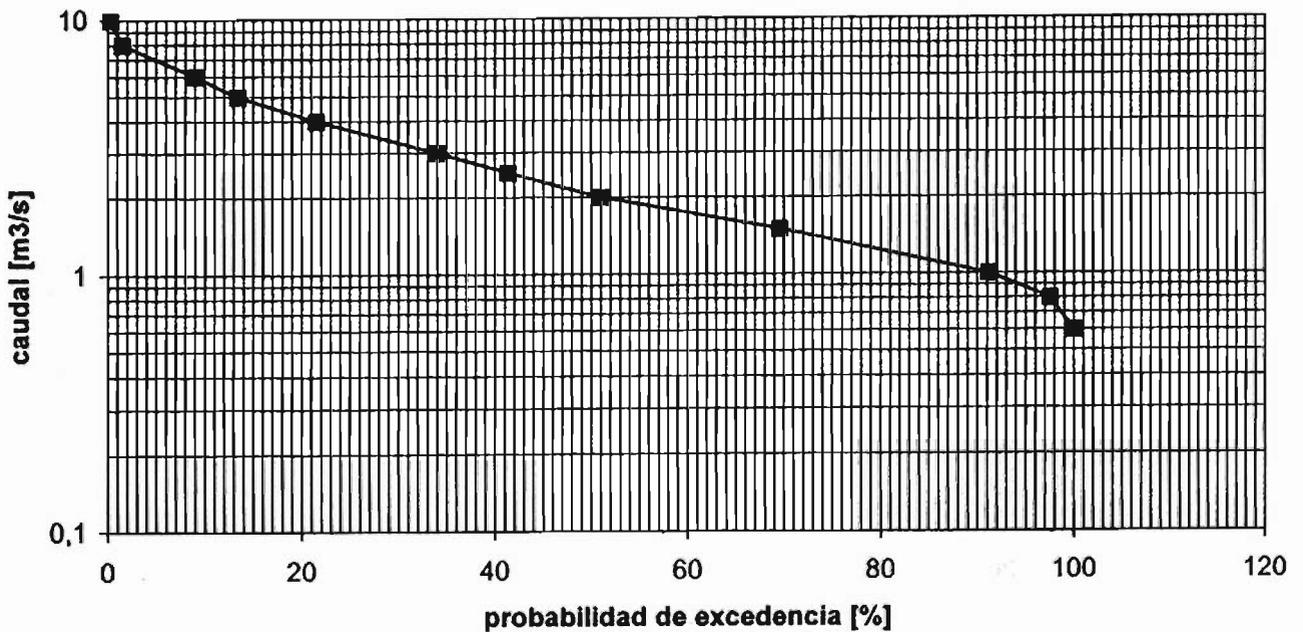
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. ALICAHUE EN
COLLIGUAY - V REGIÓN**



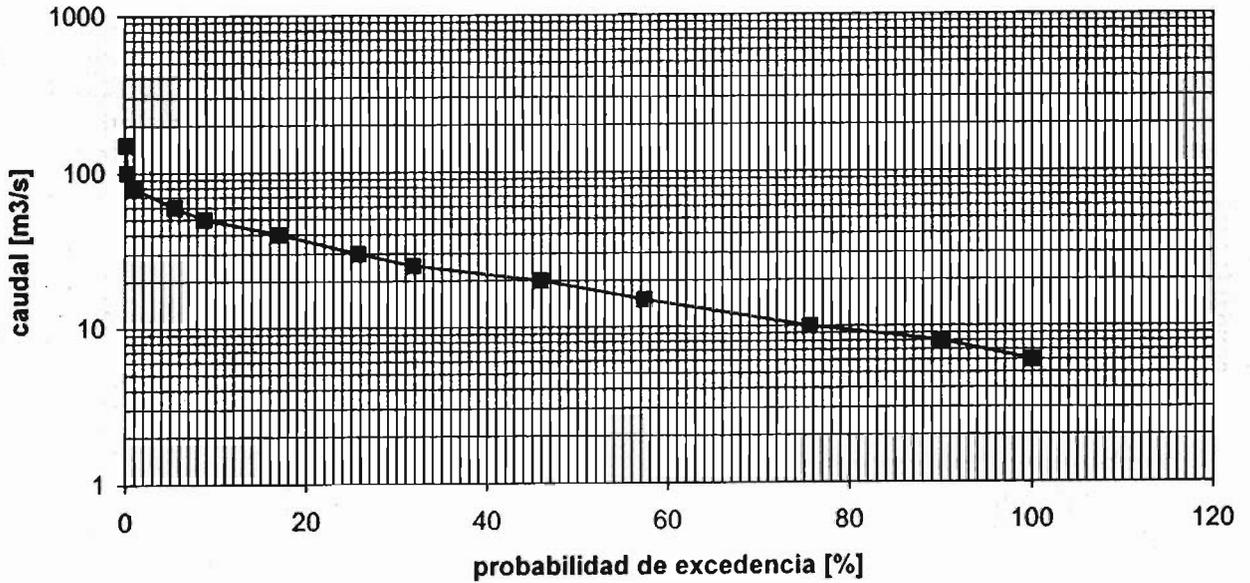
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. TINGUIRIRICA BAJO
LOS BRIONES - VI REGIÓN**



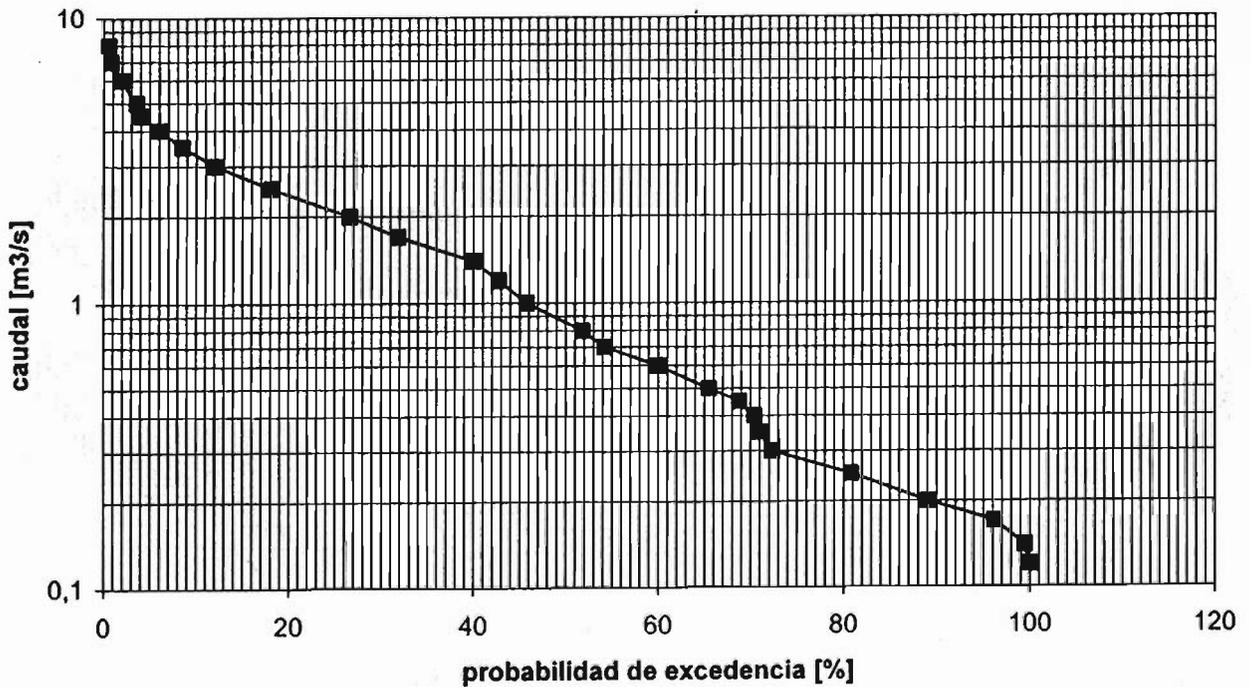
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CLARO EN
HACIENDA LAS NIEVES - VI REGIÓN**



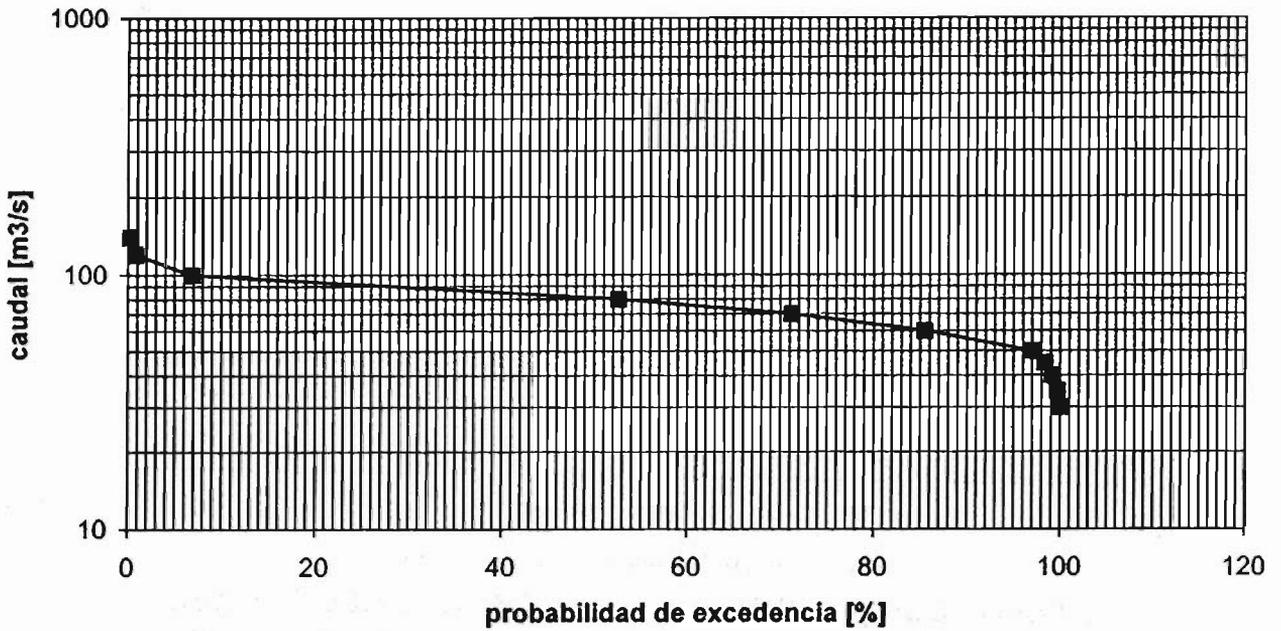
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. TENO EN LOS
QUEÑES - VII REGIÓN**



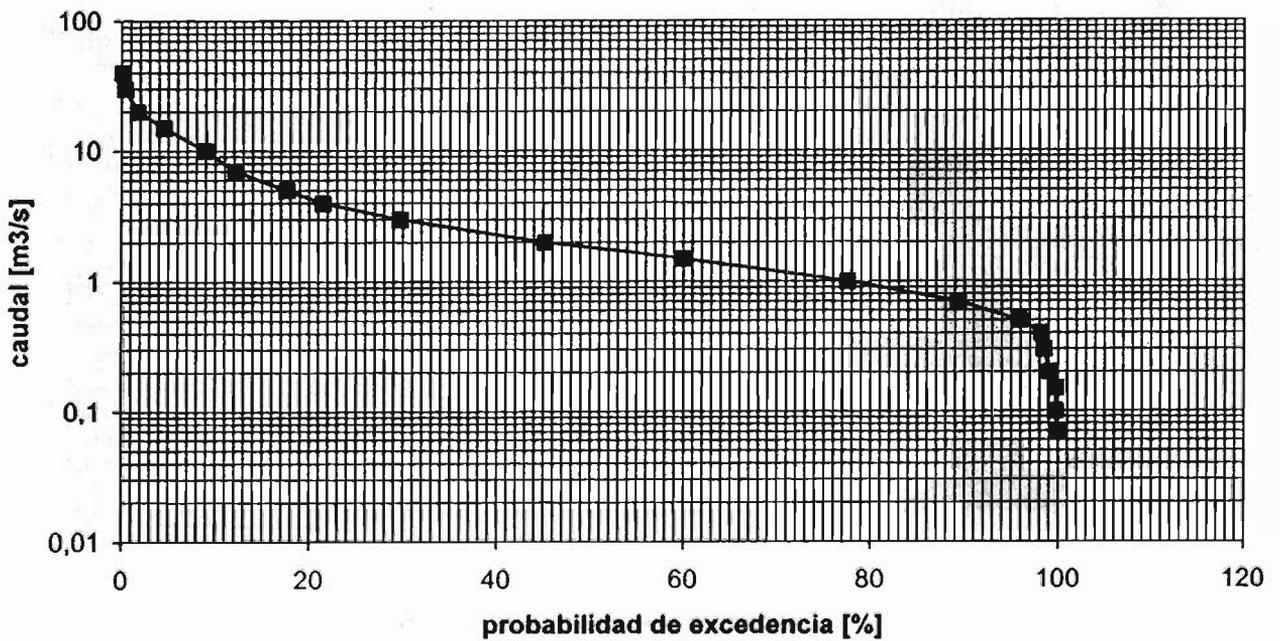
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. PURAPEL EN
NIRIVILO - VII REGIÓN**



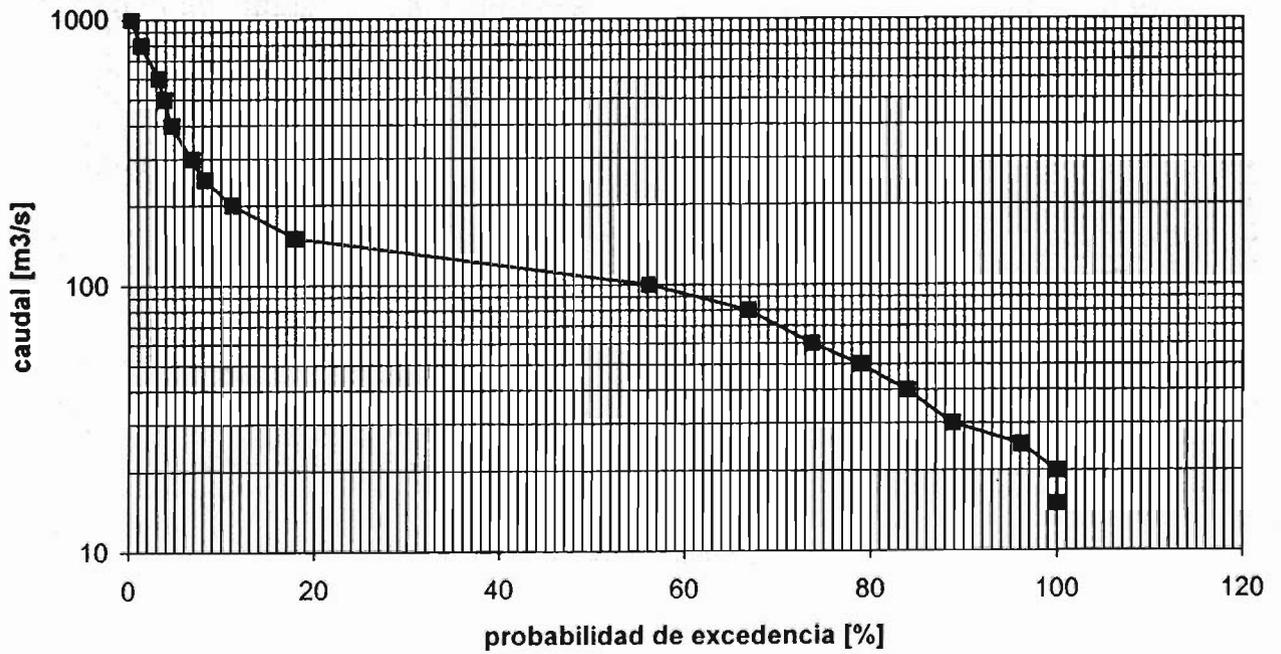
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. MAULE EN
ARMERILLO - VII REGIÓN**



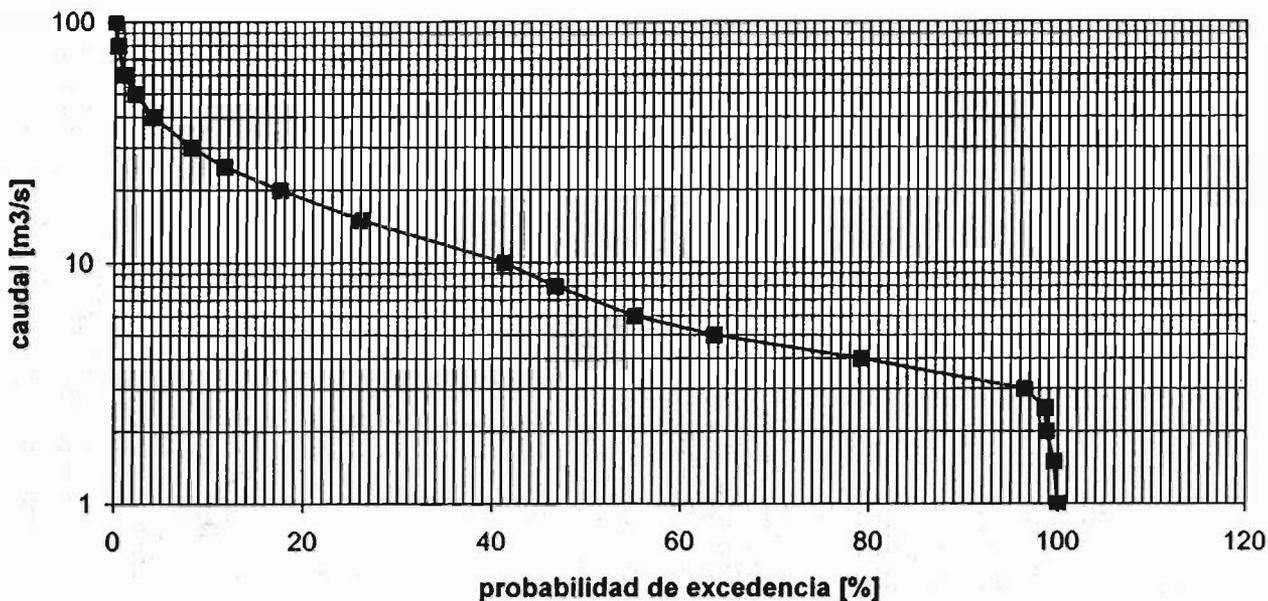
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. LIRCAY EN PUENTE
LAS RASTRAS - VII REGIÓN**



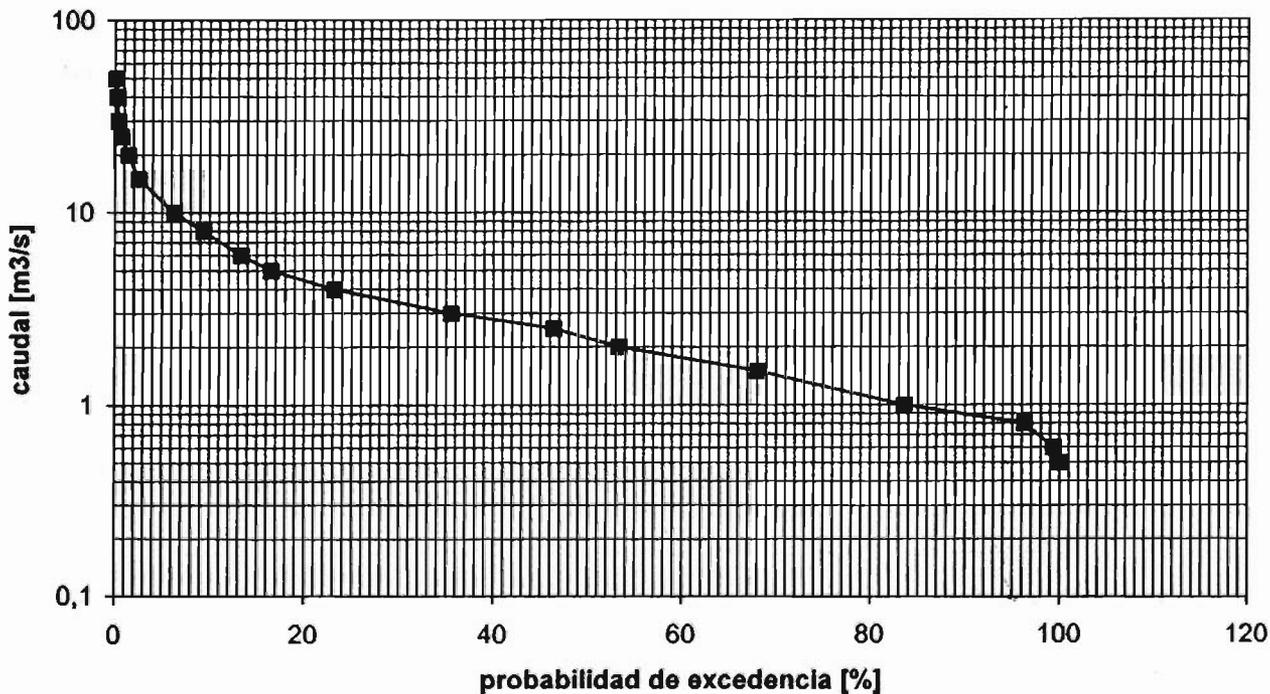
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. MATAQUITO EN
LICANTÉN - VII REGIÓN**



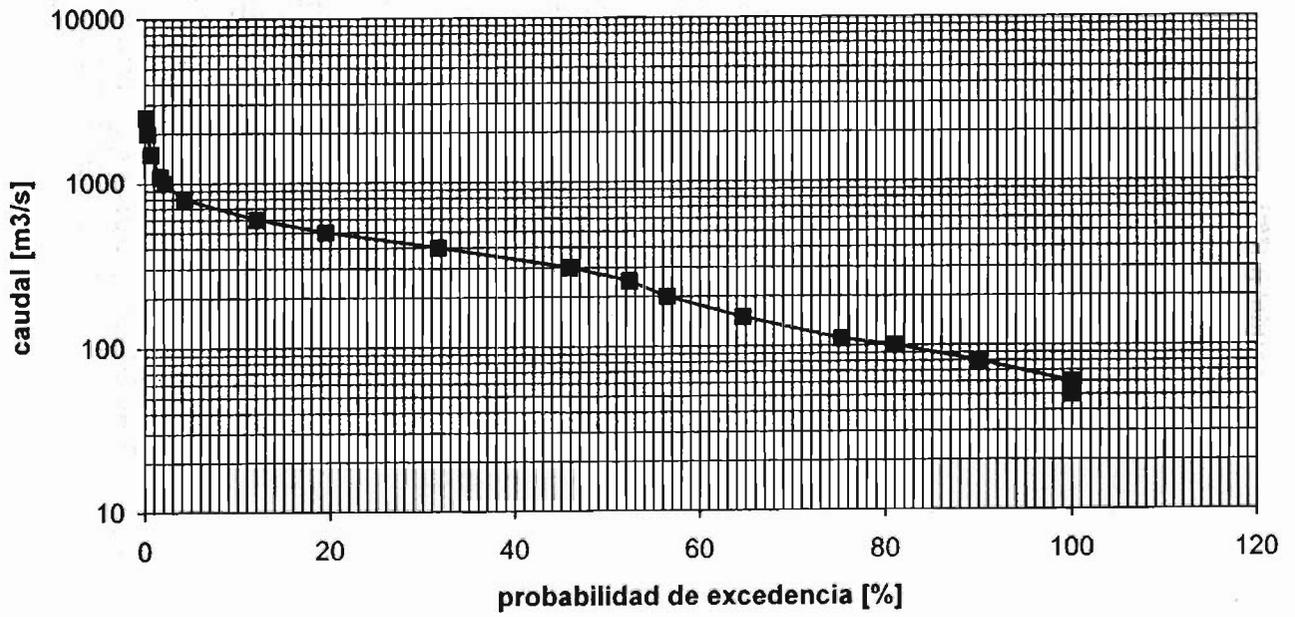
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. MULCHÉN EN
MULCHÉN - VIII REGIÓN**



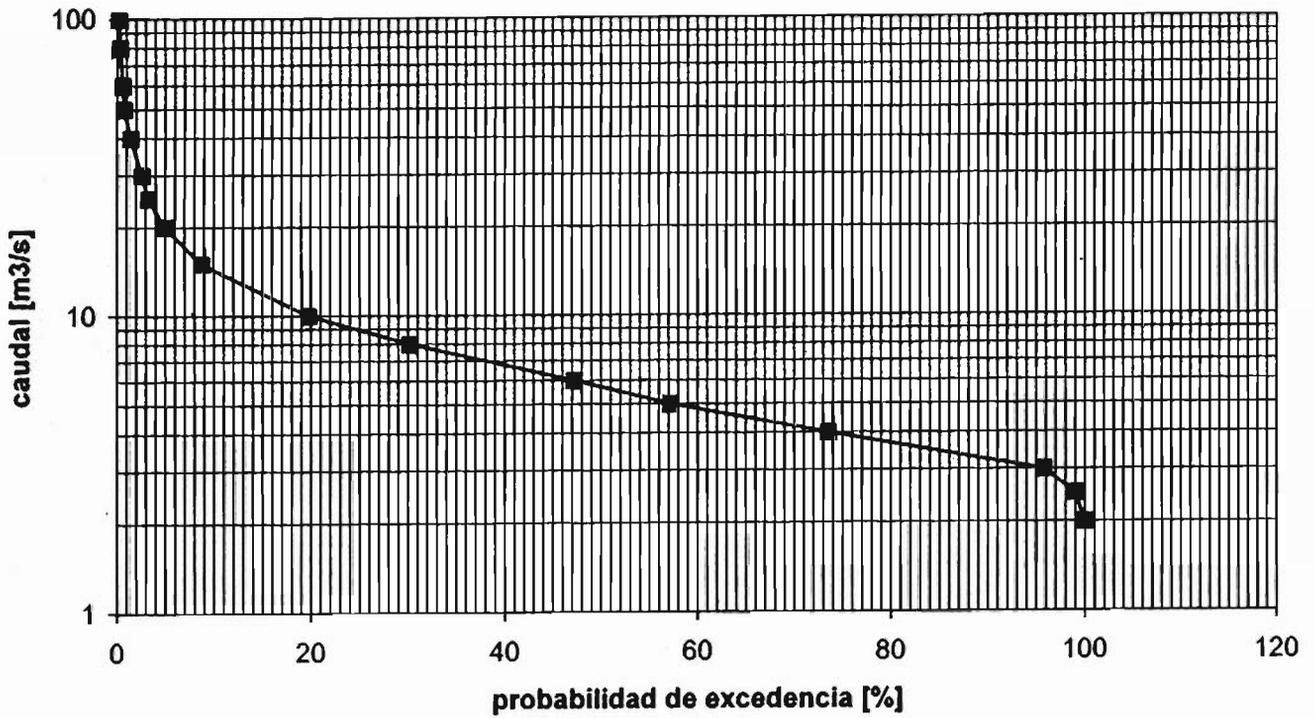
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CARAMAVIDA EN
CARAMAVIDA - VIII REGIÓN**



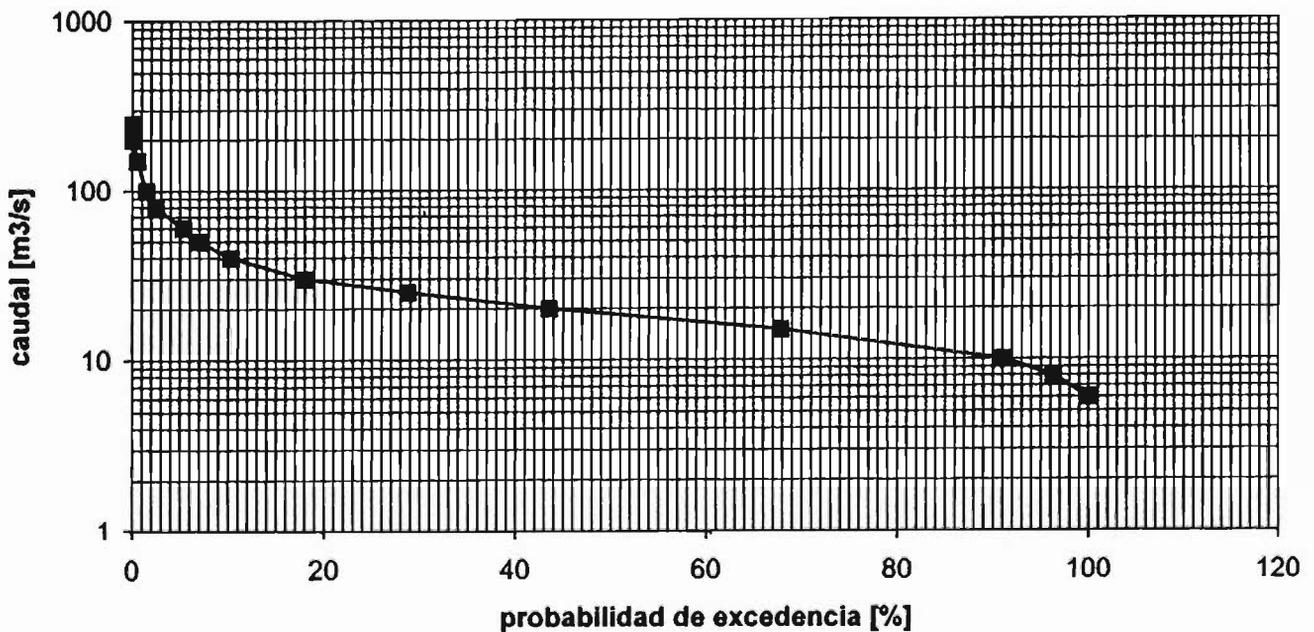
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. BÍO-BÍO EN
RUCALHUE - VIII REGIÓN**



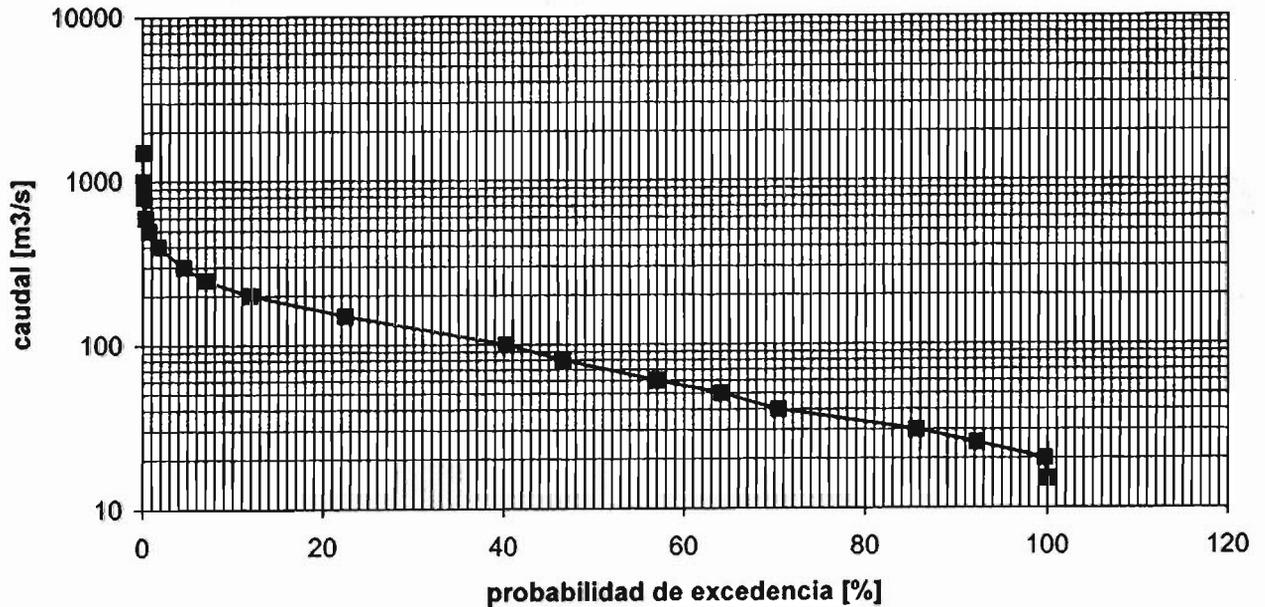
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CHILLÁN EN
ESPERANZA - VIII REGIÓN**



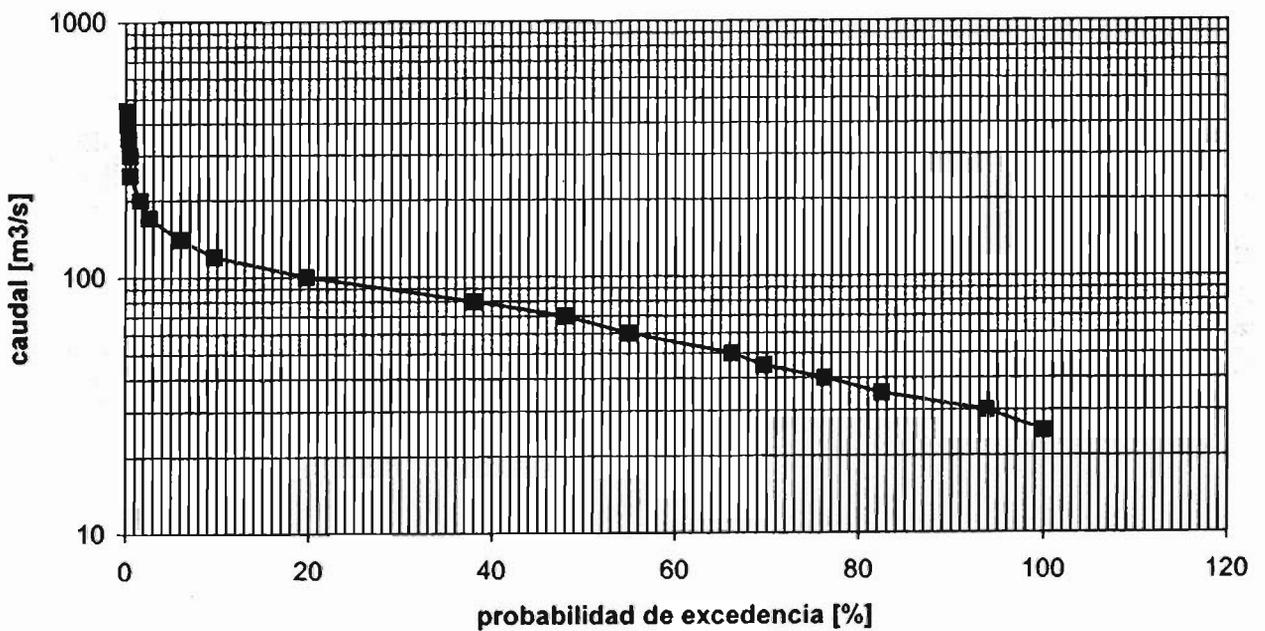
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. ITATA EN
CHOLGUÁN - VIII REGIÓN**



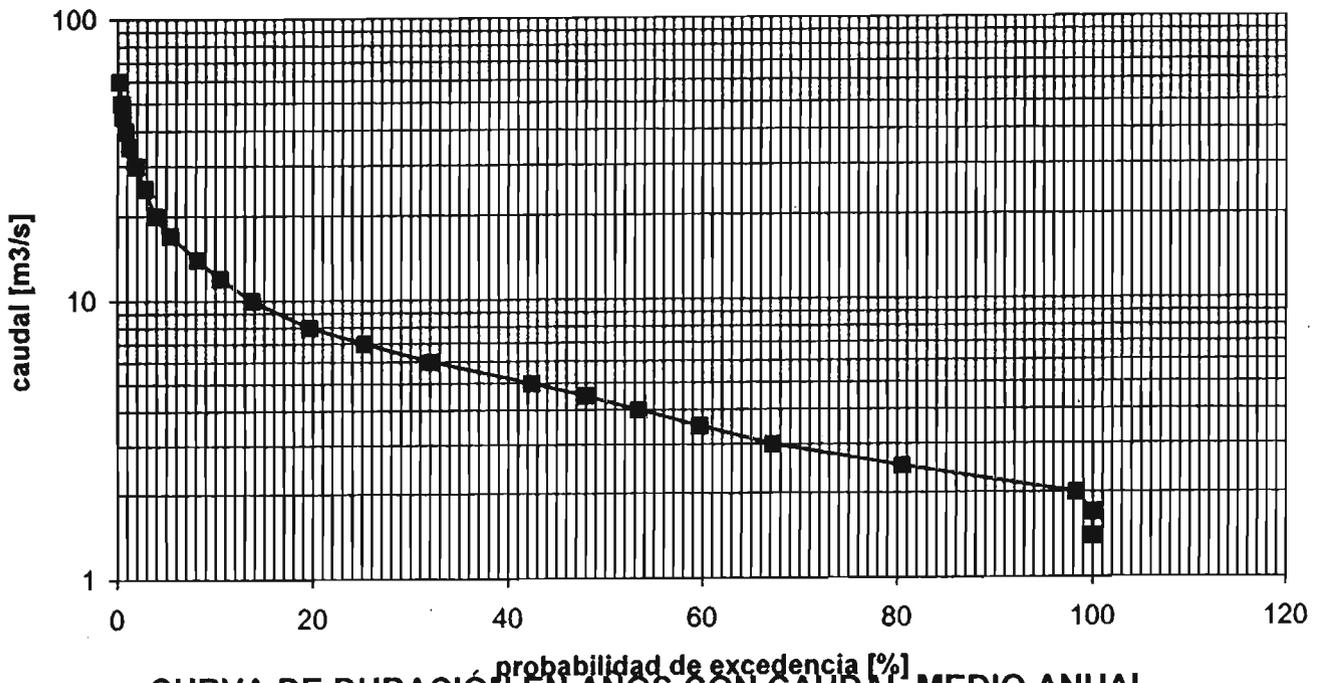
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CAUTÍN EN CAJÓN -
IX REGIÓN**



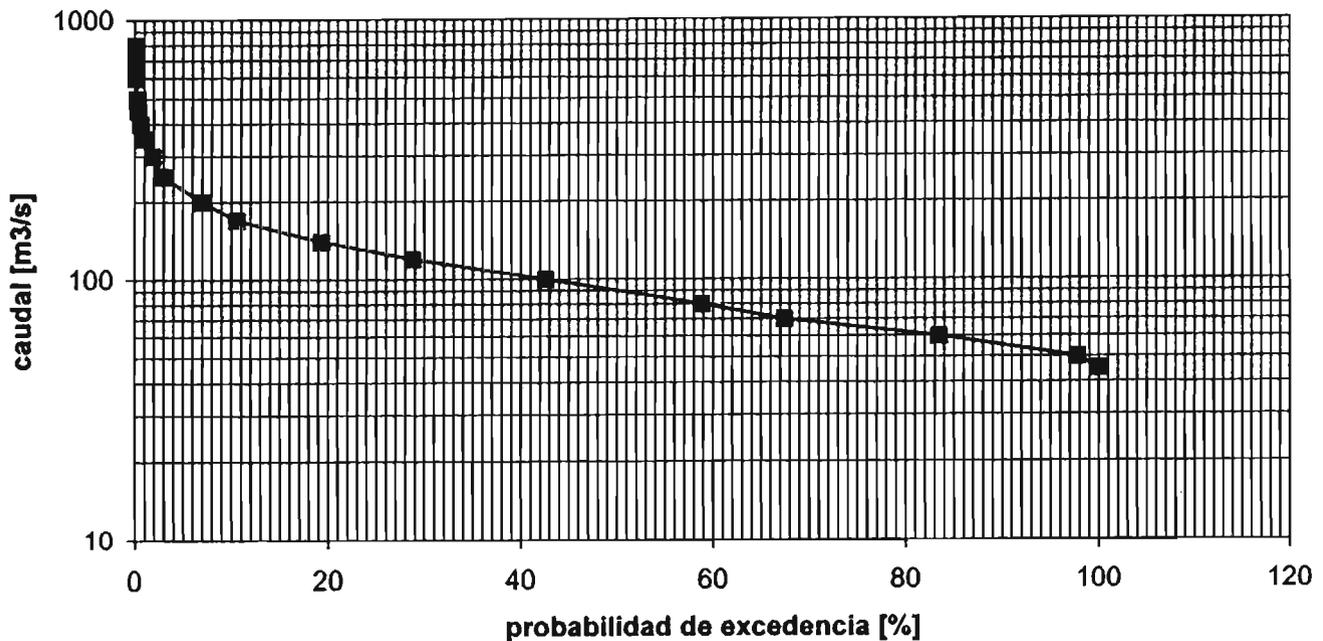
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CAUTÍN EN RARI-
RUCA - IX REGIÓN**



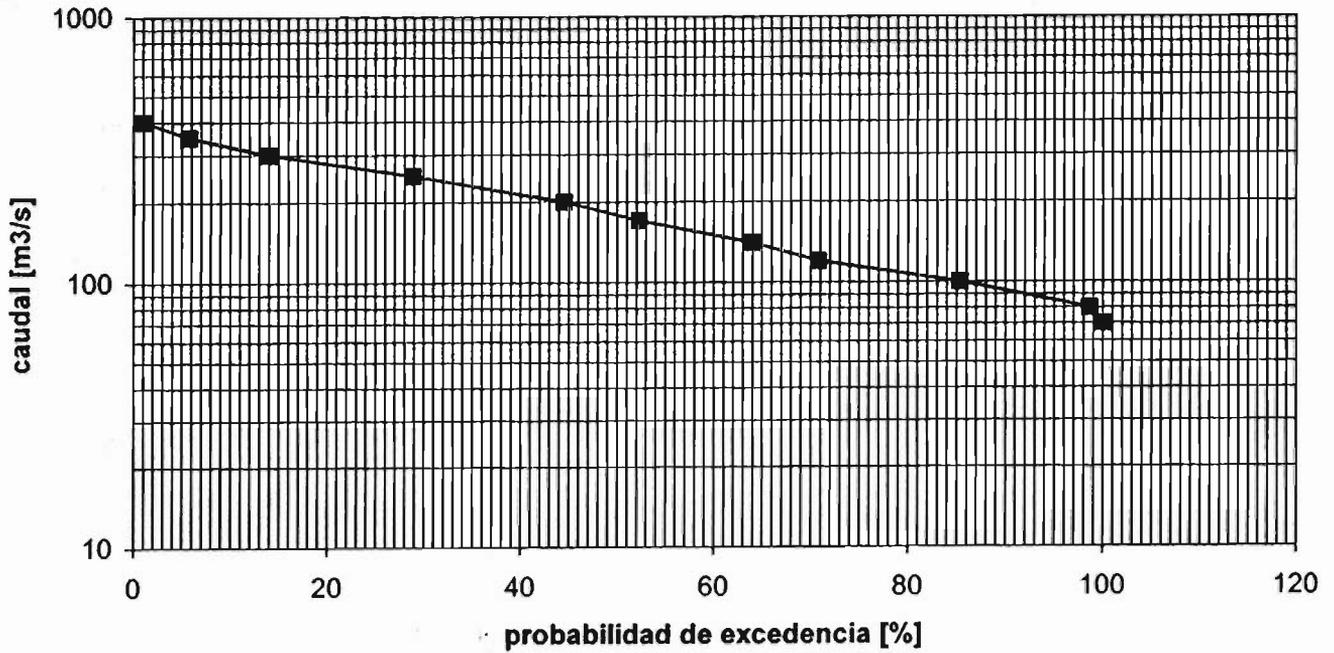
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. PURÉN EN
TRANAMAN - IX REGIÓN**



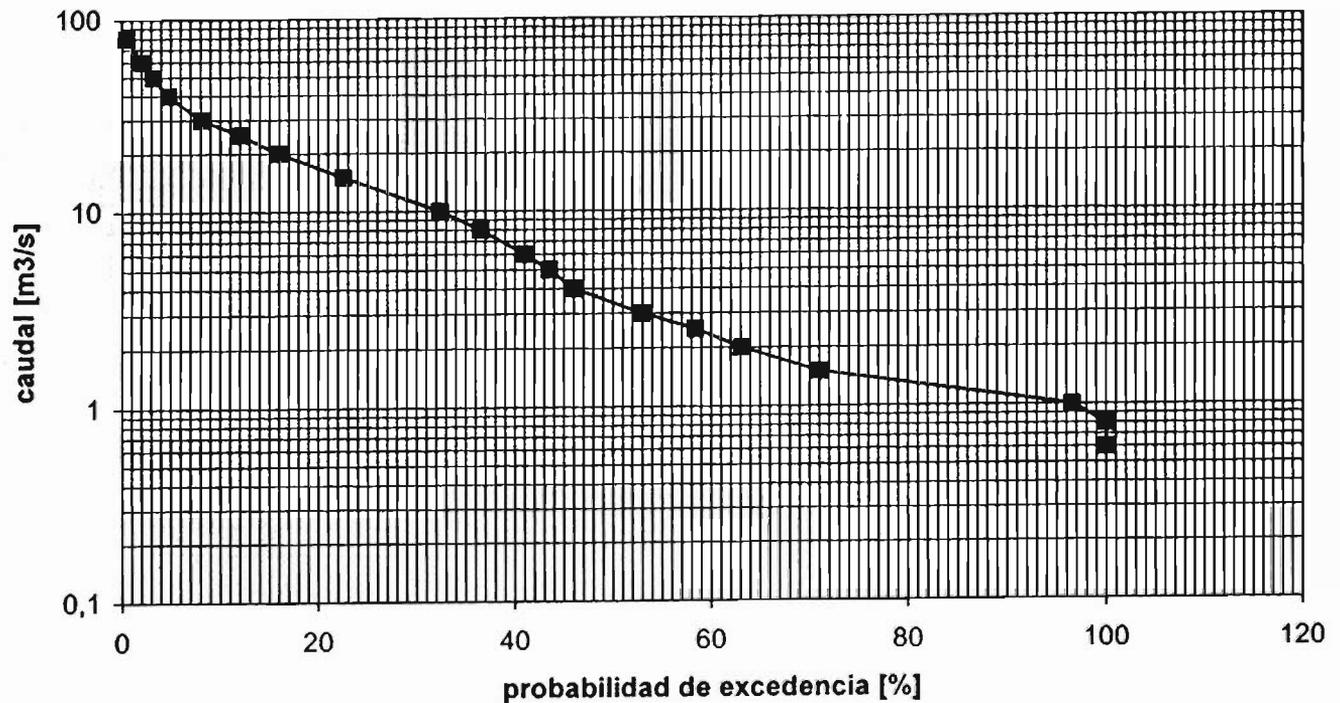
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. ALLIPÉN EN LOS
LAURELES - IX REGIÓN**



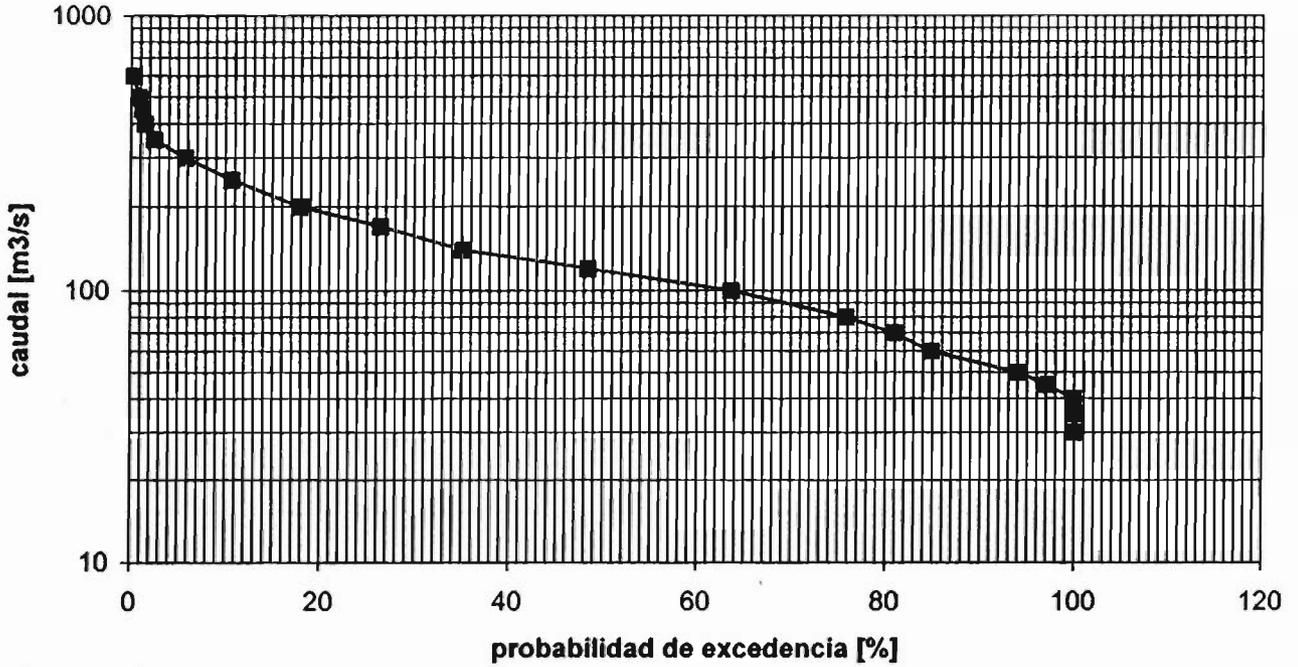
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. TOLTÉN EN
VILLARRICA - IX REGIÓN**



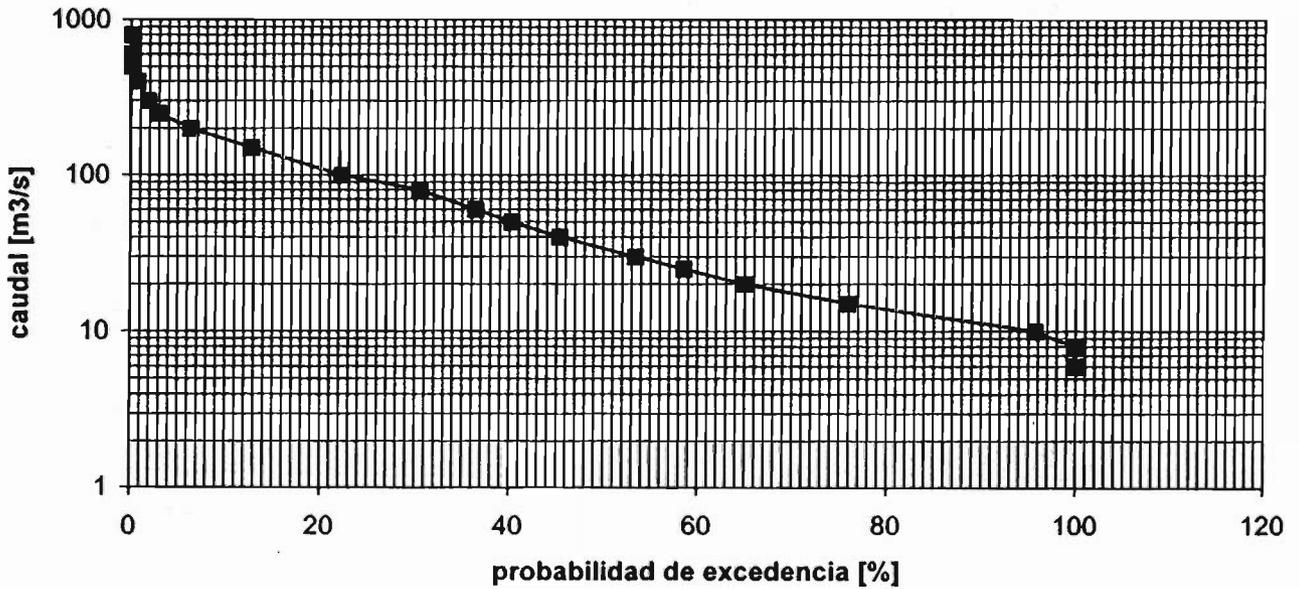
**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. QUINO EN
PANAMERICANA - IX REGIÓN**



**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL PILMAIQUÉN EN SAN
PABLO - X REGIÓN**

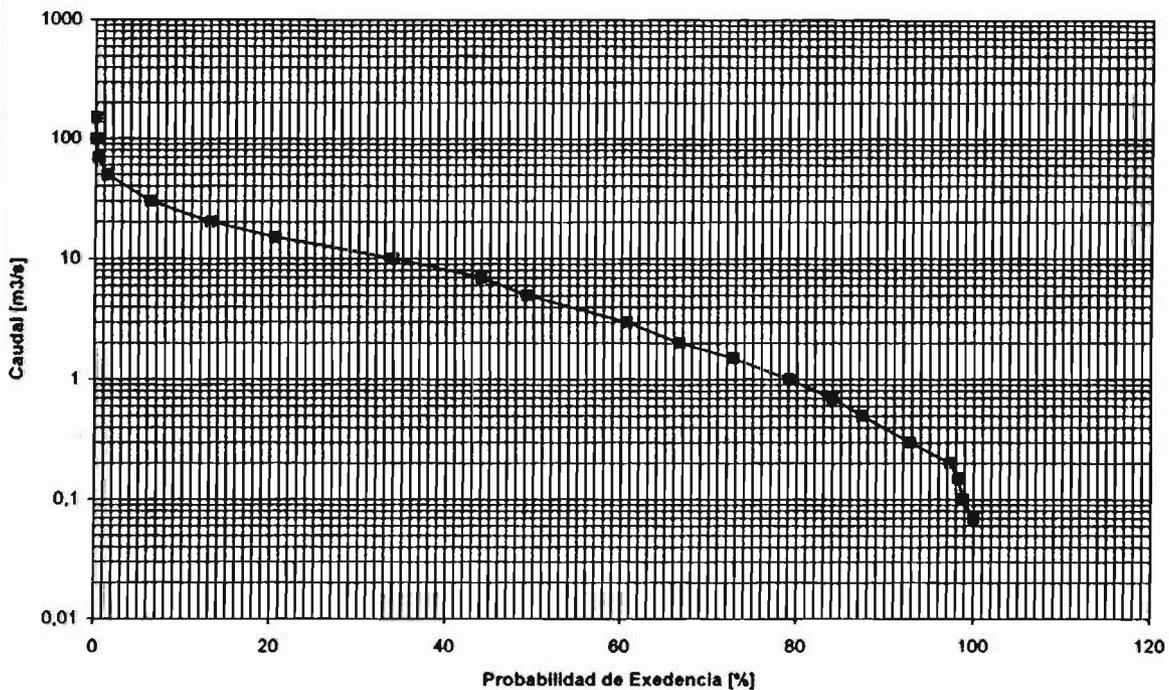


**CURVA DE DURACIÓN EN AÑOS CON CAUDAL MEDIO ANUAL
CORRESPONDIENTES AL PRIMER CUARTIL. CRUCES EN
RUCACO - X REGIÓN**

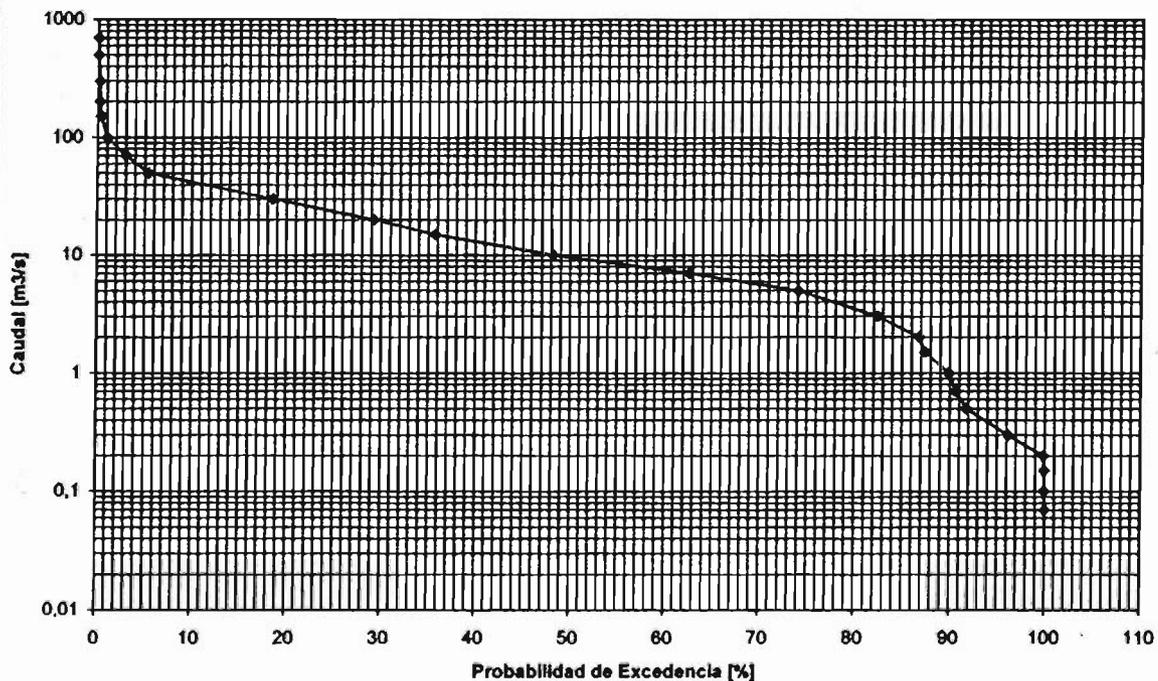


ANEXO H
CURVAS DE DURACIÓN

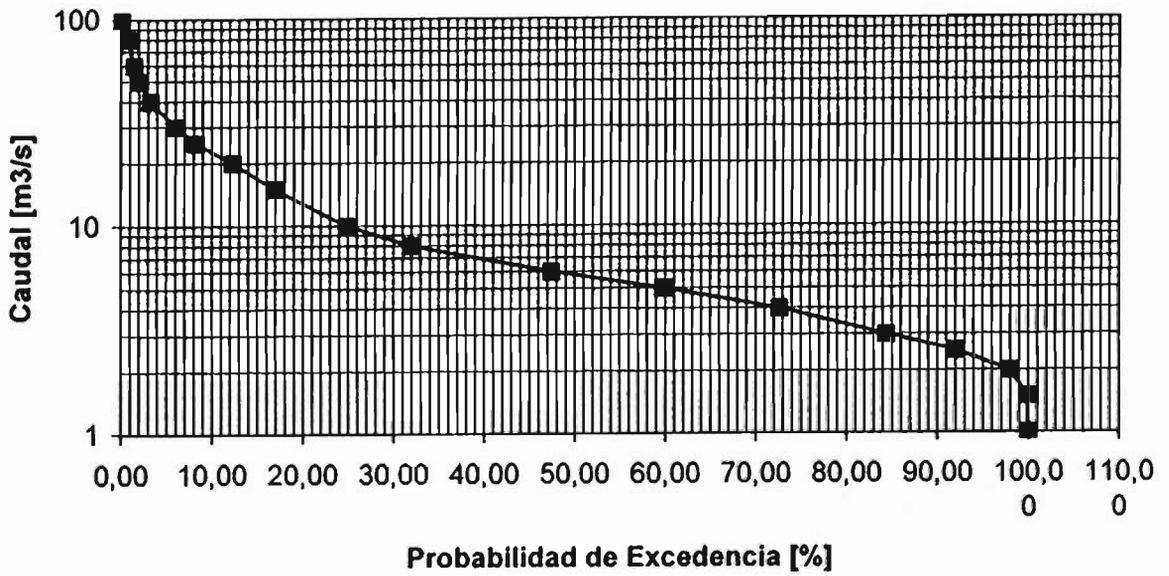
**CURVA DE DURACIÓN
CHOAPA EN PUENTE NEGRO - IV REGION**



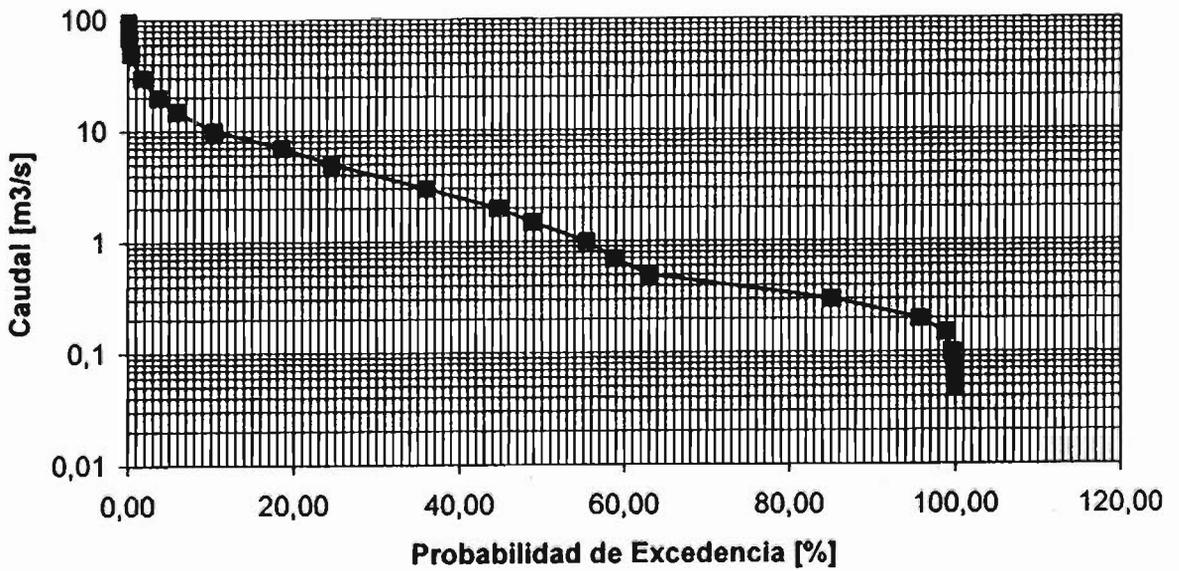
**CURVA DE DURACIÓN
CHOAPA AGUAS ARRIBA ESTERO CANELA - IV REGION**



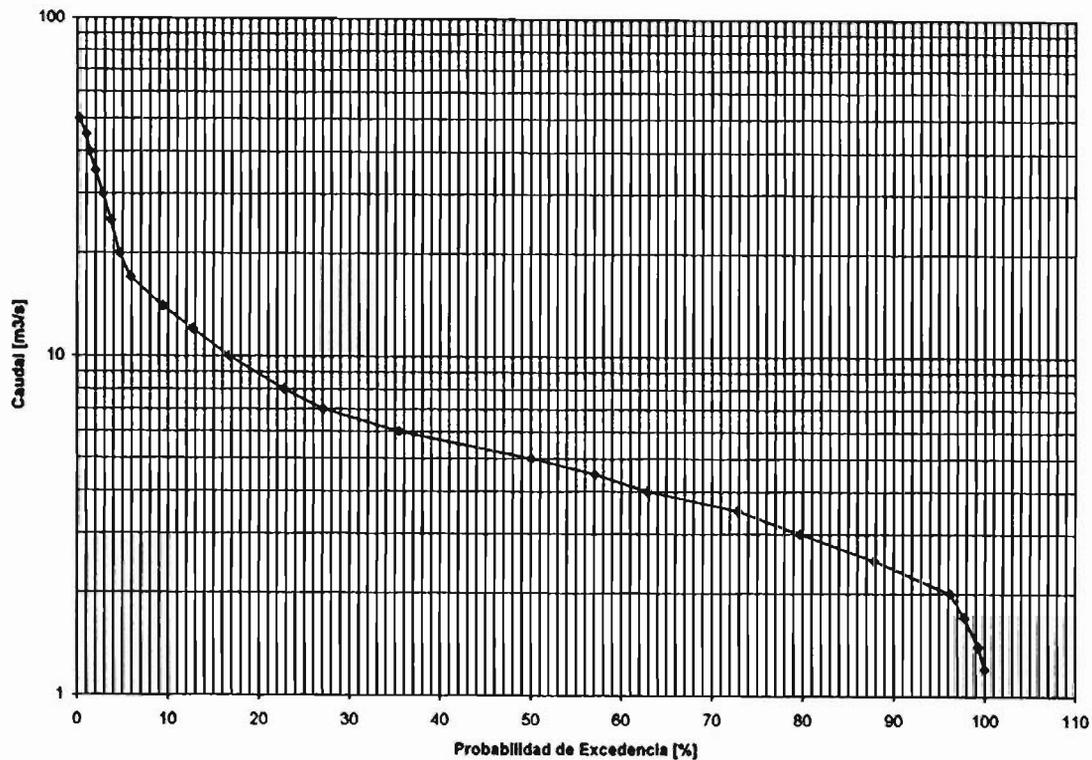
CURVA DE DURACIÓN CHOAPA EN CUNCUMEN - IV REGION



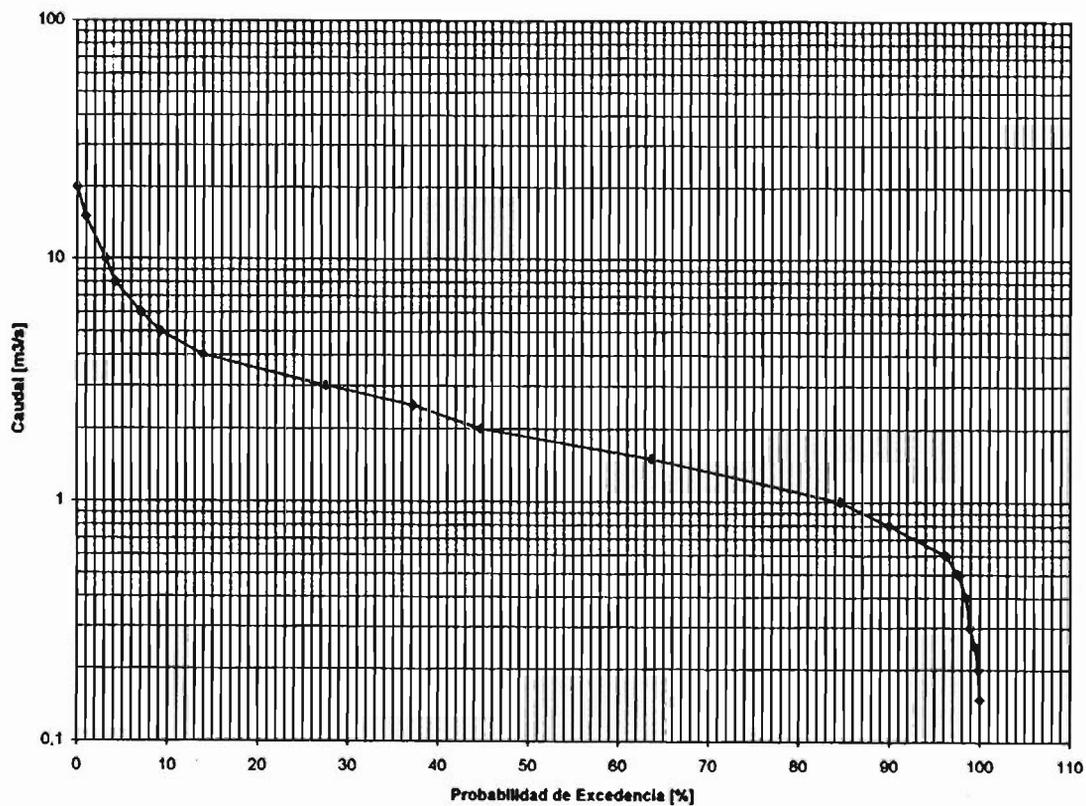
CURVA DE DURACIÓN CHOAPA EN SALAMANCA - IV REGION



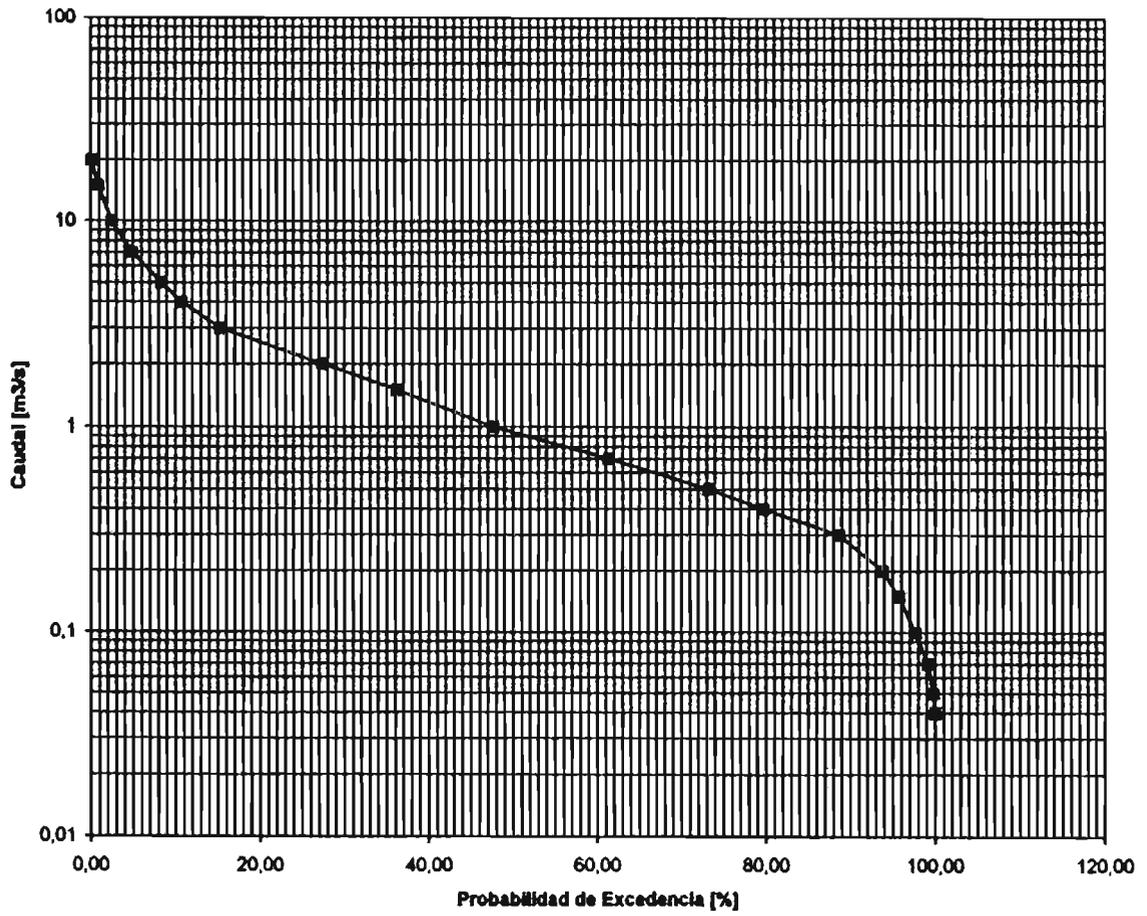
**CURVA DE DURACIÓN
TURBIO EN VARILLAR - IV REGIÓN**



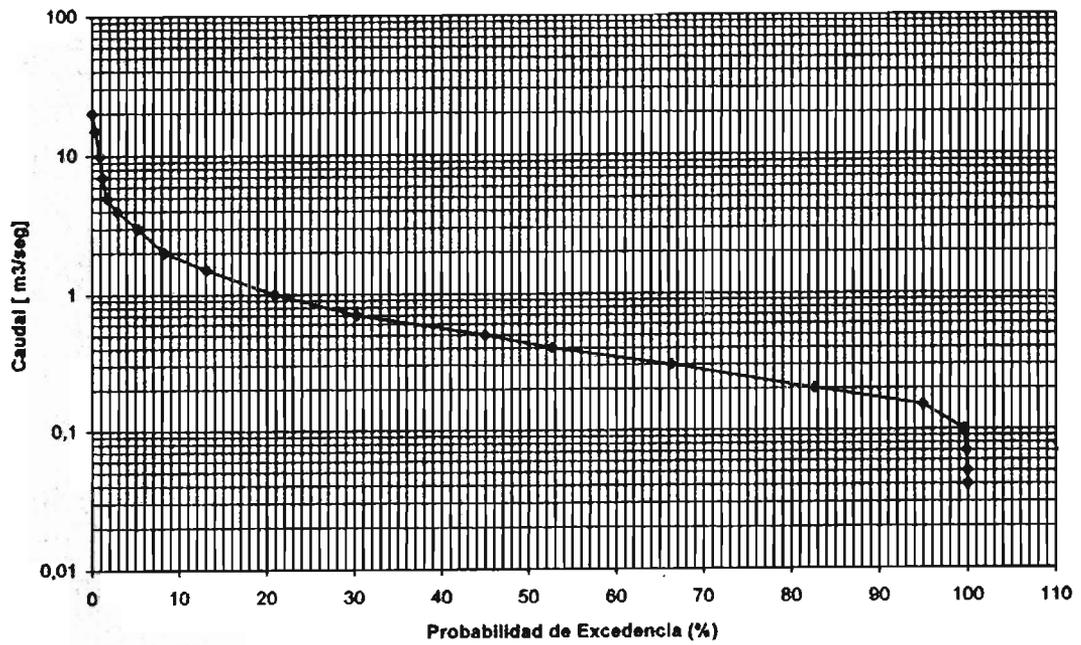
**CURVA DE DURACION
RIO GRANDE EN LAS RAMADAS - IV REGION**



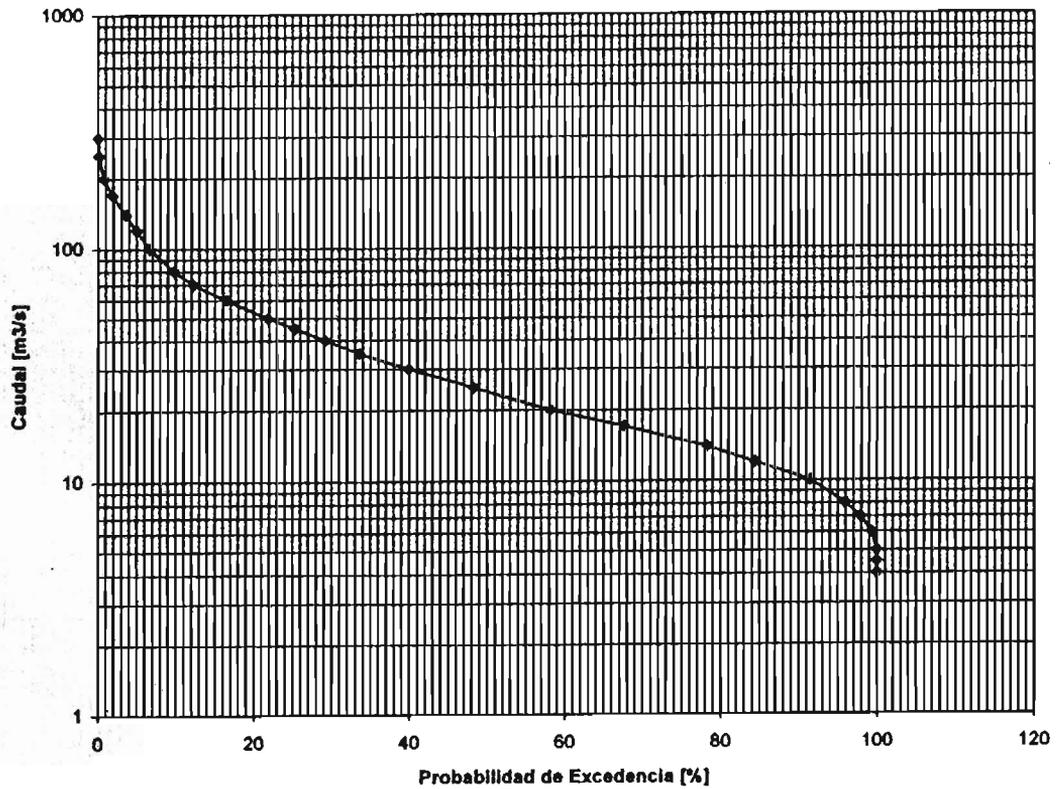
**CURVA DE DURACIÓN
ILLAPEL EN HUINTIL - IV REGION**



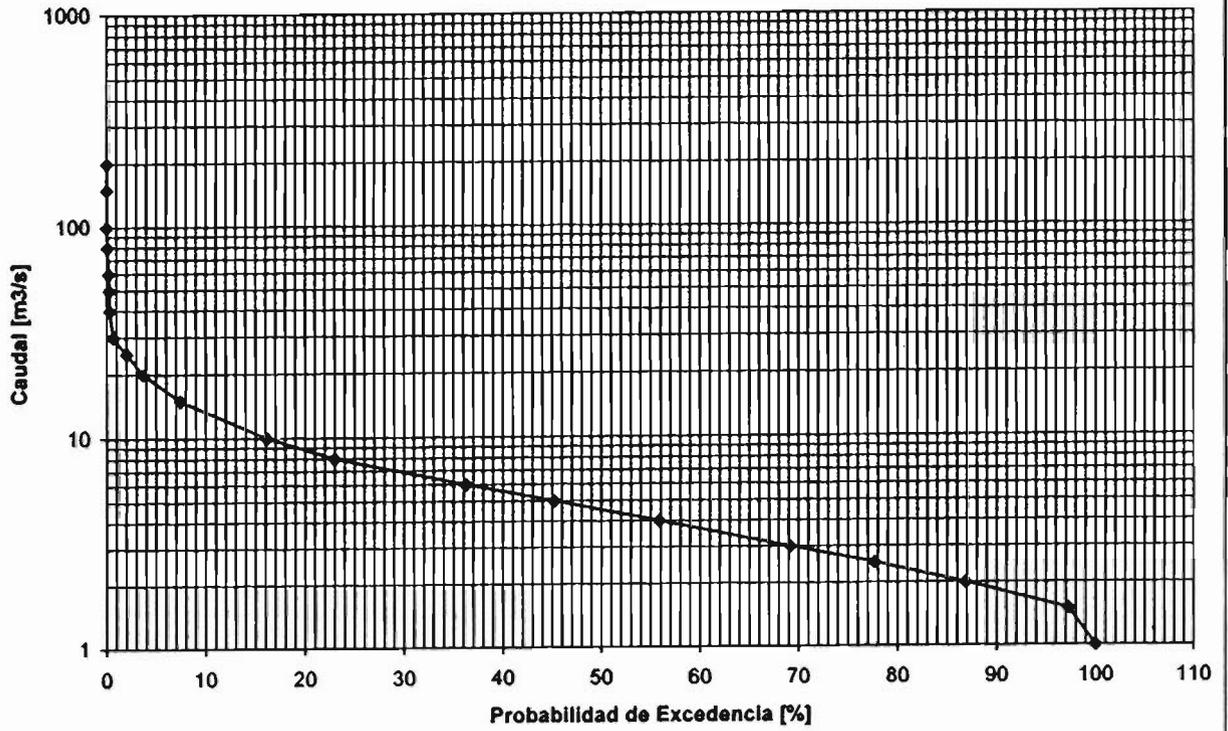
**CURVA DE DURACION
ALICAHUE EN COLLIGUAY - V REGION**



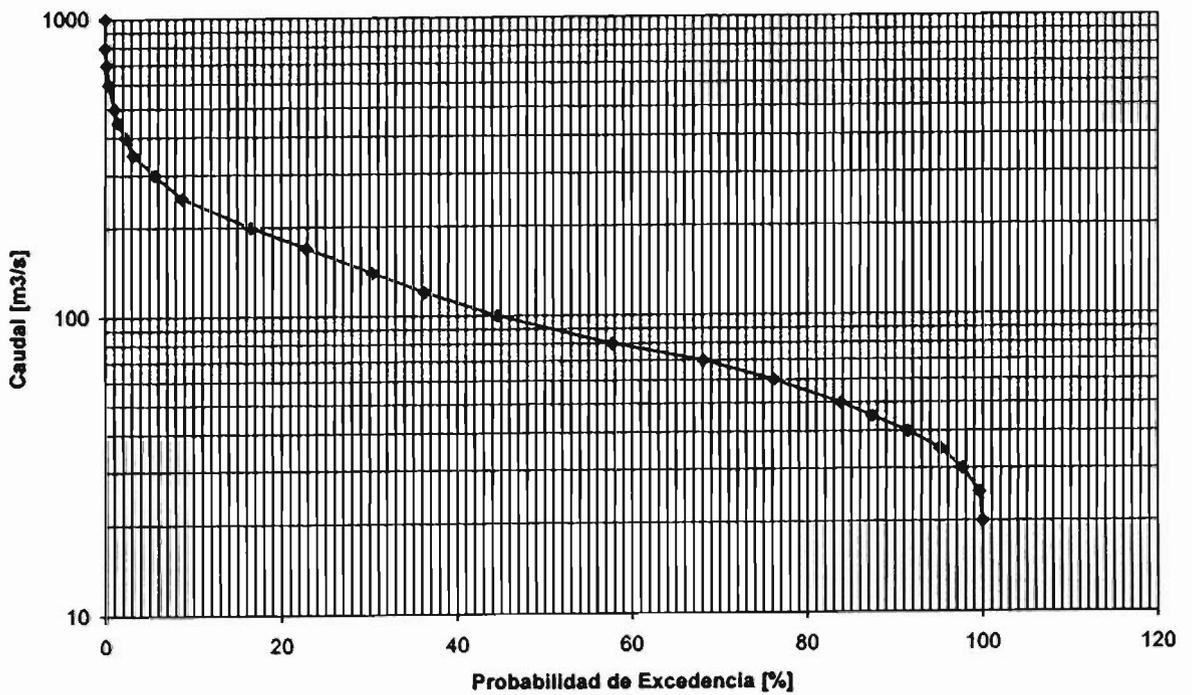
**CURVA DE DURACION
ACONCAGUA EN CHACABUQUITO - V REGION**



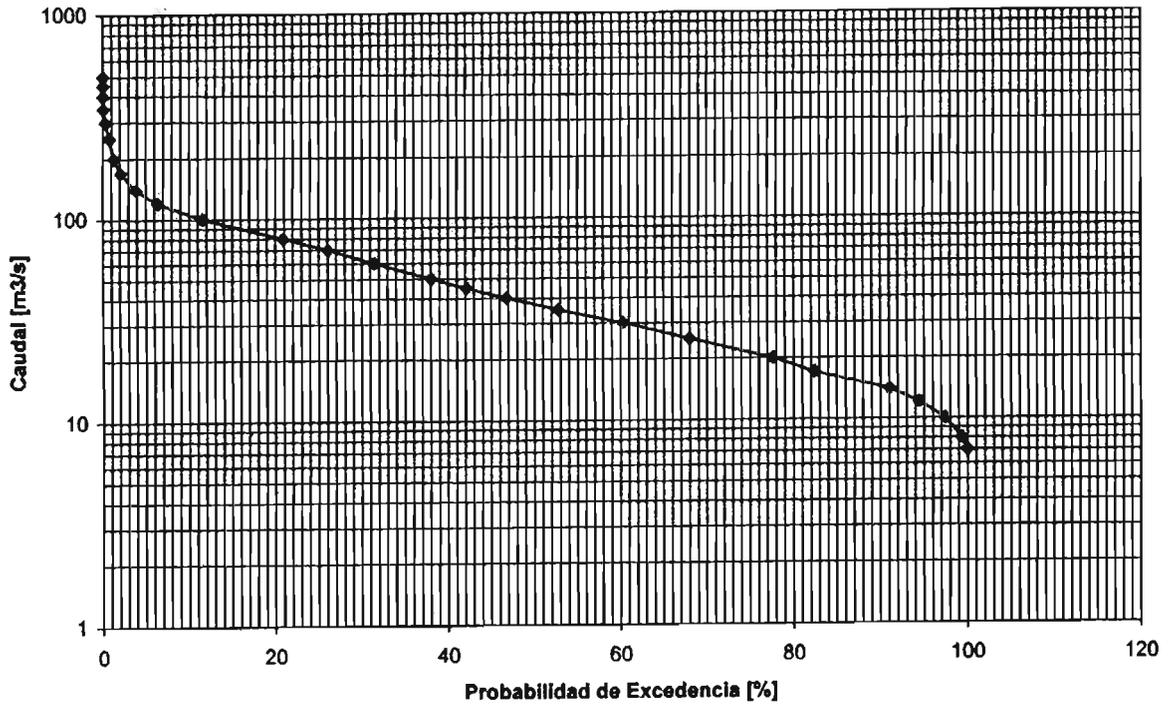
**CURVA DE DURACIÓN
MAPOCHO EN LOS ALMENDROS - REGION METROPOLITANA**



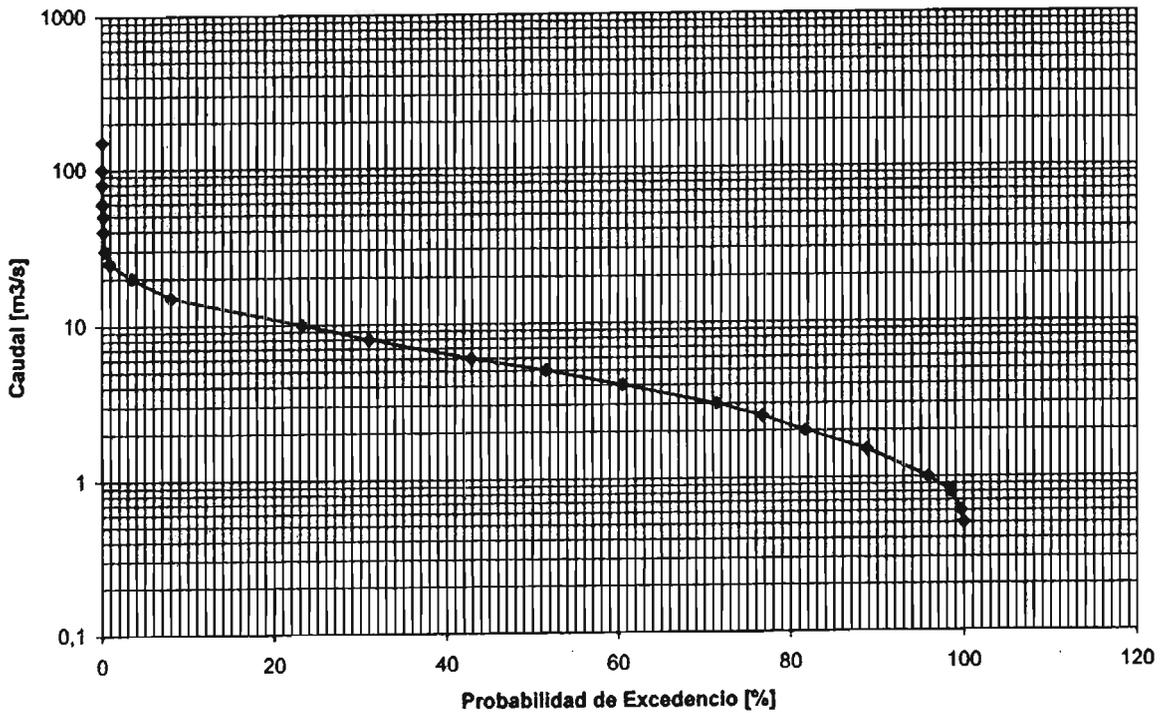
**CURVA DE DURACION
RÍO MAIPO EN EL MANZANO - REGION METROPOLITANA**



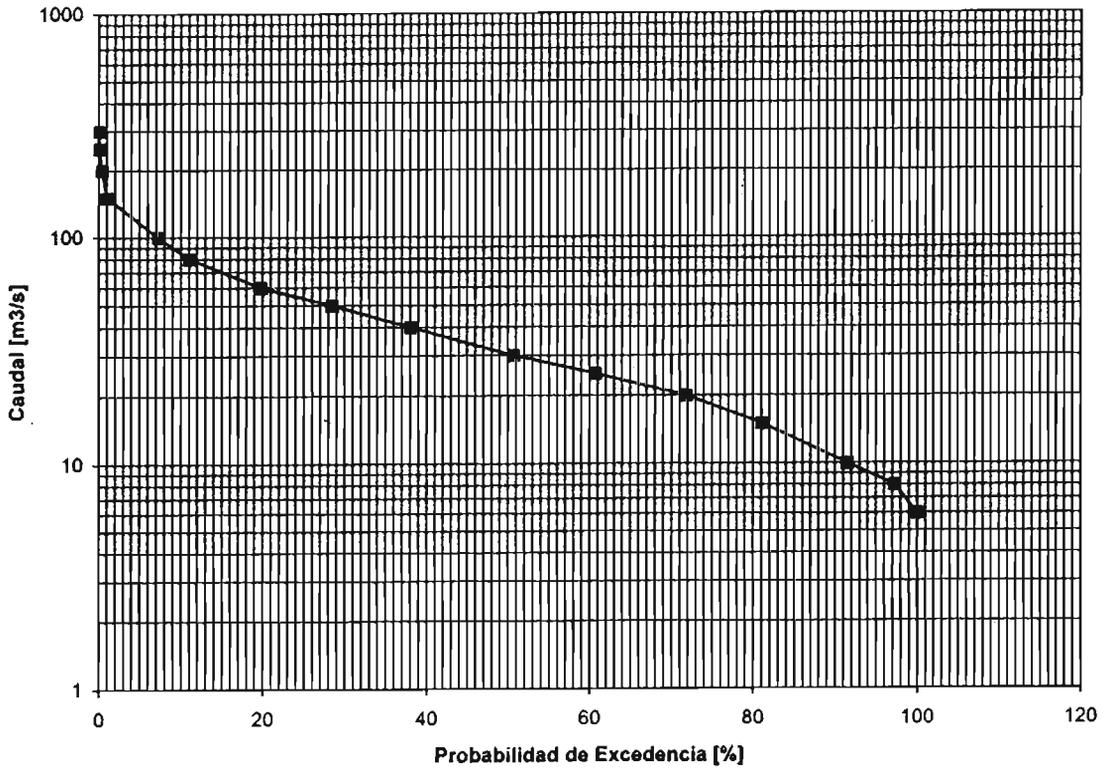
**CURVA DE DURACION
TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES - VI REGION**



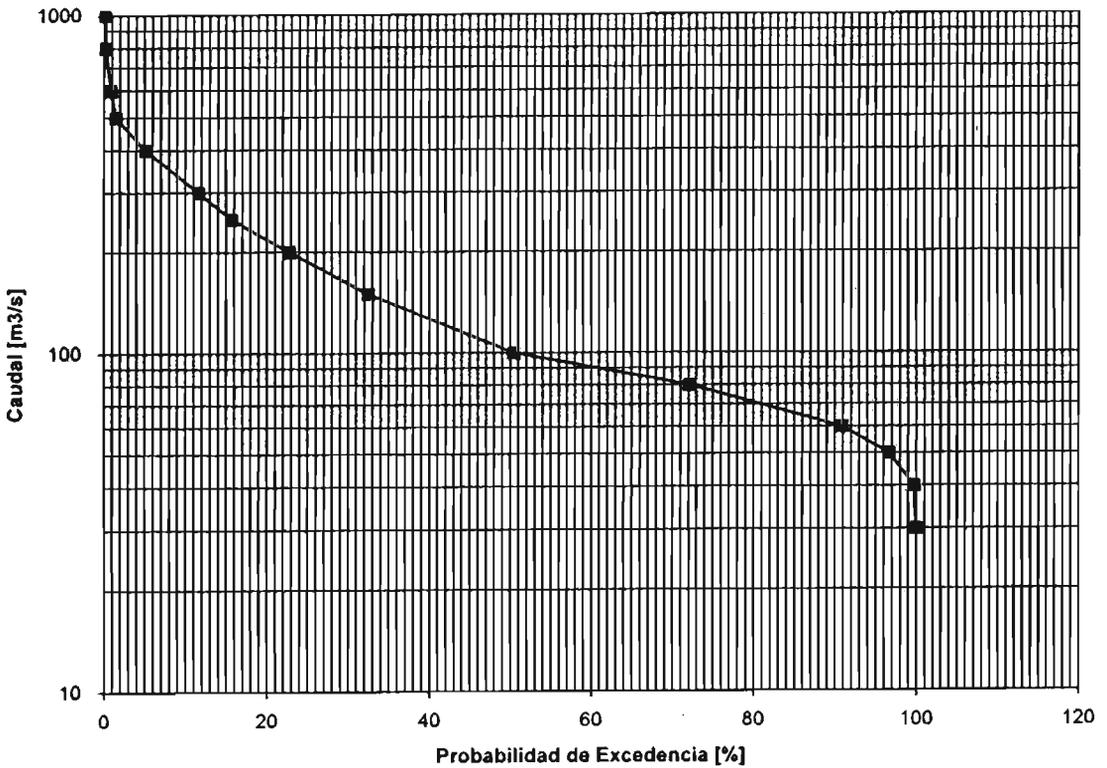
**CURVA DE DURACION
CLARO EN HACIENDA LAS NIEVES - VI REGION**



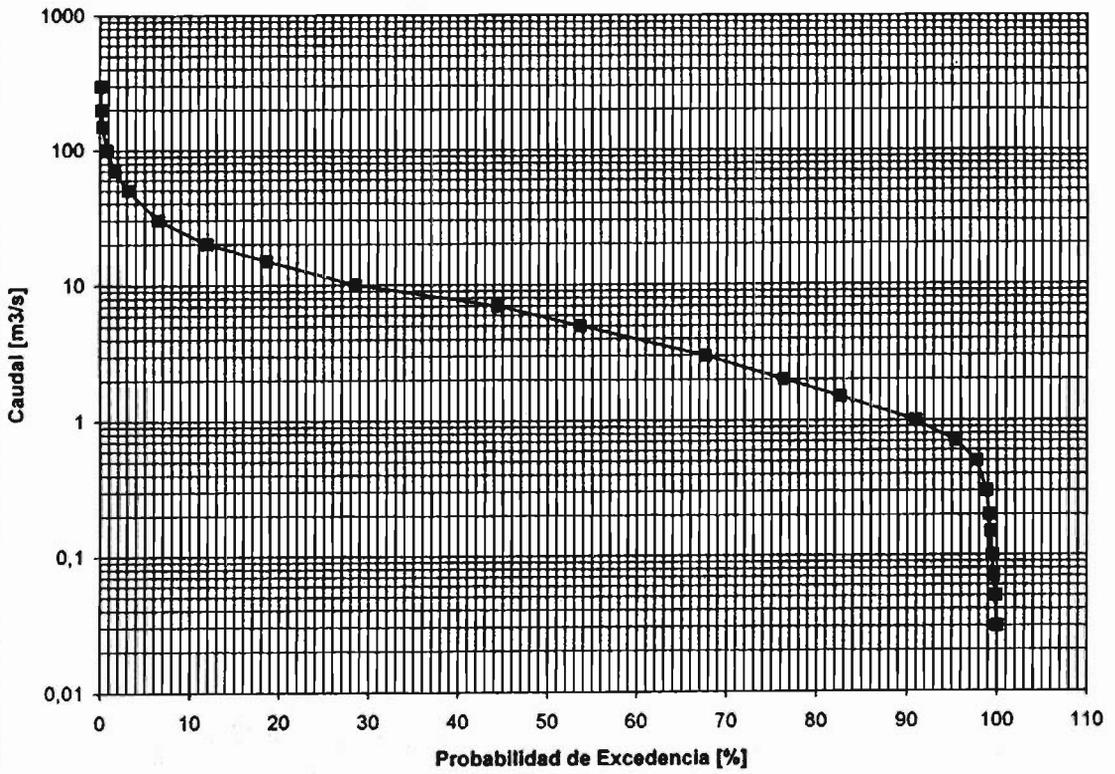
**CURVA DE DURACIÓN
TENÓ EN LOS QUEÑES - VII REGION**



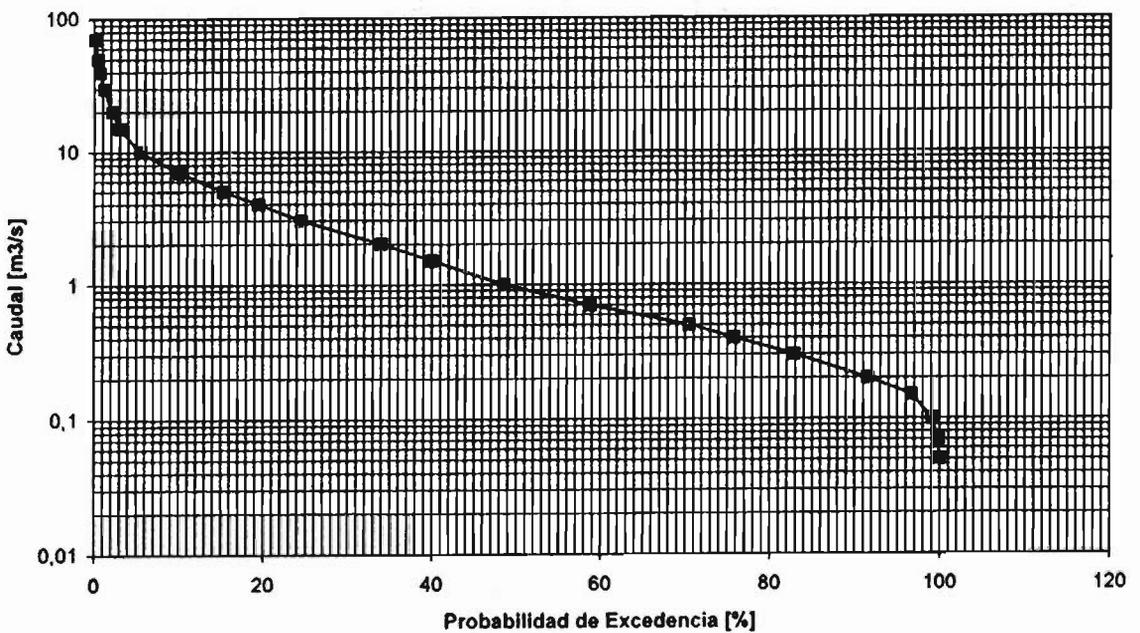
**CURVA DE DURACIÓN
MAULE EN ARMERILLO - VII REGION**



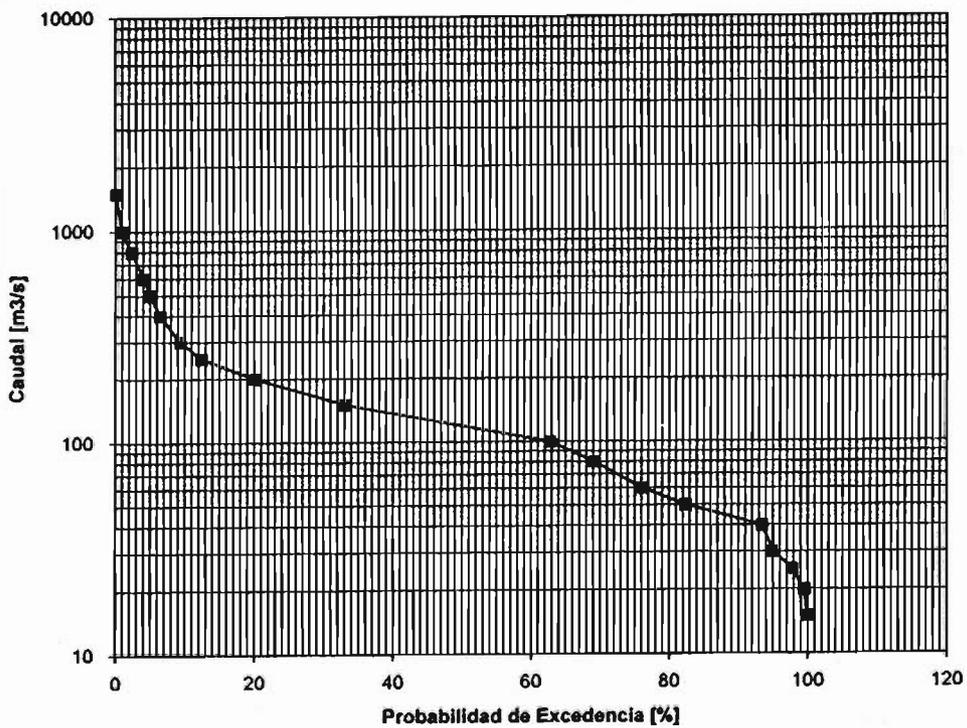
**CURVA DE DURACIÓN
RÍO LIRCAY EN PUENTE LAS RASTRAS - VII REGIÓN**



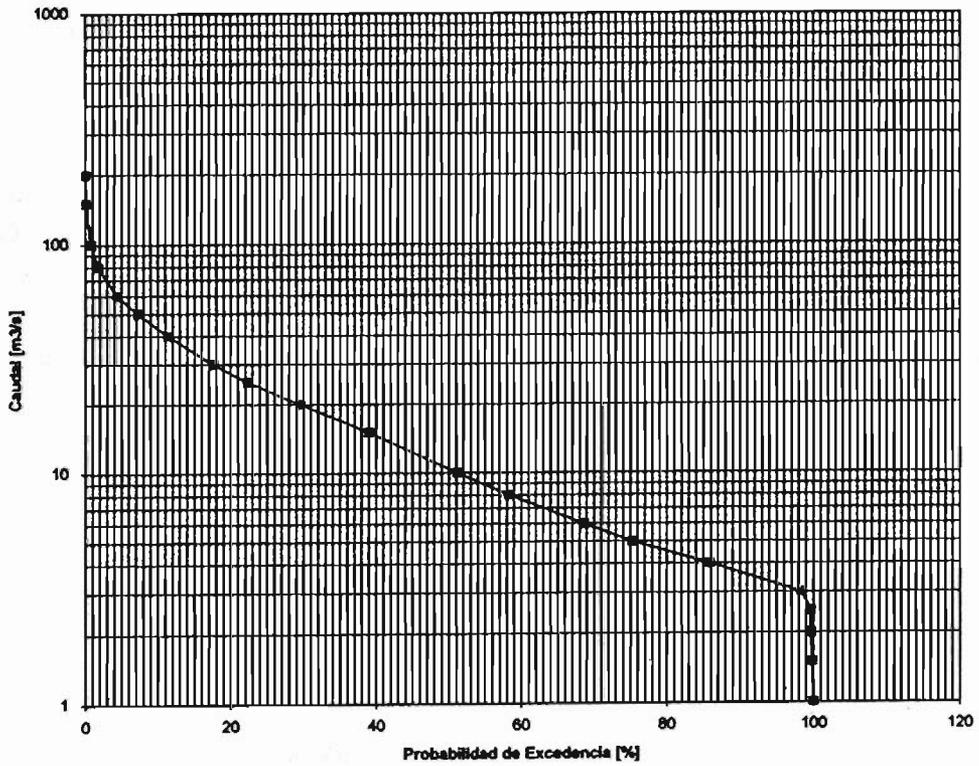
**CURVA DE DURACIÓN
PURAPEL EN NIRIVILO - VII REGION**



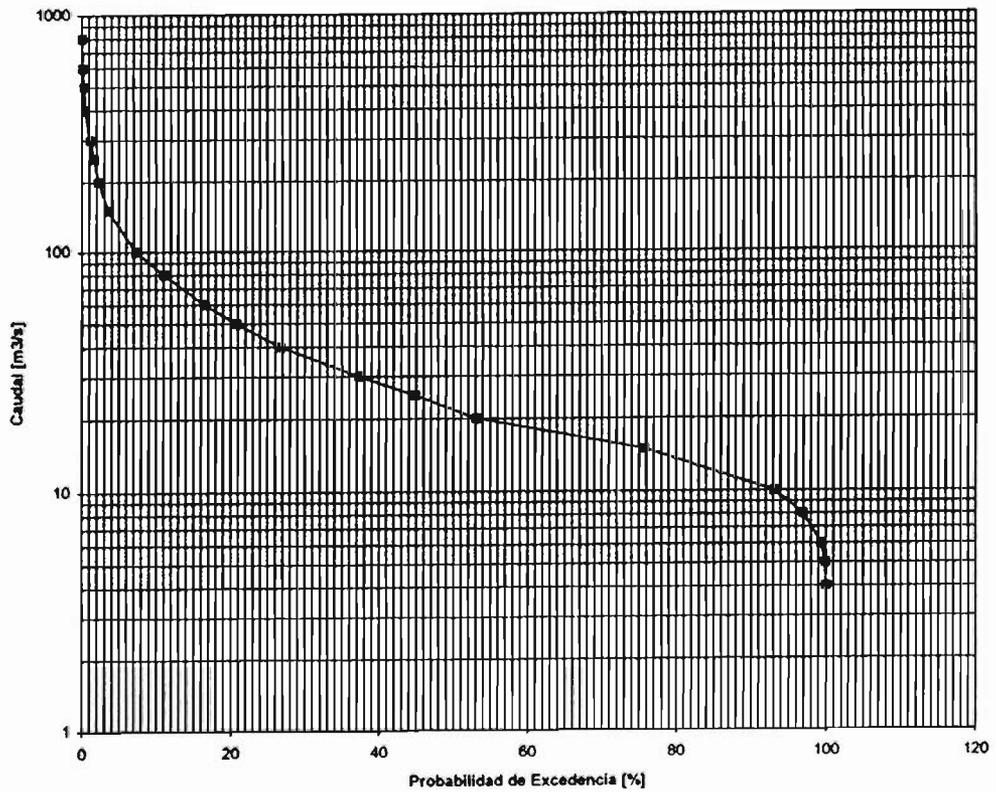
CURVA DE DURACIÓN MATAQUITO EN LICANTÉN - VII REGION



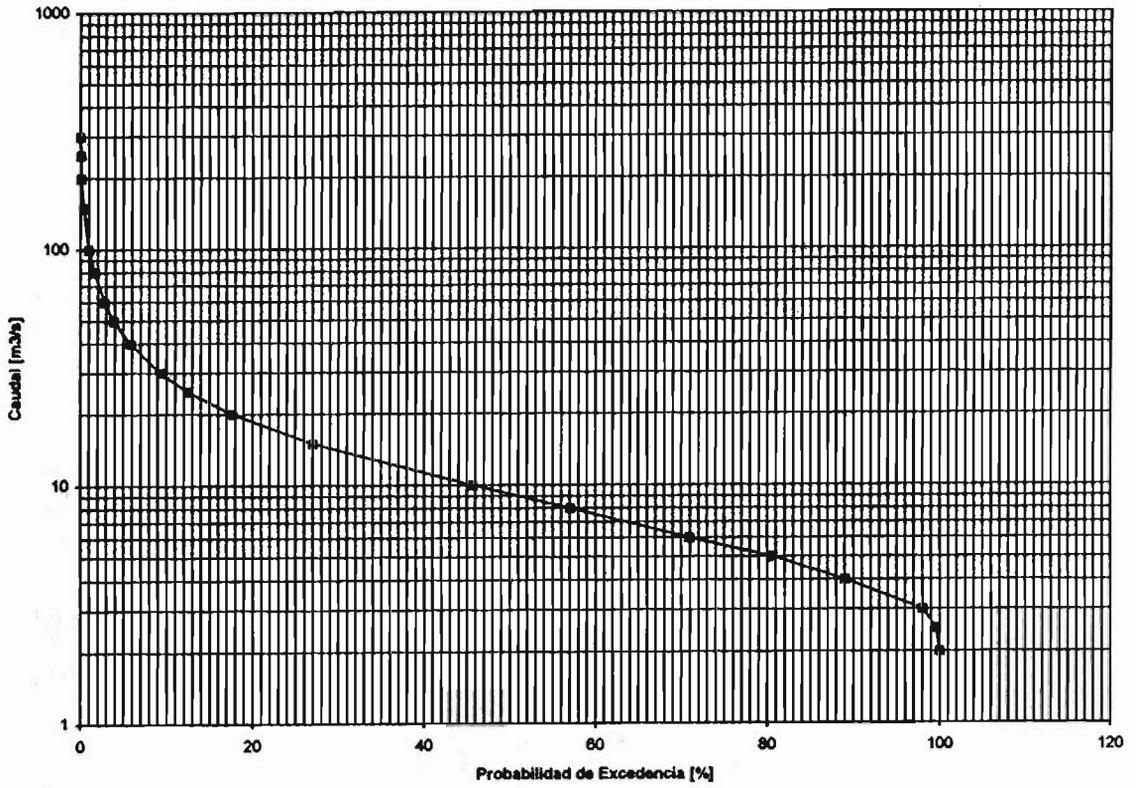
**CURVA DE DURACIÓN
MULCHÉN EN MULCHÉN - VII REGION**



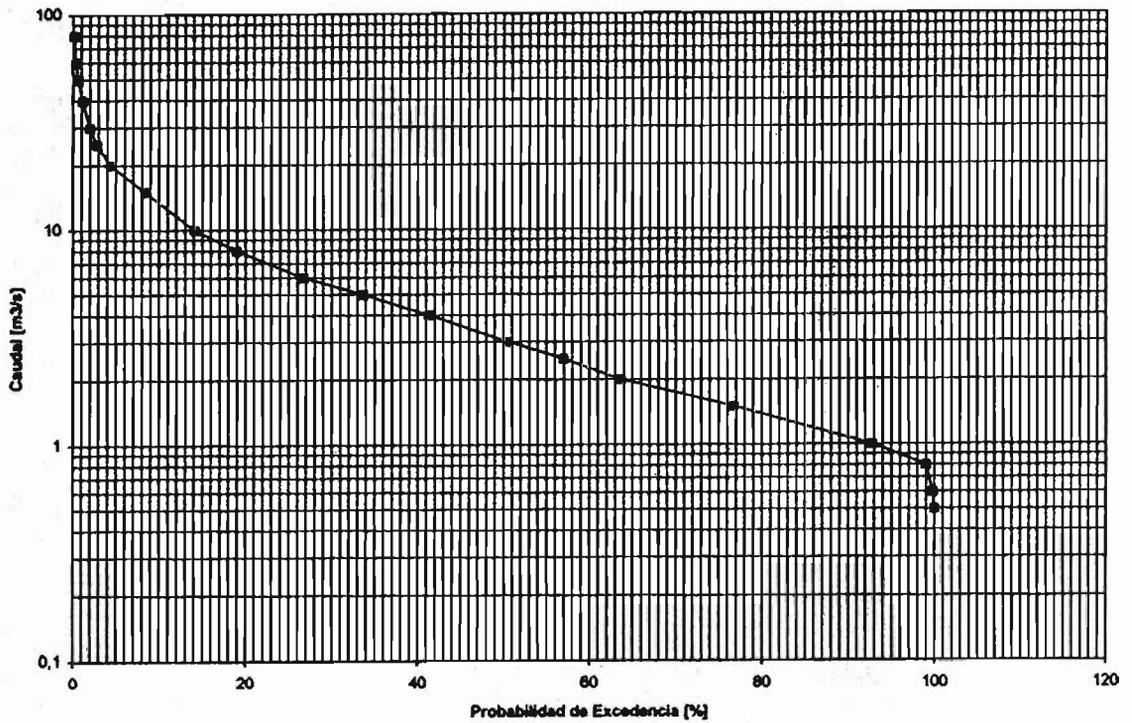
**CURVA DE DURACIÓN
ITATA EN CHOLGUÁN - VIII REGION**



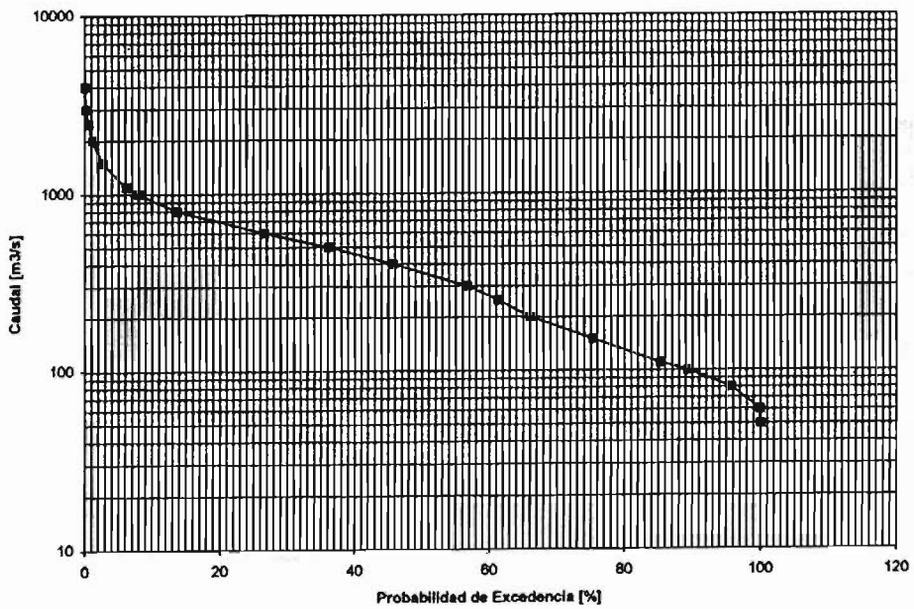
**CURVA DE DURACIÓN
CHILLÁN EN ESPERANZA - VIII REGION**



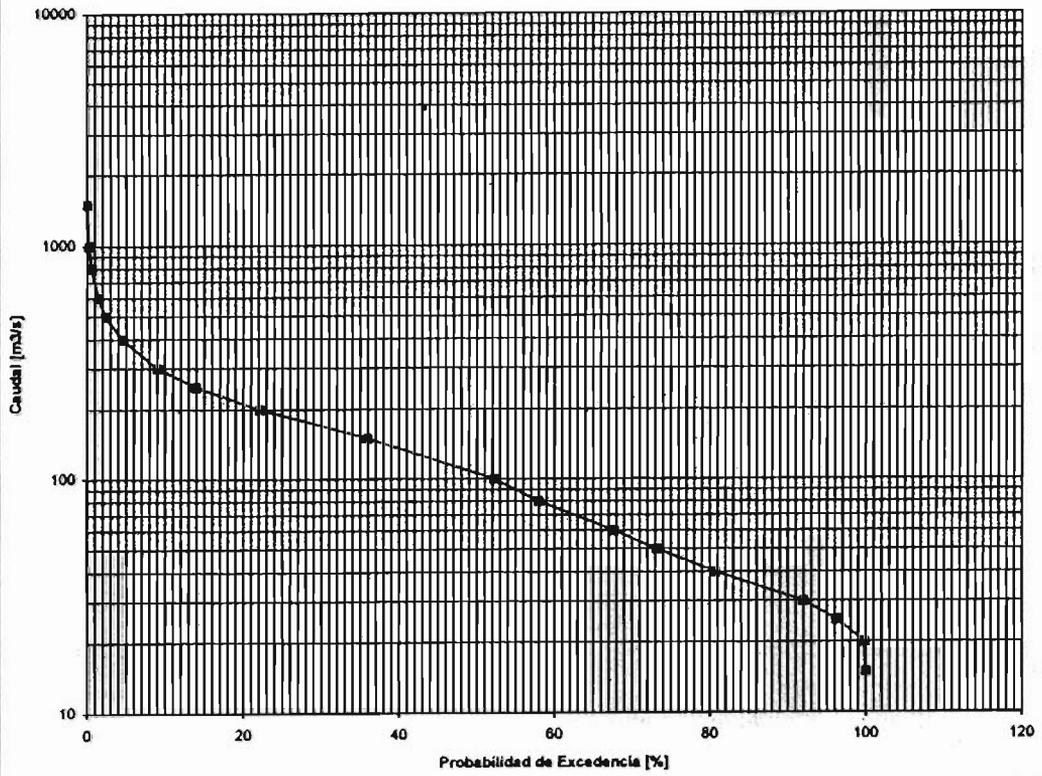
**CURVA DE DURACIÓN
CARAMAVIDA EN CARAMAVIDA - VIII REGION**



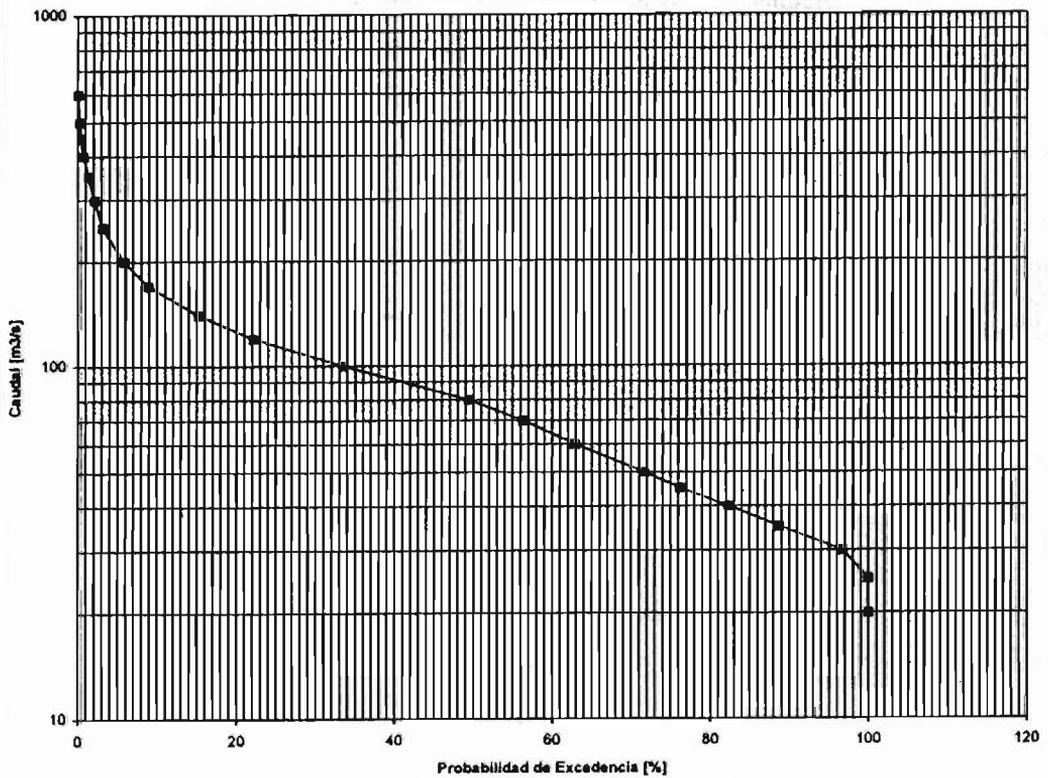
CURVA DE DURACIÓN
BÍO-BÍO EN RUCALHUE - VIII REGION



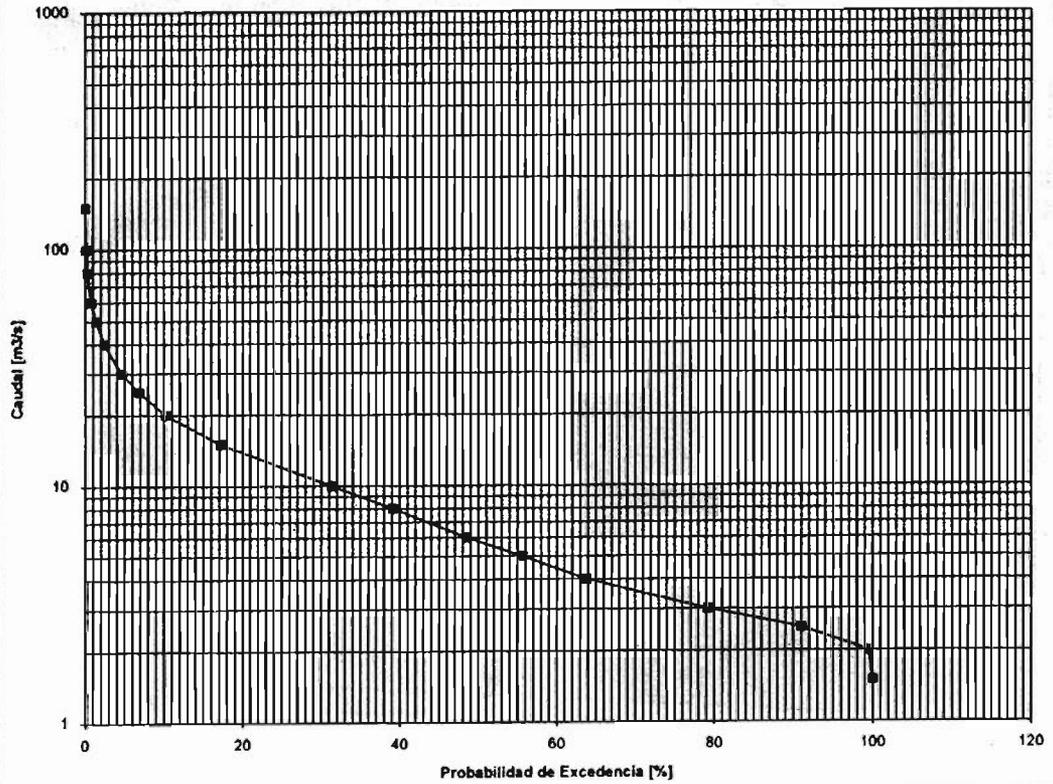
CURVA DE DURACIÓN
CAUTÍN EN CAJÓN - IX REGION



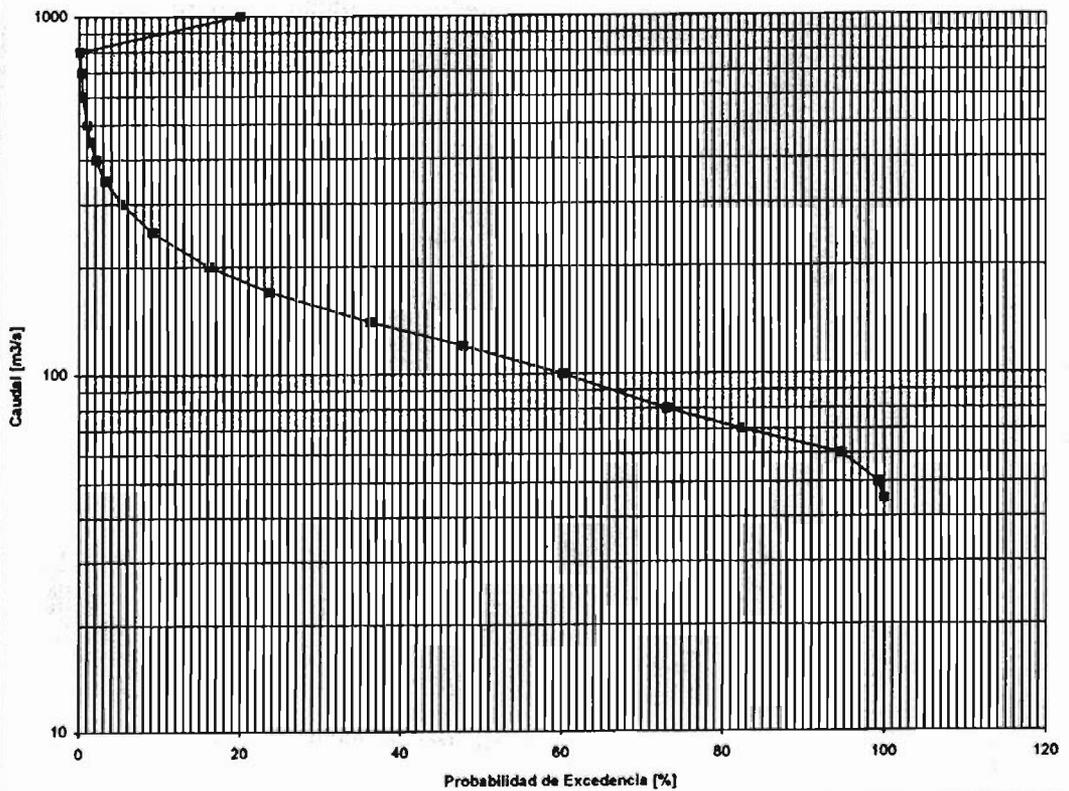
CURVA DE DURACIÓN
CAUTÍN EN RARI-RUCA - IX REGION



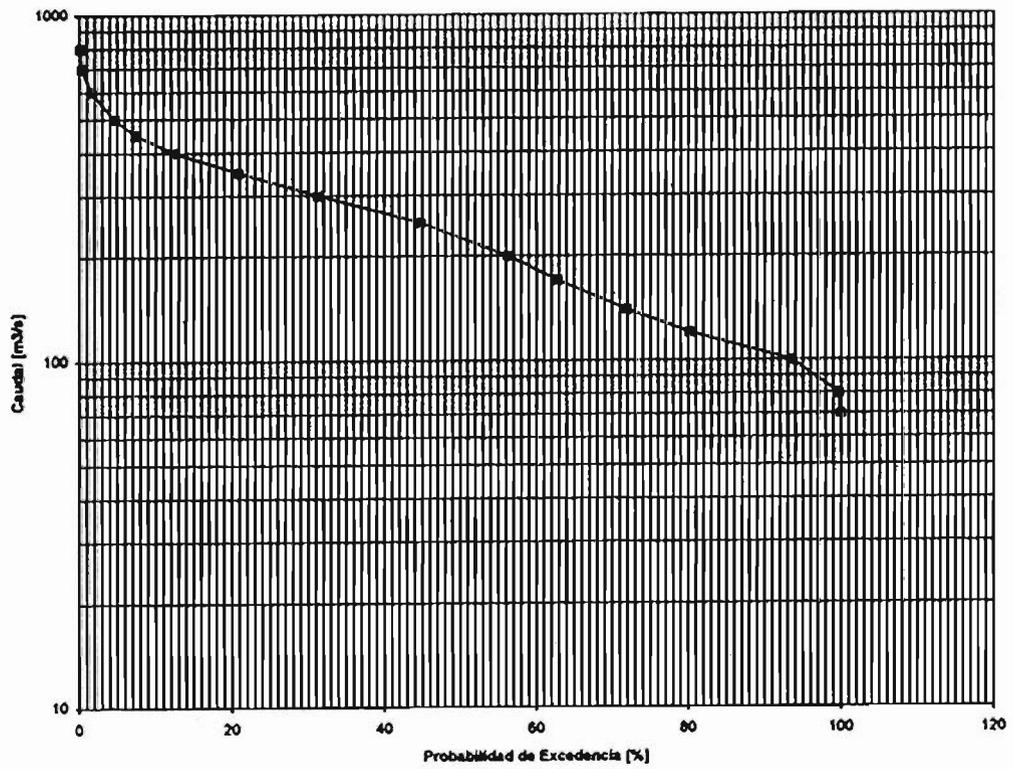
**CURVA DE DURACIÓN
PURÉN EN TRANAMAN - IX REGION**



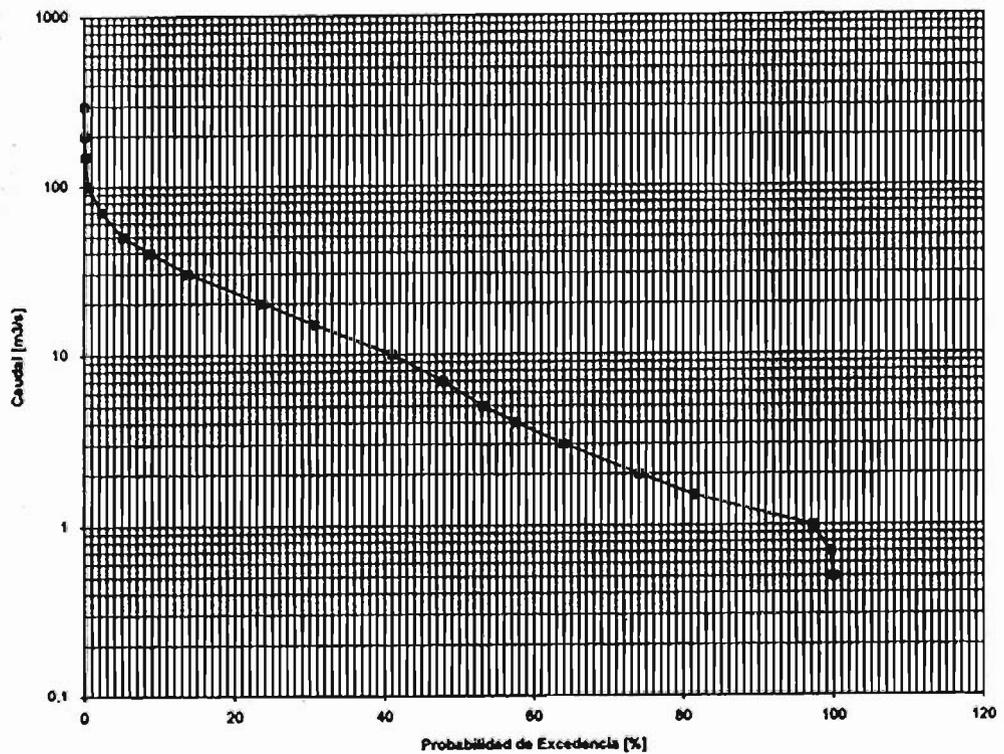
**CURVA DE DURACIÓN
ALLIPÉN EN LOS LAURELES - IX REGION**



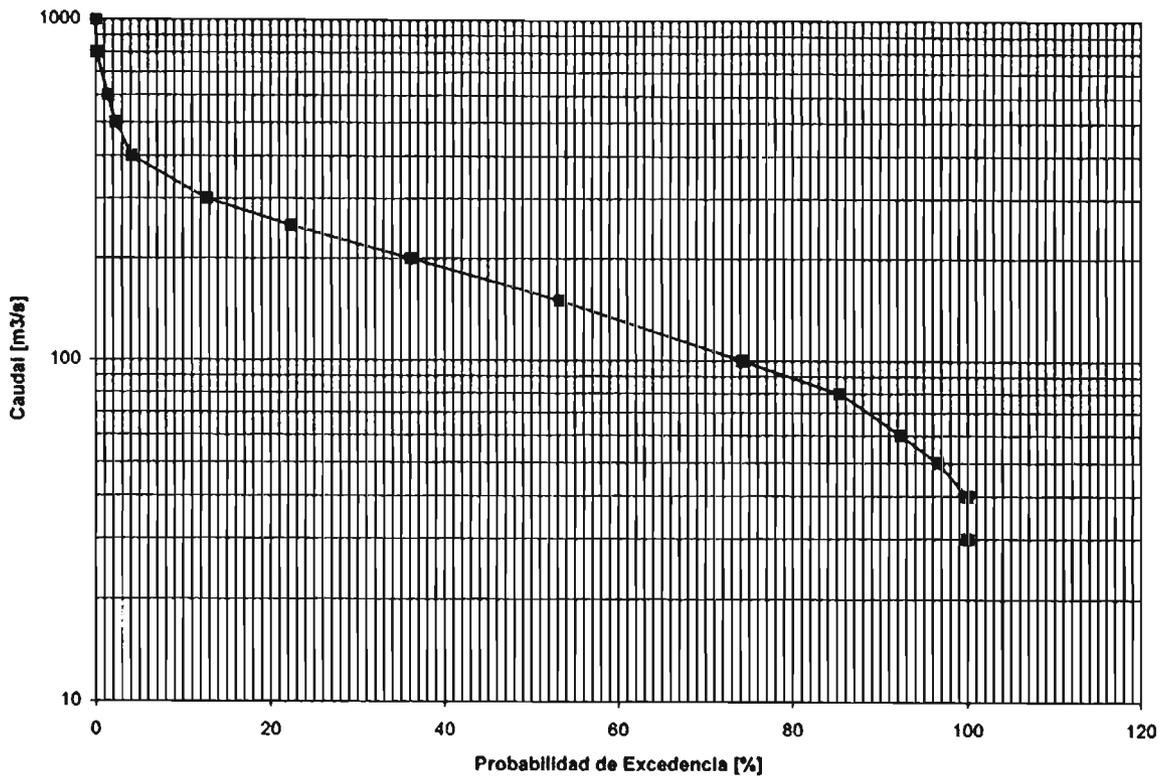
CURVA DE DURACIÓN
TOLTÉN EN VILLARRICA - IX REGION



CURVA DE DURACIÓN
QUINO EN PANAMERICANA - IX REGION



**CURVA DE DURACIÓN
PILMAIQUÉN EN SAN PABLO - X REGION**



**CURVA DE DURACIÓN
CRUCES EN RUCACO - X REGION**

