

**UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOGRAFICA**

**OPTIMIZACIÓN TECNICO-ECONOMICO DE LA RED  
FLUVIOMETRICA DE LA TERCERA REGIÓN DE ATACAMA**

*“TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS  
REQUISITOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN  
GEOGRAFÍA.”*

**PROFESOR GUÍA: VICTOR PANTOJA M.**

**RODRIGO F. SALAS LUNA**

**2002**

# ÍNDICE

## Resumen

### **CAPÍTULO I. Generalidades.**

1.1. - Introducción.....	1
1.2. - Objetivos.....	2
1.3. - Hipótesis de Trabajo.....	3
1.4. - Metodología.....	4
1.5. - Descripción de la Dirección General de Aguas.....	6

### **CAPÍTULO II. Propuesta Metodológica de Análisis.**

2.1. - Metodología Utilizada para el Estudio Hidrológico.....	11
2.2. - Descripción y Análisis de la Red Actual.....	13
2.3. - Proposición de la Red Fluviométrica de la Región.....	13
2.3.1. -Criterios Hidrológicos Para La Instalación De Una Estación.....	14

### **CAPÍTULO III. Caracterización de la Región.**

3.1. - La Región en el Espacio Político.....	17
3.2. - La Región en el Espacio Natural.....	20
3.3. - Sistema de Cuencas Endorreicas.....	25
3.4. - Sistema de la Cuenca del Salado.....	33
3.5. - Sistema de la Cuenca del Copiapó.....	40
3.6. - Sistema Quebradas Interfluvio.....	45
3.7. - Sistema de la Cuenca del Huasco.....	47
3.8. - Sistema Interfluvio Arido Sur.....	51
3.9. - Balance del Recurso Hídrico y Demanda.....	52

que existe en la Tercera Región.

#### **CAPÍTULO IV. Análisis Hidrológicos de las Cuencas de la Tercera Región.**

4.1. - Estimación de caudales Máximos en Periodo Pluvial.....	58
4.2. - Parámetros Morfométricos de las Cuencas.....	59
4.3. - Estimación de Caudales Instantáneos Máximos.....	65
4.3.1. -Método DGA-AC para crecidas.....	65
4.3.2. -Método de Verni y King Modificado.....	70
4.3.4. -Método Fórmula Racional.....	74
4.4. - Resultados del Estudio realizado mediante los métodos de.....	77
Estimación de Caudales Instantáneos Máximos	
4.5. - Análisis Hidrológicos de la Tercera Región.....	83
4.5.1. -Cuenca del Río Copiapó.....	84
4.5.2. -Cuenca del Río Huasco.....	88

#### **CAPÍTULO V. Descripción de la Red Fluviométrica Actual.**

5.1. - Estaciones Fluviométricas de la Región.....	94
5.2.1. -Estaciones de la Cuencas Endorreicas.....	95
5.2.2. -Estaciones de la Hoya del Río Copiapó.....	100
5.2.3. -Estaciones de la Hoya del Río Huasco.....	106

#### **CAPÍTULO VI. Análisis Crítico de la Red Actual.**

6.1. - Análisis de la Red Fluviométrica de la Cuenca del Copiapó.....	116
6.2. - Análisis de la Red Fluviométrica de la Cuenca del Huasco.....	118
6.3. - Análisis de la Red Fluviométrica de las Cuencas Endorreicas.....	119
6.4. - Análisis de los Equipos de Medición Actuales.....	121

#### **CAPÍTULO VII. Programa de Modernización del Equipamiento.**

7.1. - Medición Directa de Caudales.....	132
7.2. - Registró continuo de Niveles de Agua.....	133
7.3. - Datos en Tiempo Real.....	136
7.4. - Configuración de las Estaciones en Terreno.....	139
7.5. - Sistema Receptor.....	144
7.6. - Ventajas de la Modernización de Equipos de Medición.....	148

<b>CAPÍTULO VIII. Red Fluviométrica Propuesta para la Tercera Región.</b>	
8.1. - Red Fluviométrica Propuesta para la Tercera Región de Atacama.....	151
8.1.1. -Cuencas ubicadas al norte del Río Copiapó.....	151
8.1.2. -Cuenca del Río Copiapó.....	151
8.1.3. -Cuenca del Río Huasco.....	155
8.1.4. -Cuencas Costeras entre el Río Copiapó y el Río Huasco.....	156
8.1.5. -Cuencas Endorreicas R/Frontera y Vertientes.....	158
8.1.6. -Cuencas ubicadas al Sur del Río Huasco.....	161
8.2. - Recomendaciones para las Estaciones.....	161
8.3. - Utilización de un Modelo Matemático.....	165
8.4. - Problemas de Localización.....	172
8.5. - Modelo de Localización-Asignación de Estaciones.....	179
para la Red Fluviométrica de la Tercera Región de Atacama.	
8.6. - Análisis de los Resultados del Modelo de Localización.....	189
y la Red Propuesta para la Tercera Región de Atacama.	
<b>CAPÍTULO IX. Conclusiones.....</b>	<b>190</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>193</b>
<b>Anexos</b>	
I.1 Tablas de Análisis Hidrológicos Tercera Región.....	195
I.2 Resultados de Modelos para Episodios Críticos.....	206

## RESUMEN

El siguiente estudio es una Optimización de la Red Fluviométrica de la III Región de Atacama, considerando previamente una caracterización hidrológica, Geomorfología y Climática de la región, y considera todas sus cuencas.

A continuación se realiza un estudio hidrológico de la región, el cual establece tres modelos de estimación de caudales máximos instantáneos en épocas de crecidas, para todas las cuencas de la Tercera Región. De acuerdo a este estudio y la demanda existente del recurso hídrico en las distintas cuencas, se identificarán la (s) de mayor aporte a la región para optimizar la Red Fluviométrica.

El siguiente paso considera una descripción de la Red Fluviométrica actual por cuencas y en particular de cada estación. Mediante un análisis estadístico general de actuales estaciones, se identifican los problemas actuales, para una correcta medición futura.

De acuerdo a la Optimización de la Red Fluviométrica Actual, se considera el Programa de Modernización del equipamiento existente como fundamental para cumplir con este objetivo. Se realiza una breve descripción de equipos de última generación, sus costos de implementación y análisis comparativo con respecto a los equipos en uso.

Todo lo anterior permite reformular los requerimientos de información fluviométrica en las cuencas de importancia, proponiendo una red, describiendo las estaciones que permanecen, las que se suprimen y las nuevas que se propone crear. Paralelamente se ha generado un Modelo de Localización que, de acuerdo a atributos, restricciones y equipamiento, identifica la ubicación de las estaciones fluviométricas, motivando a realizar una comparación con la red propuesta hidrológicamente.

# **CAPITULO I. GENERALIDADES.**

## **1.1 INTRODUCCIÓN.**

Entre las atribuciones y funciones de la Dirección General de Aguas, una de las principales es, investigar y medir los recursos hídricos. Para ello debe mantener y operar el Servicio Hidrométrico Nacional. Este servicio de medición se compone de una red de estaciones con periódicos controles, mantención, reparación y reposiciones para su buen funcionamiento.

Cabe destacar que los eventos fluviométricos deben medirse directamente y en la ocasión que ocurren, para ello las estaciones de control deben estar perfectamente acondicionadas para registrar las distintas variaciones de caudal.

La mantención, conservación y reposición es una operación que debe realizarse en forma permanente, por la necesidad de proteger las estructuras y asegurar el correcto funcionamiento del instrumental, con la finalidad de que la información que se genere sea confiable, homogénea y continua y pueda estar oportunamente disponible.

En el ámbito de la planificación e investigación del recurso agua, se aprecia con ineludible necesidad la importancia de contar con información básica tanto hidrométrica como meteorológica, que permita orientar, en este campo, las actividades de los distintos sectores del desarrollo nacional.

Los estudios hidrológicos se apoyan hoy en día, en un conjunto de datos hidrométricos y meteorológicos que se toman directamente en terreno, midiéndolos con la precisión adecuada a los fines perseguidos, generando observaciones continuas durante una serie de años, ya que las medidas esporádicas no pueden conducir a estudios hidrológicos de garantía. Resulta

indispensable, en consecuencia, disponer de datos básicos, no solo de calidad aceptable, sino también de una extensión en el tiempo suficientemente amplia y continua, por lo tanto la implementación, operación y conservación de las “*Redes Hidrológicas*” es de suma importancia para un correcto desarrollo de las Redes Hidrométricas Nacionales.

Dichos objetivos no están siendo cumplidos por la Red Hidrométrica de la Región, existiendo registros incompletos entregados por las estaciones, demora en el procesamiento de los datos entregados, retrasando posibles mejoras en actividades dependientes del recurso hídrico en cuestión y aprovechamiento del mismo.

## **1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.**

Según estudios realizados en la Cuenca del Río Copiapó la demanda futura del recurso hídrico excederá de la oferta, afectando directamente a las actividades predominantes de la región: *Actividad Minera y Actividad Agrícola*, siendo esta última la más afectada por no tener una demanda homogénea en el tiempo.

De acuerdo a la siguiente problemática, se presenta el siguiente objetivo a cumplir:

*Objetivo General.*

*Optimizar la Red Fluviométrica de control para la III<sup>o</sup> Región de Atacama, permitiendo un mejor aprovechamiento y medición a futuro del Recurso Hídrico, a un menor costo de inversión, operación y mantención del equipamiento.*

### *Objetivos Específicos.*

- *Generar una simulación de la cantidad de agua que soporta cada cuenca de la región (mts. Cúbicos), provocado por un evento crítico de crecidas y así identificar su importancia e prioridades.*
- *Realizar una descripción y análisis de la Red Fluviométrica existente considerando variable del tipo: instalación, equipamiento, ubicación, continuidad de operación, etc.*
- *Proponer una Red Fluviométrica de carácter hidrológica, considerando nuevos equipos de medición, transporte y procesamiento de datos, de acuerdo a las cuencas de mayor aporte del recurso hídrico superficial.*
- *Generar un Modelo de Localización-Asignación, el cual propone una nueva Red Fluviométrica para la región, considerando parámetros hidrológicos utilizados por la Dirección General de Aguas, comparando con la Red Propuesta hidrológicamente.*
- *Observar ventajas de la inserción de este Modelo de Localización para la propuesta de nuevas redes fluviométricas a nivel nacional.*
- *Al realizar una Optimización de la Red Fluviométrica, otorgar mayor independencia a las oficinas regionales de la Dirección General de Aguas, considerando la Oficina Central como un organismo contralor, supervisor y observador de los departamentos regionales.*

### **1.3 HIPOTESIS DE TRABAJO.-**

Para este estudio se consideraron dos hipótesis de gran relevancia de acuerdo a los antecedentes recapitulados y considerados.

- El auge de nuevas actividades económicas en la Región de Atacama, se encuentra fuertemente dependiente del Recurso Hídrico, por tal motivo la Red Fluviométrica de la Región de Atacama es un instrumento controlador y fiscalizador de dicho recurso.

- La llegada del siglo XXI trajo consigo equipos de medición de alta eficiencia y tecnología, lo cual facilita el mecanismo de control, dependiente de la Dirección General de Aguas.
- Los Modelos de Programación Entera son instrumentos que facilitan la proyección de Redes Fluviométricas para realizar una correcta y eficiente medición del Recurso Hídrico Superficial.

#### **1.4 METODOLOGÍA A UTILIZAR.**

Se expone aquí en forma resumida la metodología seguida para desarrollar el estudio y alcanzar los objetivos planteados.

##### *1.4.1 Recopilación de Antecedentes.*

- Se recopilarán todos los antecedentes hidrográficos e hidrométricos del área de estudio que se estiman serán de interés durante el desarrollo en estudio
- Cartografía a escala 1: 250.000 y 1: 50.000
- Base digitalizada 1: 250.000
- Cartografía de isoyetas 1:750000 de la región
- Carpetas con antecedentes hidrométricos de todas las estaciones de la D. G.A. como: Aforos, historia de las estaciones, curvas de descarga y antecedentes Fluviométricos.
- Caracterización de la III Región de Atacama, identificando climas, cobertura vegetal y suelo.

#### 1.4.2 *Análisis de Estudios Anteriores.*

- Dentro de esta área se han ejecutado una gran cantidad y variedad de estudios que tienen relación directa indirecta con el tema, bajo este concepto se analizaran las siguientes informes:
- Estudio de evaluación del recurso hídrico a nivel nacional. Balance del Recuso Hídrico de la III Región Atacama volumen II.
- Auditoría e informes de la Red Fluviométrica III Región.

La lectura de estos informes esta orientado a rescatar comentarios, observaciones, antecedentes y correlaciones para las distintas cuencas de la región y en particular para las estaciones de la D. G. A. Y a la red completa de observación como:

- Estaciones Fluviométricas existentes, ubicación, año de instalación, longitud de sus registros, período de observación
- Recursos Hídricos que controla la estación.
- Estadísticas observadas.
- Deficiencias que se generan en el registro.

Análisis de las Estaciones Fluviométricas se hará exclusivamente para las estaciones controlada por la Dirección General de Aguas , efectuándose una revisión de:

- Los aforos en terreno, identificando valores extremos que normalmente definen las partes altas y las extrapolaciones de la curva de descarga.
- Registros Limnimétricos y Limnigráficos que deben ser compatibles ente sí..
- Curvas de descarga Históricas que identifican las causas de inestabilidad.

#### *1.4.3 Análisis del Conjunto de Estaciones al Nivel de Cuencas.*

Este Análisis tuvo por objeto determinar:

- Las cuencas representativas de acuerdo a la aportabilidad entregada del recurso Hídrico.
- Recursos o caudales que deben ser controlados por una estación como resultado de este análisis y que identificaran las cuencas que deben ser estudiadas periódicamente por la red Fluviométrica regional.

#### *1.4.5 Requerimientos de información para la proposición de una Red Fluviométrica regional*

Los requerimientos de información Hidrométrica están íntimamente relacionados con el uso real y potencial del recurso y la disponibilidad de él. Los sectores usuarios principales de recursos Hídricos son: Agua potable, riego, hidroelectricidad, usos industriales, mineros y otros.

Teniendo presente que los requerimientos de información puede venir de los más diversos sectores y por tanto la información potencialmente solicitante variará en el tipo de antecedentes solicitado, será necesario planificar una Red más eficiente, con modernos equipos disminuyendo los tiempos de entrega de registro mediante un modelo de localización, podemos identificar los tramos donde localizar una mayor eficiencia en la medición de caudal, dicho modelo será comparado con la Red propuesta Hidrológicamente y así apreciar la similitud del modelo a la realidad.

## 1.5 DESCRIPCIÓN DE LA INSTITUCIÓN DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS.

Desde el año 1969, las actividades del Estado relativas al recurso hídrico terrestre han sido encargadas a la *Dirección General de Aguas* del Ministerio de Obras Públicas.

Las principales funciones y atribuciones de la Dirección General de Aguas, contemplan una amplia gama de operaciones las cuales son:

- Planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento.
- Mantener y operar el Servicio Hidrométrico Nacional y proporcionar y publicar la información correspondiente.
- Constituir los derechos de aprovechamiento sobre aguas existentes en fuentes naturales y en obras estatales de desarrollo del recurso.
- Autorizar la exploración de agua subterránea en Bienes Nacionales.
- Ejercer la policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público.
- Investigar los Recursos Hídricos del país.
- Supervigilar el funcionamiento de las Juntas de Vigilancia.
- Llevar un Catastro Público de Aguas en el que conste toda información que tenga relación con ellas.
- Aprobar obras que modifiquen o alteren cauces naturales o artificiales con motivo de la construcción de obras públicas, urbanizaciones, etc.

Para el cumplimiento de estas atribuciones, la Dirección General de Aguas tiene en su estructura 4 departamentos técnicos y 2 departamentos de apoyo legal administrativo. Además, dispone de una red de oficinas regionales y provinciales distribuidas a lo largo de todo el país.

### *Departamentos Técnicos.*

### *Estudios y Planificación.*

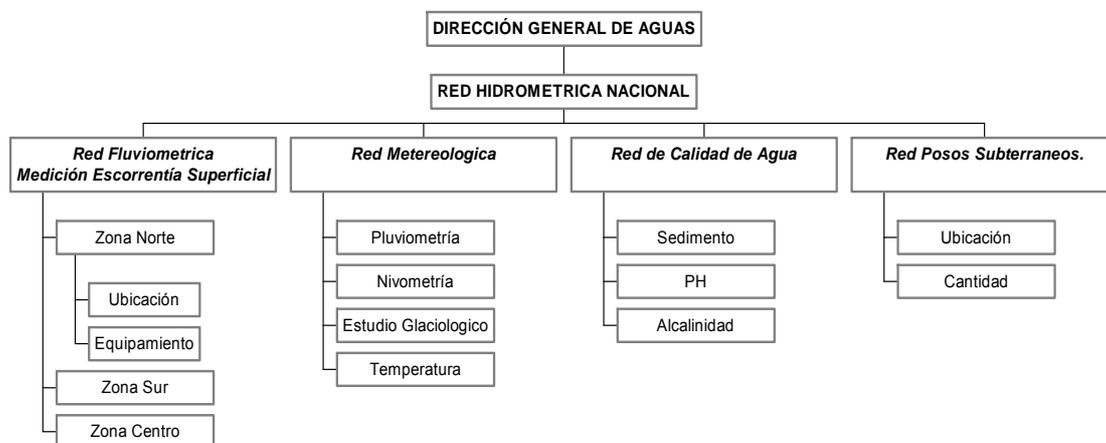
Este departamento esta encargado de investigar, hacer recomendaciones para el uso de los recursos hídricos y efectuar los estudios de cuencas. Se ocupa, además, de realizarlos estudios que requieren los departamentos operativos para cumplir sus labores y que corresponden a tareas no habituales o investigaciones especiales.

### *Hidrología.*

Le corresponde la mantención y operación del Servicio Hidrometrico Nacional, el procesamiento y publicación de la información generada y su ingreso al Banco Nacional de Aguas.

El Servicio Hidrométrico comprende actividades de pluviometría, nivometría, medición de niveles de aguas superficiales, medición niveles de aguas subterráneas, calidad de agua y medición de diversos parámetros meteorológicos. El siguiente diagrama muestra la información que respalda el Servicio Hidrometrico Nacional.

*FIGURA N° 1.1. Diagrama de Flujo de la Red Hidrometrica Nacional.*



#### Administración de Recursos Hídricos.

Dirime técnicamente las materias de administración de recursos hídricos que se someten al pronunciamiento de la Dirección General de Aguas, especialmente relacionadas con el otorgamiento y ejercicio de derechos de aprovechamiento de aguas y la construcción de obras hidráulicas.

#### Conservación y Protección de los Recursos Hídricos

Propone y desarrolla la política sobre conservación y protección de los recursos hídricos. Opera la red de control de lagos y la calidad de aguas superficiales y subterráneas. En la constitución de los derechos de aguas vela por la conservación y protección del recurso.

#### *Departamentos De Apoyo.*

##### *Legal.*

Revisa los actos administrativos y legales de la Dirección en lo referente a la aplicación del Código de Aguas y lleva el registro de Organizaciones de Usuarios. Además, promueve el saneamiento de títulos de derechos de aguas, la formación de comunidades de aguas en canales que extraen el recurso de una fuente natural y apoya la capacitación de las organizaciones de usuarios.

##### *Administración y Secretaria General.*

Administra los recursos humanos, materiales y financieros necesarios para optimizar el desempeño de los departamentos técnicos y direcciones regionales de la Dirección General de Aguas. También cuenta con la Unidad de Programación y Control que se ocupa de formular los programas de inversión y de controlar su cumplimiento y sirve de coordinadora para las oficinas regionales.

La oficina nacional de la Dirección General de Aguas está ubicada en el Ministerio de Obras Públicas, Morandé #59, 8° Piso. Existen también 13 oficinas regionales y 6 oficinas provinciales. En cada región la organización funcional se adapta a las necesidades propias. La oficina Central, a través de los Departamentos, imparte normas técnicas y realiza las labores de inspección y control necesarios para el funcionamiento del servicio.

## **CAPITULO II. PROPUESTA METODOLOGICA DE ANALISIS.**

En el presente capítulo se presenta detalladamente una metodología estructurada para la realización del presente estudio, presentando secuencialmente el trabajo realizado, información utilizada, instrumentos y equipos.

En su inicio, se revisaron estudio anteriores que se realizaron en la región, entre ellos podemos mencionar: análisis crítico de la década de los 80 y 70, evaluación del recurso hídrico de la región, entre otros. Dicha biografía presenta una visión de la situación abordable de nuestro estudio, observando ítems de significancia siendo relevantes para realizar un trabajo de estas características.

A continuación se recopila información de la Geografía de la III Región de Atacama, dicha información fue recogida del Instituto Geográfico Militar, de las unidades Geografía de Chile. En este capítulo se propone identificar características de la región, considerando aspectos económicos, políticos y sociales en términos generales. Luego se realizó una caracterización del espacio natural de la región distribuidos mediante zonas homogéneas como variable principal tipo de suelo e hidrografía de la región. Dicha clasificación incluía aspectos naturales de gran importancia, tales como: vegetación, precipitaciones y rasgos geomorfológico. Esta caracterización de la región fue acompañada con figuras las cuales ilustran las características antes mencionadas.

Se incluye en dicha caracterización un resumen de un estudio realizado al recurso hidrológico de la región, considerando las distintas actividades económicas de la región, dicho estudio incluye un balance hidrológico proyectado al 2017.

Luego de haber realizado la caracterización de la región, se realiza el estudio hidrológico de la misma, considerando todas las cuencas de la III Región de Atacama y observando que las características de la región antes mencionadas se mantienen muy vinculadas a este análisis

## **2.1 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA REGIÓN.**

A escala mundial existen varios modelos hidrológicos que son utilizados para el estudio de cuencas en eventos críticos sin información respecto a dichos eventos. En el ámbito nacional se consideran seis modelos hidrológicos para el estudio de cuencas sin información hidrométrica (Hidrograma Unitario Sintético, Tipo Linsey, Verni y Kin, Verni y King modificado, Fórmula Racional y Método de la DGA-AC).

La Dirección General de Aguas mediante su Departamento de Hidrología, estima que a escala nacional los métodos más representativos a los eventos críticos que ocurren en nuestro país son: Fórmula Racional, DGA-AC y Verni y King modificado.

El primero de estos modelos es una adaptación del método utilizado en California EEUU (hidrograma unitario). El método DGA-AC y Verni y King modificado fueron realizados por hidrólogos chilenos para la realidad nacional.

Los parámetros morfométricos son calculados en el presente estudio, utilizando distintos instrumentos de medición.

*Area de la Cuenca:* dicho parámetro fue calculado mediante tres metodologías diferentes, una de ellas fue la utilización de un planímetro convencional, el cual indica cierta cantidad de vueltas queda alrededor de la

cuenca, dicha cantidad de vueltas se convierte de acuerdo a la escala del mapa utilizado para el cálculo de las áreas. La segunda metodología corresponde a la utilización de un planímetro digital el cual, se ingresa la escala en que se encuentra el mapa donde se extraen la información, dicho instrumento tiene la facilidad de entregar la medición en 6 tipo de unidades. Para el estudio en cuestión se utiliza  $\text{km}^2$ . La última metodología para calcular el área de una cuenca, corresponde a la utilización del Programa Autocad, utilizando las base digitalizada de la región a escala 1:250000, se genera un polígono manteniendo la cuenca en su interior, calculando dicha área que se encuentra encerrada.

*Longitud del Cauce principal:* teniendo la base digitalizada de la región en estudio se implementa el Programa AUTOCAD, el cual facilita la medición de los cauces de importancia de cada cuenca, considerando dicha metodología más precisa que la utilización del curvímetro para hallar la longitud del cauce.

La cartografía utilizada para el presente estudio corresponde 1:250000, la cual representa desniveles de importancia que ocurren al interior de las cuencas.

Las precipitaciones máximas en un período de 24 horas y coeficiente de frecuencia son extraídas del Manual de Isoyetas para la región considerando válida dicha información.

A continuación se realiza una descripción de los métodos, considerando que parámetros morfométricos que utilizan, fórmulas y esquemas de procedimientos.

El siguiente punto presenta los resultados obtenidos por los tres métodos utilizados a las cuencas de la Tercera Región, utilizando previamente la Cuenca de Domeyco para representar la metodología utilizada en la entrega de los resultados obtenidos por los métodos antes mencionados.

Una vez analizado los resultados obtenidos, se realiza un análisis hidrológicos a la región considerando solo las cuencas de mayor aporte del recurso hídrico superficial. Para dichas cuencas se mantiene un control hidrométrico, lo que facilita posible criterios de utilización de los modelos, analizando con apoyos fotográficos las capacidades máximas que puede tener las cuencas en estudio.

Considerando pues bajo este acotamiento de registros reales, cual de los modelos antes mencionados es el representativo para la región.

## **2.2.- DESCRIPCIÓN Y ANALISIS DE LA RED ACTUAL.**

Se observó en el capítulo anterior que las cuencas de mayor aporte, vale decir la red existente al nivel de cuencas. A continuación se presenta una breve descripción de la Red Fluviométrica Actual, diferenciado por cuencas y apoyado con material visual, el cual entrega problemáticas que acontecen en las estaciones de la red.

El siguiente capítulo analiza la descripción realizada a la Red Fluviométrica actual, considerando por cuencas, equipos utilizados, criterios de acuerdo a su localización, tiempo de procesamiento y entrega de datos.

Dicho análisis se realiza en las cuencas donde se encuentra las estaciones de la Red Fluviométrica, considerando su eficiencia en medir el recurso hídrico superficial. No obstante, los equipos de medición cumplen un papel fundamental, realizando una breve descripción del proceso de extracción de registros obtenidos en las distintas estaciones de la región, hasta llegar al Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH), departamento de la Dirección General de Aguas, donde los registros se encuentran disponible al público en general

## **2.3.- PROPOSICIÓN DE LA RED FLUVIOMETRICA DE LA REGIÓN.**

Teniendo claro las problemáticas de la Red Fluviométrica de la Tercera Región, se presentan los nuevos equipos utilizados para la medición del recurso hídrico superficial, identificando ventajas con respecto al proceso de extracción y procesamientos de registros extraídos en las estaciones, costos de implementación y características de los equipos en cuestión. Cada proceso de extracción es acompañado con un esquema metodológico para una mejor comprensión.

Al proponer una nueva Red Fluviométrica para la Tercera Región, deben considerarse criterios hidrológicos básicos para la instalación de la estación, identificando el tipo de instrumento adecuado a los criterios a mencionar.

### *2.3.1 CRITERIOS HIDROLÓGICOS PARA LA INSTALACIÓN DE UNA ESTACIÓN.*

a.- debe existir una estación de medición de caudal en la desembocadura de una cuenca.

b.- los afluentes deben ser medidos durante y antes de entregar su caudal al río principal.

c.- debe instalarse una estación de registró continuo a la salida de un embalse.

d.- la subcuencas cordilleranas que superen los 800 km<sup>2</sup> de área aportante pluvial.

e.- debe existir una estación en una ciudad densamente poblada para efecto de alerta de crecidas.

f.- la entrega de agua a una zona de regadío debe ser medida.

g.- a la salida de una zona de regadío debe medirse el caudal recuperado.

Dichos criterios antes mencionados determinan la instalación de una estación de medición del recurso hídrico superficial.

El sector de ubicación de la estación de medición debe cumplir ciertas restricciones, las cuales son evaluadas antes y durante la instalación de la estación.

1.- la sección debe ser recta, evitando curvatura y distorsiones en la velocidad.

2.- evitar los posibles remansos y embancamientos, producidos por desembocaduras y exceso de vegetación.

Considerando todas estas variables y parámetros, puede considerarse los dos instrumentos a considerar para la red propuesta de la región.

*Plataforma Satelital (PS)*

*Registró real, instantáneo y continuo de niveles de caudal.*

Dicha estación debe ubicarse bajo ciertas condiciones especiales de utilización.

Al término de la naciente de la cuenca

En la Desembocadura de la cuenca al mar.

Antes de una ciudad de importancia.

*Limnógrafo Digital (Data Logger).*

*Sistema continuo de registró de caudal.*

Todos los criterios restantes que consideran la instalación de una estación de medición de esorrentía superficial, deben considerar el equipo Data Logger.

De acuerdo a los criterios hidrológicos antes mencionados y la necesidad de mejorar la Red Existente de la Tercera Región, se propone una Red Fluviométrica Propuesta considerando solo los criterios hidrológicos antes mencionados y variables visuales recopiladas de hidromensores a cargo de la región.

Dicha red propuesta está sujeta a modificaciones producto de la necesidad de reducir costos de implementación de acuerdo a la Dirección General de Aguas.

Para una mayor eficiencia en la Localización y asignación de puntos de control de medición, se genera un Modelo de Programación Entera, el cual presenta una Red Propuesta para la región en estudio.

Dicho modelo se basa en los criterios utilizados por la Dirección General de Aguas para la instalación de una estación Fluviométrica. Se describe un breve marco teórico de la rama Programación Lineal, considerando tipo de variables que ocupa, planteamiento de un problema de programación lineal, suposiciones y modelos de localización. Dentro de los últimos se describe los Modelos de Cobertura, identificando el tipo de modelo a seguir para la nueva red propuesta.

Considerando que uno de los objetivos es, medir la mayor cantidad de escurrimientos superficial posible se opta por el Modelo de Máxima Cobertura, el cual busca el número de instalaciones para cubrir toda la demanda de los nodos, no distinguiendo prioridades.

El Modelo de Localización de Estaciones para la Red Fluviométrica III Región de Atacama, presenta una función objetivo de maximizar flujos de acuerdo los registros de caudal obtenidos de la Dirección General de Aguas, a un costo limitado (predefinido), de acuerdo a los parámetros hidrológicos básicos (condiciones) para la instalación de una estación.

Los Modelos de Cobertura trabajan con arcos, para el caso de los ríos se consideraron estos últimos como redes, subdividiéndolos en tramos seccionados (10 km) cada río y afluente principal.

Estos tramos pasaron por filtros de importancia para colocar una estación Fluviométrica, uno de ellos correspondía que la sección debía ser recta y considerar ese tramo con algún registró.

Una de las dificultades que se encontró en la restricción antes mencionada corresponde a la escala utilizada como base para el estudio, considerando que hidromensores realizan una inspección visual del tramo para la instalación de una estación.

El modelo contiene ciertas restricciones las cuales acotan dicho mecanismo a una realidad económica y hidrológica de la región, las cuales son:

- Número de estaciones con limnógrafos digitales.
- Número de estaciones con Plataforma Satelital.
- Condiciones que debe cumplir el tramo para la instalación de una Plataforma Satelital.
- Condiciones que deben cumplir el tramo para la instalación de un Limnógrafo Digital.

Dicho modelo se realizó en EXCEL, el cual mediante sus características facilitó el funcionamiento y resultados.

Los resultados obtenidos del modelo fueron comparados con la Red Propuesta Hidrológicamente, analizando diferencias, ventajas y eficiencia en su comportamiento.

## **CAPITULO III. CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN**

El conocimiento de las características naturales de un territorio es de vital importancia al momento de evaluar potencialidades, aptitudes y limitaciones del ambiente en general de una región. La adecuada comprensión de los atributos físico-ambientales del espacio natural es esencial una relación armónica y equilibrada entre la población (hombre) y su medio natural.

Lo anterior cobra especial importancia en la III Región de Atacama, toda vez que ella está marcada por una notoria aridez, por lo que el desarrollo de las actividades económicas se ven influidas directamente por la disponibilidad de recursos hídricos.

En el presente capítulo, el espacio natural de la región se ha clasificado siguiendo el procedimiento metodológico de superposición de cada uno de los atributos físicos de mayor relevancia en el análisis ambiental (geomorfológico, climáticos, hídricos y biogeográficos), lo que permite una caracterización y clasificación de unidades naturales homogéneas e integradas, a partir de sistemas y subsistemas, según el grado de generalización. Así, para Atacama se han definido 6 sistemas territoriales, los cuales aparecen organizados y delimitados principalmente en función de la cuenca de drenaje, denominados Cuencas Endorreicas (Altiplano), Cuenca del Salado, cuenca de Copiapó, Interfluvio Copiapó-Huasco y Quebrada Algarrobal.

Al interior de cada sistema se diferencian unidades homogéneas o subsistemas, definidos y delimitados fundamentalmente a base del efecto del relieve en el paisaje de cada sistema territorial, tal como se muestra en la Figura N°3.1y Tabla N°3.1.

### **3.1 LA REGIÓN EN EL ESPACIO POLÍTICO.**

La región aparece vinculada geoeconómicamente a los espacios internacionales más que el resto de las regiones del país, debido a su función exportadora de recursos naturales.

Esta función exportadora se intensifica a partir del proceso de regionalización que en 1974 introdujo cambios sustanciales para la organización espacial del territorio revitalizando el concepto de región funcional, rol reforzado por la apertura al mercado externo, abandonando el modelado desarrollo hacia adentro y dejando atrás la vieja concepción centrista que provoca profundos desequilibrios espaciales, y una marcada dependencia político-económica y sociocultural de las regiones respecto del núcleo central del país.

Lo anterior queda de manifiesto al comparar las deficiencias que sustentaba el sistema de organización espacial hasta 1974, esquema bajo el cual Atacama, la antigua provincia homónima, vivió un letargo socio-económico, que la convirtió en una de las áreas más pobres del país.

Efectivamente, en 1970, el 24.8% de la población (38.298 personas) vivían en condiciones extremas; mientras que en 1988 bajo esta nueva concepción territorial, el nivel de pobreza llega sólo al 10% (21.594 habitantes) (SERPLAC Atacama, 1988).

La III Región de Atacama comprende hoy el área situada entre los 25°17' y 29°15'S., teniendo como límite oriental la República Argentina y al occidente el Océano Pacífico.

Con una superficie de 75.573,3 kms<sup>2</sup> representa el 10% del Chile americano e insular y su división política y administrativa se estructura en tres provincias: Chañaral, Copiapó y Huasco, que a su vez, se subdividen en nueve comunas: Chañaral, Diego de Almagro, Caldera, Copiapó, tierra Amarilla, Freirina, Vallenar, Huasco y Alto del Carmen. (Tabla 1)

La capital regional es la ciudad de Copiapó, la que ocupa un lugar central dentro del contexto regional, ubicación que es altamente favorable para las comunicaciones y administración del territorio regional. (Fig. 1)

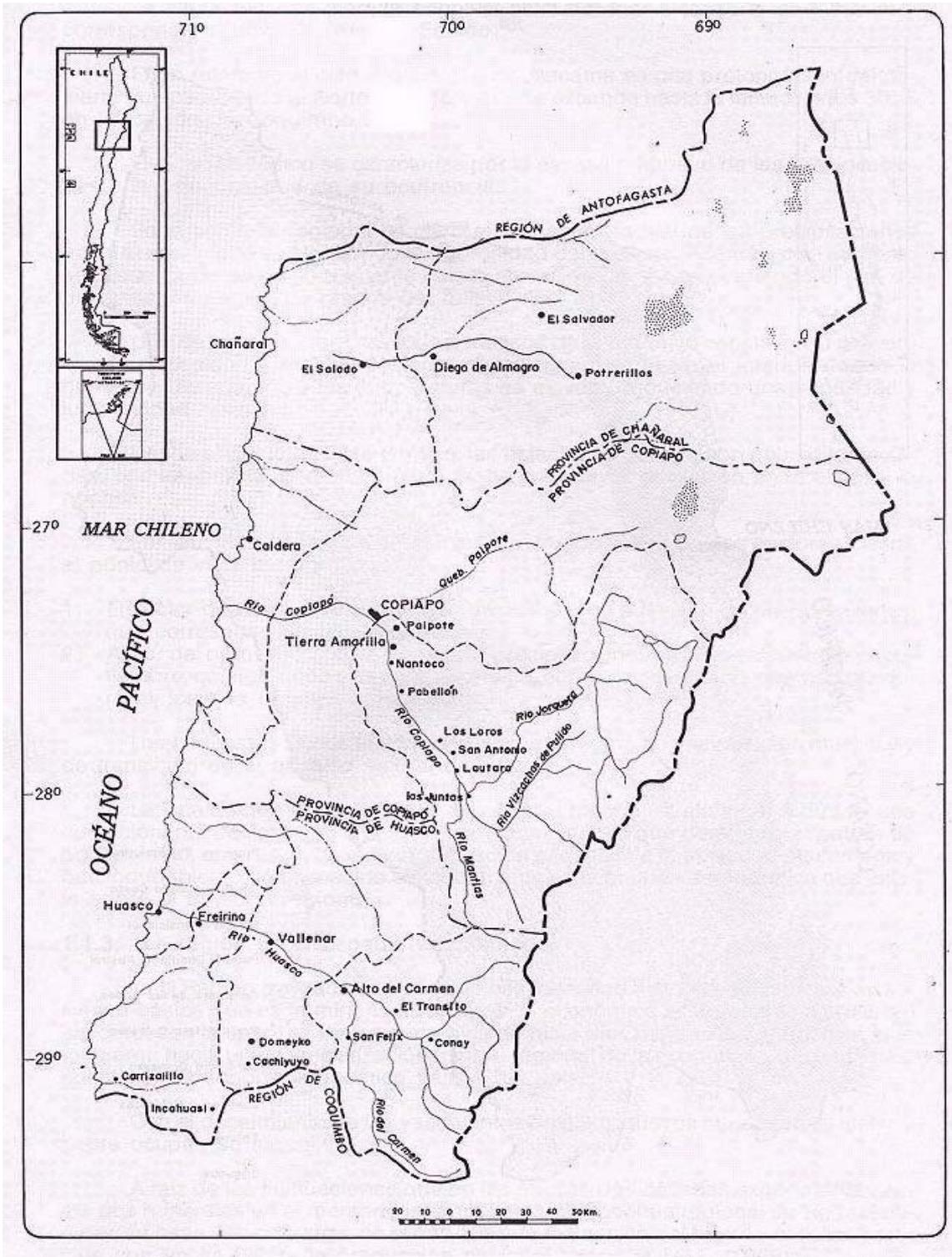


Figura N°3.1. Mapa de la III Región de Atacama.

**TABLA 3.1**

*III Región De Atacama, Superficie por Provincias y Comunas (Km<sup>2</sup>).*

Provincia	Superficie	Comuna	Superficie
Chañaral	24.495	Chañaral	5.765
		Diego de Almagro	18.730
Copiapó	32.830,1	Caldera	3.786,9
		Copiapó	17.716,9
		Tierra Amarilla	11.326,3
Huasco	18.248,2	Vallenar	7.242,1
		Huasco	1.587,5
		Freirina	3.207,5
		Alto del Carmen	6.211,1
		TOTAL	75.573,3

Fuente: I.N.E., III Región de Atacama.

No obstante, el impacto del proceso de regionalización contrasta la escasez de recursos humanos frente al potencial económico de la región: En 1988, la población regional alcanza a 215.940 habitantes y una densidad de 2,8 hab./km<sup>2</sup>. Cabe destacar sin embargo, que a partir de 1982, luego de la recesión internacional, la región ha experimentado un significativo crecimiento demográfico.

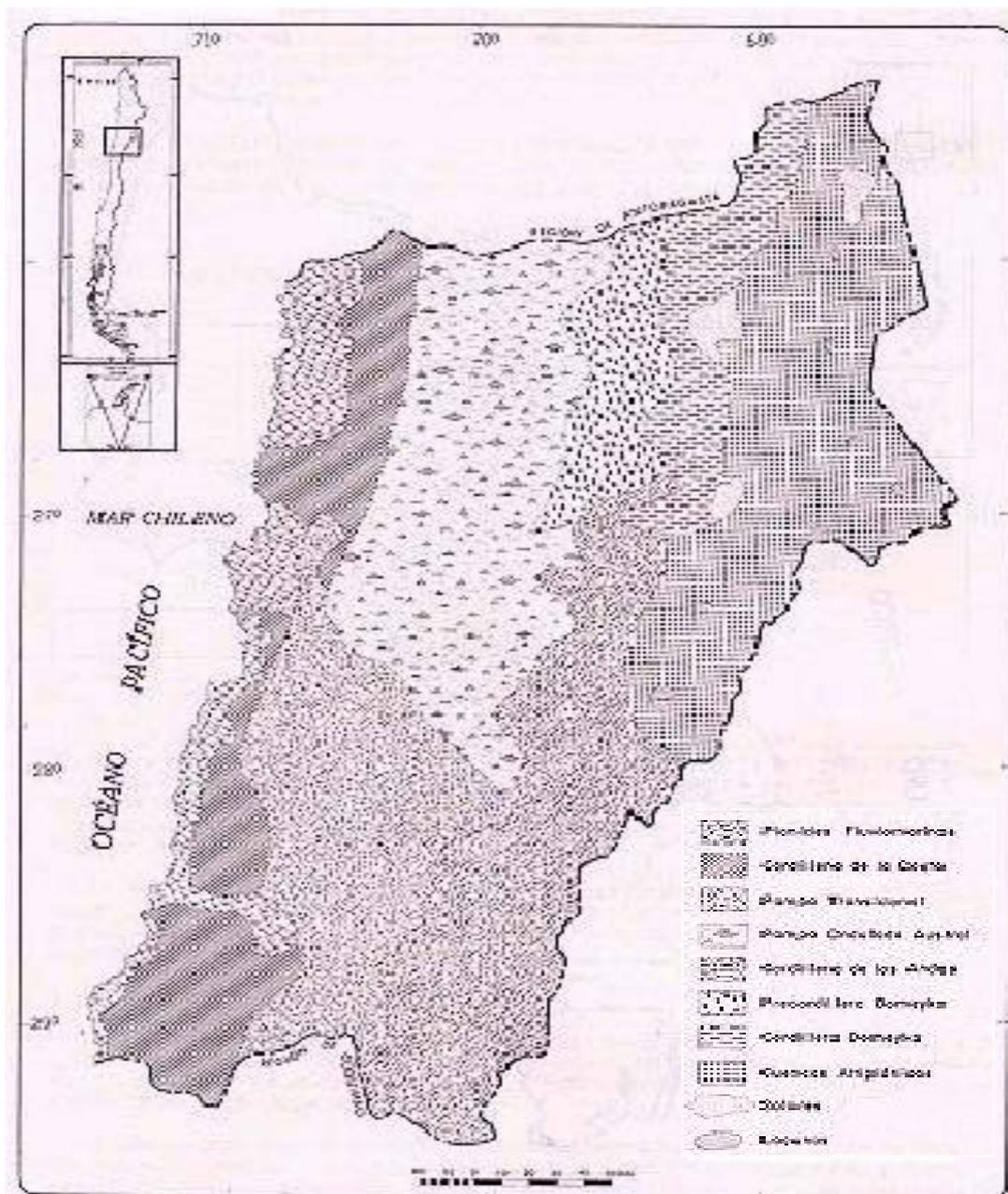
### **3.2 LA REGIÓN EN EL ESPACIO NATURAL.**

La Región de Atacama constituye el límite norte del sistema morfológico de valles transversales, el cual se estructura desde el río Copiapó hasta el valle del Aconcagua en la V Región de Valparaíso, y está representada en Atacama por los valles de los ríos Copiapó y Huasco.

Esta región se caracteriza por un desordenamiento longitudinal de la orografía, donde las grandes unidades ordenadoras de la morfología nacional se presentan débilmente, apareciendo en cambio cordones montañosos sin una orientación predominante que conectan la cordillera de la costa con la de los Andes. En la septentrional provincia de Chañaral destacan claramente otras dos

unidades: la Cordillera de Domeyko y la cuenca Altiplánica, ambas muy importantes en relación con la distribución y uso de los recursos naturales como: minerales, agua y sales (Fig. 2).

Figura N°3.2. Mapa Geomorfológico de la III Región de Atacama.



La altura máxima medida sobre el nivel del mar alcanza a los 6.893 m y corresponde al nevado Ojos del Salado.

En lo referente al clima, la Región de Atacama es una prolongación del desierto que caracteriza por la escasa magnitud de las precipitaciones y la ocasionalidad de su ocurrencia. En el contexto regional es claro el aumento gradual de las precipitaciones hacia el sur, lo que va atenuando la rigurosidad del desierto. Además, otro aumento se presenta de poniente a oriente con la elevación del relieve, variando el tipo de precipitación según los rasgos del relieve (Fig. 3).

Uno de los aspectos más característicos de la región lo constituye la presencia de nubosidad y nieblas costeras que disminuyen hacia el interior, donde la humedad desaparece y las temperaturas se elevan produciendo una sequedad y luminosidad notables.

Desde el punto de vista térmico, las estaciones del año son poco diferenciadas, con temperaturas moderadas aunque con mayor oscilación entre el día y la noche.

Por otro lado, la Región de Atacama se puede dividir en dos sectores, desde el punto de vista hidrográfico.

1.- El sector occidental de clima seco desértico, con ausencia de precipitaciones, que corresponde a una zona arreica.

2.- Al sur del paralelo 27°S presenta precipitaciones débiles entre mayo y septiembre, configurando una zona exorreica, con sólo dos ríos de régimen pluvio-nival, los ríos Copiapó y Huasco.

La localización de la región en el aspecto espacio natural es, sin lugar a dudas, una condicionante decisiva de la dinámica regional, puesto que determina el patrón de poblamiento, que redundando en la organización espacial de la sociedad atacameña y que indudablemente ha influido históricamente en la presión demográfica que existe sobre el territorio regional.

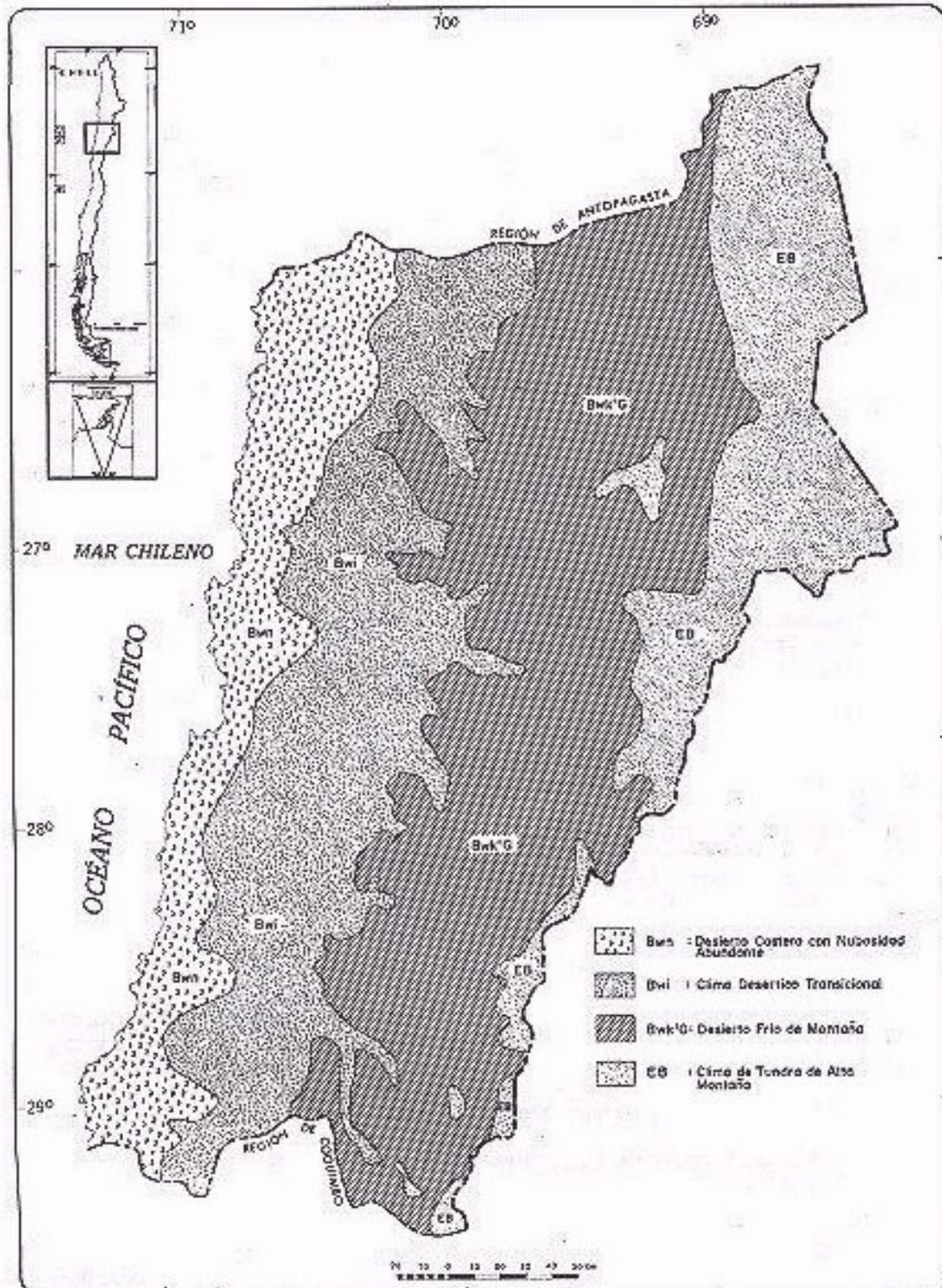


Figura N°3.3. Mapa Climático de la III Región de Atacama.

## LA REGIÓN EN EL ESPACIO ECONÓMICO.

La III Región de Atacama ha tenido una identidad histórica definida por su actividad básica que es la minería. Dicho patrón económico es apreciado a partir del XIX con la apertura de los minerales de plata de Chañarcillo y Caracoles, que indujeron hacia una especialización minera regional de la economía y que, además, constituyó el soporte económico básico del país. Con el decaimiento de los yacimientos de plata, nuevos minerales, el hierro y cobre ocupan su lugar.

A raíz de las fluctuaciones que en la últimas dos décadas experimentan estos dos minerales en el mercado internacional, el economía regional se vio resentida en su base. Sin embargo, en el año 1986, la extracción del hierro y el cobre participa con un 44,4% de la producción nacional según el I.N.E (1986).

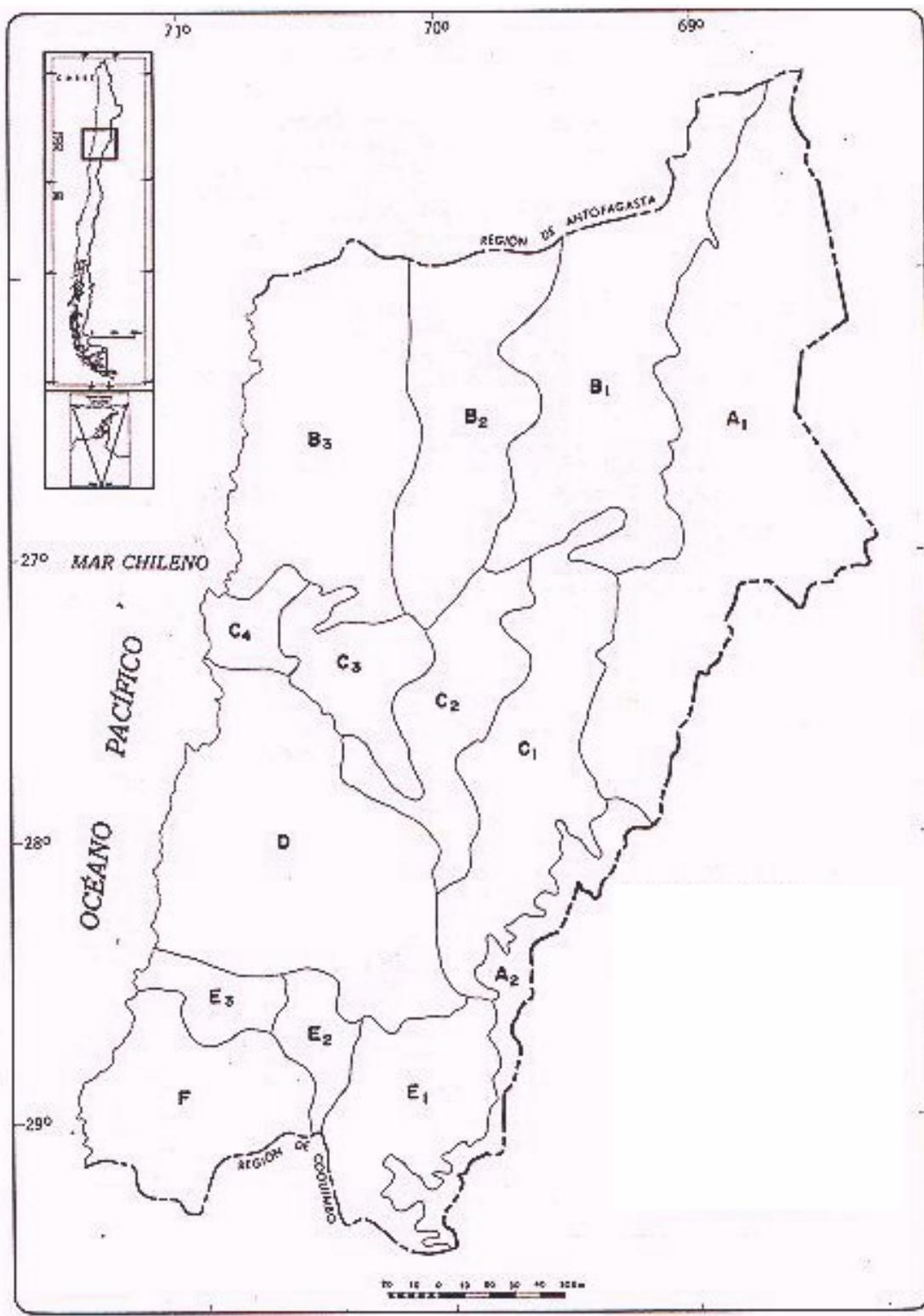
### **3.3 SISTEMA DE CUENCAS ENDORREICAS (ALTIPLANO).**

Este sistema o unidad territorial conocido como Endorreico (Altiplano), se desarrolla en el sector oriental de la Región de Atacama, cubriendo la extensión regional de la Cordillera de los Andes sobre los 4000 m.s.n.m., rodeando el sector oriental del salar de Pedernales, y luego el de Maricunga, para continuar hacia el sur siguiendo la curva de los 4000 m.s.n.m.

Desde el punto de vista hídrico, las características más importantes de este sistema están dadas por la presencia de las cuencas endorreicas (altiplánicas salares y lagunas), y por las nacientes de los principales sistemas hidrográficos de la región, donde se originan los Ríos Copiapó y Huasco.

**TABLA 2.2**  
Resumen de las unidades naturales  
y su superficie.

UNIDAD	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de cada unidad respecto del total regional
A. SISTEMA DEL ALTIPLANO (Cuencas Endorreicas)	16.325	21,6
A.1 Sub. Altiplánico de Diego de Almagro.	13.617	18
A.2 Sub. Altiplánico de Alto del Carmen.	2.708	3,6
B. SISTEMA DE LA CUENCA DEL SALADO.	21.320	28,2
B.1 Subsistema Andino.	8.288	11
B.2 Subsistema Interior.	5.685	7,5
B.3 Subsistema Costero.	7.347	9,7
C. SISTEMA DEL CUENCA DEL COPIAPO.	14.617	19,4
C.1 Subsistema Preandino.	6.838	9
C.2 Subsistema de Pampa Ondulada.	3.572	4,7
C.3 Subsistema de la Cordillera de la Costa.	3.083	4,1
C.4 Subsistema de Planicies Litorales	1.124	1,5
D. SISTEMA QUEBRADAS INTERFLUVIO	11.159	14,8
E. SISTEMA CUENCA DEL HUASCO	7.327	9,7
E.1 Subsistema Preandino	4.504	6
E.2 Subsistema de la Pampa Ondulada.	1.373	1,8
E.3 Subsistema de la Cordillera de la Costa y Planicies Litorales.	1.450	1,9
F. SISTEMA INTERFLUVIO ARIDO SUR.	4.734	6,3
Total Aproximado	75.482	



- A.- SISTEMA DEL ALTIPLANO
  - A.1. Subsistema Altiplánico de Diego de Almagro
  - A.2. Subsistema Altiplánico de Alto del Comen
- B.- SISTEMA DE LA CUENCA DEL SALADO
  - B.1. Subsistema Andino
  - B.2. Subsistema Interior
  - B.3. Subsistema Costero
- C.- SISTEMA DE LA CUENCA DEL COMAPÓ
  - C.1. Subsistema Preandino
  - C.2. Subsistema de Pampa Ondulada
  - C.3. Subsistema de la Cordillera de la Costa
  - C.4. Subsistema de Planicies Litóreas
- D.- SISTEMA GUERRAPOS INTERFLUVIO
- E.- SISTEMA CUENCA DEL HUÁSCO
  - E.1. Subsistema Preandino
  - E.2. Subsistema de la Pampa Ondulada
  - E.3. Subsistema de la Cordillera de la Costa y Planicies Litóreas
- F.- SISTEMA INTERFLUVIO ÁRIDO SUR

Figura N°3.4. Mapa de Unidades Naturales

### 3.3.1. Subsistema Altiplánico de Diego de Almagro (A1).

Este subsistema de 13.617 kms.<sup>2</sup> de superficie se extiende desde el límite norte de la región de Atacama hasta aproximadamente los 27°55' de latitud sur. En esta unidad se hallan cuencas pequeñas que presentan estacionalmente aguas subterráneas y otras de mayor desarrollo hidrológico, donde dichas aguas tienen presencia permanente.

De esta forma, los recursos de agua son de origen superficial y subterráneo, aunque normalmente los primeros provienen de alumbramientos de almacenamientos subterráneos que se han conectado, a modo de drenes naturales por los cauces del altiplano.

Otra característica de estas cuencas altiplánicas la constituye la presencia de cubetas de depresión a las que convergen todas las aguas subterráneas y superficiales, generando así cuerpos lacustres que se descargan por evaporación, dejando depósitos de evaporativas que se han constituido en los características salares altiplánicos, entre los que destacan La Isla a 3952mt; Las Parinas a 3936 mt.; Grande con 564 km<sup>2</sup> y a 3996mt.

Notoria es la formación de conos volcánicos desarrollados durante el Cuaternario, que determina la elevación alcanzada por la Cordillera de los Andes en este subsistema. Destacando los Nevados de Ojos del Salado (6893mt.; Tres Cruces (6753mt.); El Fraile (6040mt.); Incahuasi (6621mt.) y San Francisco (6018mt.).

En lo referente al clima, este subsistema está caracterizado por el de tundra de alta montaña (EB). Presenta temperaturas bajas durante todo el año con variaciones bajo y sobre cero, aunque en verano alcanza temperaturas mayores a 10° C. El límite inferior de este clima varía de los 4000 a 4500mt., en el sector septentrional, y desciende hasta los 3000 a 3800 mt., en la parte meridional.

La oscilación diaria de la temperatura o amplitud térmica puede alcanzar aquí valores superiores a 15°C, y las precipitaciones son de monto variable según la latitud, produciéndose por lo general en forma de nieve.

Los suelos de este subsistema caen dentro de los grupos de los histosoles, litosoles y xerosoles cálcicos según la clasificación de UNESCO-FAO (Fig.5).

Los histosoles se caracterizan por tener un pH al agua de 5,5 o más, al menos entre 20 y 50 cm., de la superficie, presentan estratificaciones calcáreas, o cementaciones de sal suelta a 50 cm., de profundidad y propiedades hidromórficas en los 50 cm., superiores. Los litosoles son suelos de roca dura a poca profundidad, y finalmente, los xerosoles cálcicos tienen un horizonte cálcico a los 125cm., de profundidad superficiales del perfil y ausencia de horizonte argílico sobre el horizonte cálcico.

El atributo biogeográfico característico de este subsistema es el de estepa andina, formación que se compone de gramíneas de carácter xerófito, formando champas perennes mezcladas con algunas comunidades de arbustos enanos y

hierbas perennes. A menudo, esta formación se ve interrumpida por grandes extensiones sin vegetación, ya sea por exposición a los vientos dominantes o por emergencias rocosas, como también por vegas andinas (en parte bofedales), originadas por afloramiento de aguas provenientes del deterrimiento de las nieves o de aguas termales.

Estas vegas forman conjunto vegetacionales muy densos que procuran abundante disponibilidad de forraje para la ganadería de altura (llamas y alpacas). Sus principales especies son el coirón ichu, *stipa ichuy* representantes de los géneros.

Los recursos naturales de este subsistema están dados principalmente por la minería aún poco explorada. Sin embargo, destacan minerales potencialmente atractivos como el caolín, la apatita, azufre y ricos yacimientos de cobalto. Así también, existen importantes reservas de litio en los salares.

Por otro lado, la belleza escénica de esta zona cordillerana se proyecta como un recurso factible de ser explotado en forma inmediata. Encontrando una variada gama de atractivos que permiten al turista aventurero y al practicante del montañismo, experimentar emocionantes aventuras. Se pueden mencionar también la Laguna del Negro Francisco, situada 68 km., al suroeste del salar de Maricunga, donde anidan abundantes parinas o flamencos, taguas y patos silvestres, además de vicuñas y guanaco.

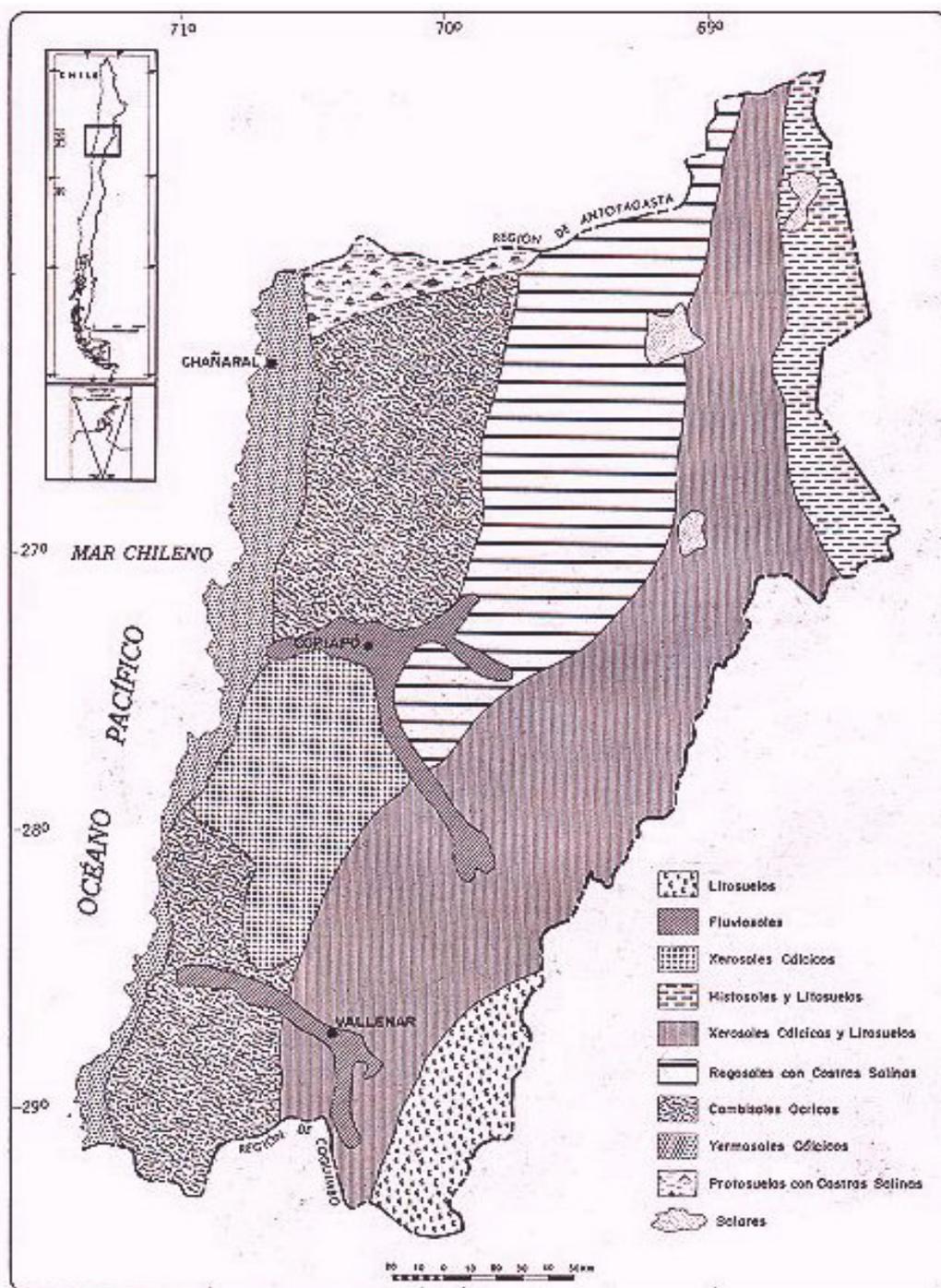


Figura N°3.5. Mapa Tentativo de Suelos de la III Región de Atacama. Según UNESCO.

### 3.3.2. Subsistema Altiplánico de Alto del Carmen (A2).

Esta unidad meridional del Sistema Altiplánico se extiende desde aproximadamente los 27°55'S, siguiendo la curva de los 4000mt., hasta el límite con la IV región de Coquimbo, y tiene una superficie de 2708km<sup>2</sup>.

La característica geomorfológica más relevante de este subsistema es la presencia de la Cordillera de los Andes, que se observa alta, maciza y ancha, especialmente en las provincias de Copiapó y Huasco, donde alcanza un desarrollo transversal de 50 a 75 kms.

Hidrológicamente, este subsistema reviste una gran importancia para la región, puesto que aquí nacen los tributarios más importantes de los ríos Copiapo y Huasco.

En lo que se refiere a la Hoya del Copiapó, los tributarios de importancia que nacen en este subsistema son: los ríos Cachitos, Ramadillas, Del Medio, Montosa y Manflas. Entre los principales tributarios del río Huasco están los ríos Alto del Carmen y Transito, y las quebradas Pachuy, Chillay, La Plata y Potrerillos.

Edáficamente, en este subsistema predominan los grupos de litosuelos y xerosoles cálcicos, así también, el tipo climático corresponde al de tundra de alta montaña (EB).

La formación vegetal característica la constituyen los llaretales, que se desarrollan por encima de los 4000 mts., donde la vegetación está compuesta exclusivamente por llaretas que crecen en forma acojinada (colonias apretadas), soportando así los fuertes vientos y el intenso frío reinante en este subsistema.

Las especies más dominantes son *Laretia compacta*, *Azorella spp.*, *Laretia acandia*, *Pycnophyllum molle*, y la queñoa.

En este subsistema al igual que el anterior, los recursos naturales están dados principalmente por la minería metálica y no metálica, en actual etapa de exploración por parte de compañías mineras. Por otro lado, la belleza escénica que posee esta unidad en la alta cordillera constituye un recurso importante para el turismo regional.

### **3.3 SISTEMA DE LA CUENCA DEL SALADO.**

El sistema territorial cuenca del Salado cubre un extenso sector de la región con 21.320km<sup>2</sup>., lo que representa un 28,2% respecto del total regional.

Se extiende desde límite septentrional hasta aproximadamente los 27°S (divisoria norte de la cuenca del Copiapó) y desde la línea de costa hasta la curva de los 4000 mts., en la cordillera Andina.

Acá se destacan claramente las unidades correspondientes a la Cordillera de Domeyko y la depresión Altiplánica, ambas muy importantes en relación con la distribución y uso de los recursos naturales como minerales, agua y sales (Fig.6).

Hidrológicamente, comprende los recursos intermitentes de las quebradas Pan de Azúcar, Doña Inés Chica, Peralillo, del salado, Chañaral Alto, Las Animas, Guamanda, Salitrosa y del Morado, constituyéndose como los drenes más importantes de este sistema las quebradas Pan de Azúcar y el Salado que eventualmente escurren hasta el mar.

En este sistema es posible encontrar tres subsistemas longitudinales, diferenciados básicamente por el clima.

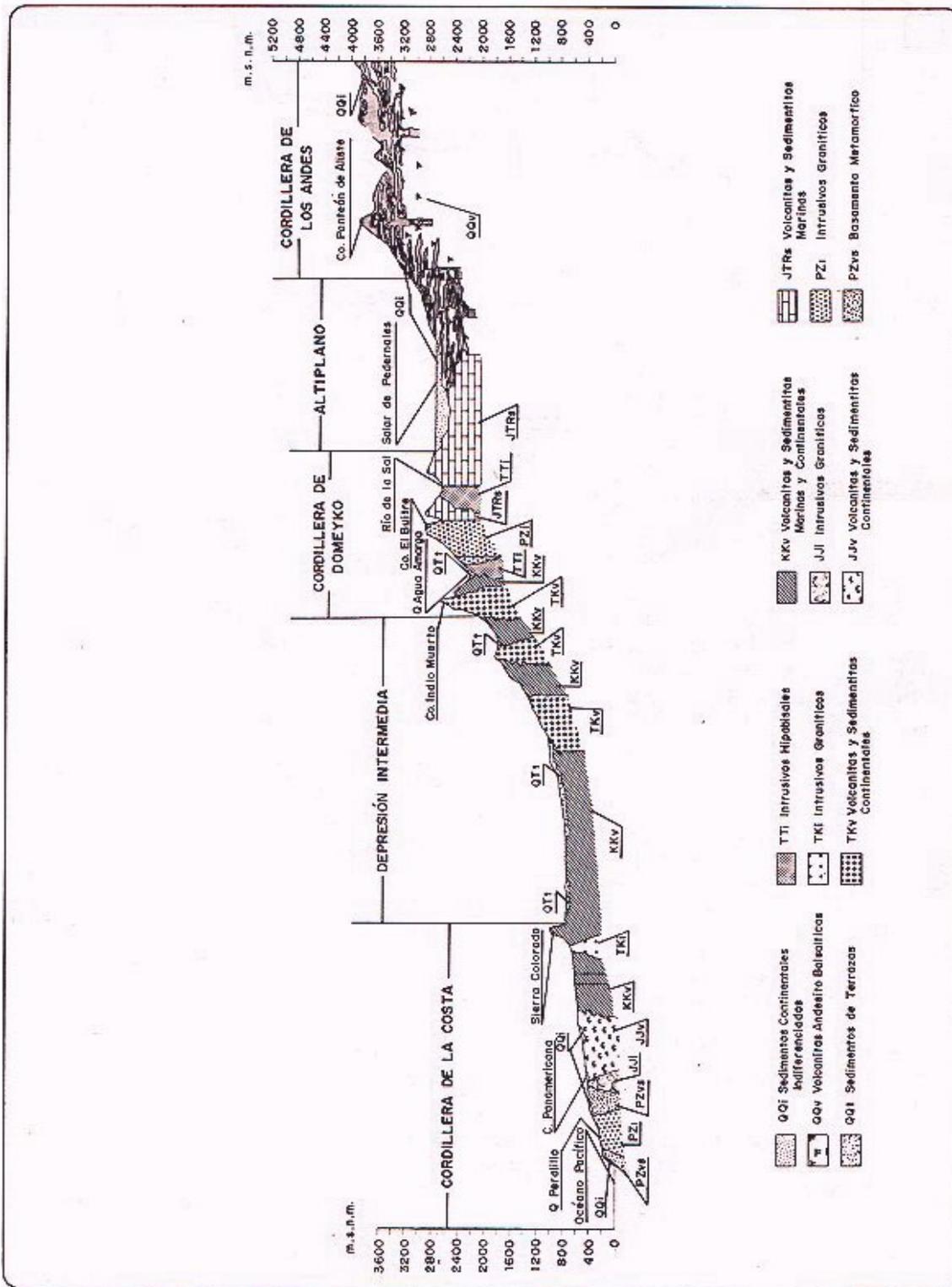


Figura N° 3.6. Perfil Geológico Esquemático a los 26°15'S.

### 3.3.1 *Subsistema Andino de la Cuenca del Salado (B1).*

Este subsistema posee una superficie 8.288 km<sup>2</sup>., lo que equivale a un 11 %del total regional.

El clima de este subsistema corresponde al desértico frío de montaña (Bwkg), donde el régimen térmico es regulado pro la altitud, siendo la característica más importante la gran sequedad del aire.

La temperatura media anual es de 11.3°C., el mes más frío es junio con 7.8°C, y el más cálido enero con 13.7°C, promedio. La humedad alcanza a un 27%, teniendo un promedio anual de 266.1 días con cielos despejados. Las precipitaciones llegan a un promedio de 61,7mm anuales, cuyo 75% se produce en invierno (mayo-agosto).

El principal rasgo geomorfológico es la presencia de la Cordillera de Domeyko, localizada en el margen occidental de la Cordillera de los Andes. Constituye una barrera maciza, empinada y con frecuentes cumbres de 4.500 a poco más de 5.000 mts. La importancia de esta precordillera radica en que separa los cauces que vierten al mar chileno, de aquellos que descargan hacia la Cuenca Altiplánica, formando así, numerosas cuencas cerradas en las que anidan lagunas y salares como el de Aguilar, Infieles, Pedernales y Maricunga, en donde las aguas provenientes de las altas cumbres se estancan y evaporan, dejando atrás depósitos salinos (Fig.7).

Los suelos de este subsistema corresponden a regosoles con costras salinas. La formación biogeográfica predominante es el tolar, que constituye una especie de matorral andino desarrollado desde el límite septentrional, hasta los 31°40´S., que trepa por los faldeos andinos, altas mesetas y cordones interiores de la cordillera.

Se caracteriza por el dominio de plantas arbustivas de hoja y ramilla resinosas, con follaje de color oscuro, que forman un material relativamente denso, cuyo arbusto dominante alcanza 1 metro de altura a los cuales se agrega una cubierta inferior de plantas perennes y gramíneas.

Las especies dominantes son la Tola (*Baccharia tola*); Dadin (*Baccharia santeices*); Tolilla (*Fabiana ericoides* y *Fabiana Desnutata*), etc., a las cuales se asocian *pingo pingo*; *brea*; *tola Hembra* y otras.

La sección norte de esta unidad aparece recortada por la quebrada Pan de Azúcar y sus tributarios menores: quebrada Juncal, del Carrizo y Doña Inés Chica, mientras que al sur, un profundo corte de la quebrada del Salado, impone una abrupta interrupción al desarrollo de este nivel de pampa alta.

De acuerdo a los recursos, este subsistema reviste gran importancia para la región y el país, puesto que aquí se localiza el centro industrial El Salvador de Codelco, en plena zona desértica, a 120 km., de la costa y a alturas superiores a los 2.400mts. Este complejo minero industrial incluye la mina y planta procesadora; la planta recuperación de relaves ubicada en Llanta; la fundición y refinería de Potrerillos, a 50 km., de el Salvador, además puerto de embarque y la central termoeléctrica de Barquitos.

Existen otros centros de gran importancia tales como: el yacimiento Esperanza, ubicado a 30 km., al norte del salar de Maricunga, El mineral de la Coipa, ubicado a 150 km.. de Copiapo, con reservas mineras de oro y plata calculadas aproximadas en 50 millones de toneladas.

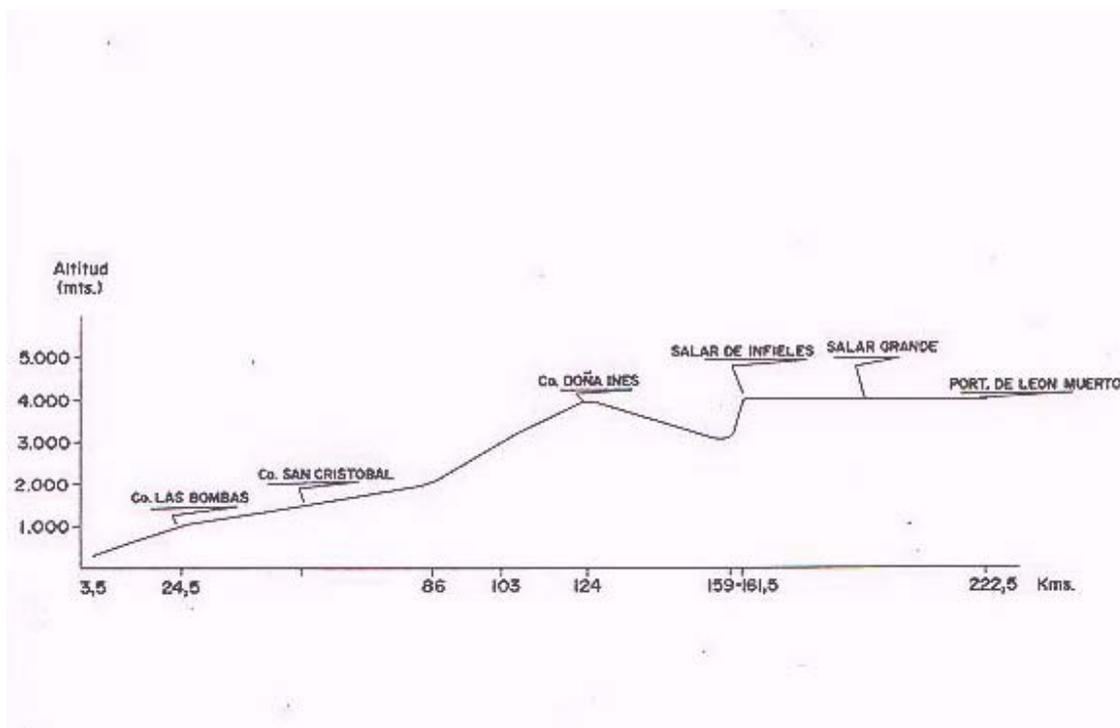


Figura N°3.7. Perfil Transversal a los 26° 30' S.

### 3.3.2 Subsistema Interior de la Cuenca del Salado (B2).

Esta unidad posee una superficie de 5.685 km<sup>2</sup>., lo que constituye un 7.55% del total regional.

El clima característico es el de desierto transicional (Bwi), aunque en el sector oriental de esta unidad predomina aún el desierto frío de montaña (Bwkg). El clima desértico transicional se desarrolla entre el límite de la nubosidad costera y los 1.500 a 1.200 metros de altura, generando un medio árido ancho variable, sometido al influjo de la inversión térmica por efecto de la subsidencia de aire del

anticiclón del Pacífico, y que además registran precipitaciones invernales pequeñas y variables.

El patrón geomorfológico característico es la pampa Ondulada o Austral, asociada a la porción de la depresión intermedia, situada entre las sierras de Vicuña Mackenna, del Muerto y Peñafiel por el norte y el río Copiapó por el sur. De norte a sur las quebradas con escurrimientos intermitentes más importantes son las quebradas: Doña Inés Chica, de las Salinas, del Salado, Chañaral, Salitrosa.

Los suelos en esta unidad están representados principalmente por regosoles con costras salinas en el sector oriental, cambisoles ócricos en el sector occidental y por protosuelos con costas salinas en el extremo norte de la unidad, este último es connotativo para suelos de desierto que presentan una serie de estratificaciones y costras cálcicasa y yésicas, o ambos, cuya evolución parece más de origen geológico que pedogenético.

Los recursos naturales están dados aquí principalmente por los minerales (metálicos y no metálicos), localizados principalmente en el sector de Diego de Almagro, Incad de Oro. La pequeña minería de cobre, plata y oro se concentra a orillas del río Salado, que procesa los relaves provenientes de El Salvador.

### *3.3.3 Subsistema costero de la Cuenca del Salado (B3).*

Este subsistema posee una superficie de 7.347 km<sup>2</sup>., y representa el 9,7% del total regional. Limita al norte con la II Región de Antofagasta, al este con el subsistema interior de la Cuenca del Salado, que corresponde al límite geomorfológico de la pampa Ondulada o Austral, al sur con la cuenca de Copiapó y al oeste con el mar chileno.

El clima característico de esta unidad es el desértico con nubosidad abundante (Bwn), presente en la franja costera donde la influencia del mar penetra de 40 a 50 kms. Se observan en este sector numerosas nieblas (camanchacas), especialmente en las mañanas, que caracterizan este tipo climático, originadas por la subsidencia de aire subtropical en contacto con el frío mar adyacente que provee la humedad, así por ejemplo la ciudad de Caldera presenta un promedio de 102 días nublados en el año. Esta alta nubosidad y humedad relativa se representa aún en los meses de verano.

Las temperaturas, relativamente bajas y homogéneas, oscilan entre los 2° a 3° C, y los 30° C., con una media que llega en invierno a los 13°C., y en verano a los 20°C., lo que constituye un clima favorable para el desarrollo del turismo costero. La oscilación media diaria de la temperatura es de sólo 7.5%, lo que refleja la influencia marítima en el comportamiento térmico de la faja costera.

La precipitación es escasa y ocurre sólo en el período invernal, así por ejemplo en Chañaral, el total de precipitaciones anuales es de apenas 10mm., alcanzando en Caldera a los 24mm., y concentrándose en los meses de junio a agosto. Se aprecia por lo tanto el incremento de las precipitaciones de norte a sur. Así también, dentro de esta unidad, las precipitaciones disminuyen hacia el este donde empieza a aparecer el dominio del clima desértico transicional (Bwi).

Los rasgos geomorfológicos están representados por la cordillera de la Costa y las planicies litorales. Los primeros constituyen un atributo discontinuo del relieve, en algunos sectores imprecisos, pues no emerge sino como una loma o colina más alta que la compleja y ondulante topografía pampeada del sector meridional.

Hidrológicamente este subsistema está representado de norte a sur por las quebradas *Pan de Azúcar, de Peralillo, del Salado, Las Animas, Guamanga, Salitrosa y del Morado*.

Los suelos de este sector están representados por tres tipos principalmente: a) Una angosta franja horizontal en el extremo norte que corresponde a protosuelos con costras salinas; b) cambisoles ócritos que predominan en la mayor parte de este subsistema; y, c) yermosoles cálcicos en el litoral.

La formación vegetal característica es el desierto costero, que se extiende desde el límite septentrional del país hasta aproximadamente los 28°S. En su parte austral está dominado por arbustos y cactáceas, siendo común las plantas perennes con vegetación invernal y primaveral, abundando las cactáceas *guillave, el copao, los sandillones*, entre otros.

De acuerdo a los recursos naturales existente, se encuentran yacimientos de minerales metálicos, principalmente el hierro, destacando entre ellos el yacimiento de oro Merceditas que se localiza en el interior de Chañaral. En el sector pesquero, dadas las características topográficas del litoral, existe en la actualidad un creciente interés por el cultivo de ostiones, ostras, choros, etc. De acuerdo a las excelentes condiciones climáticas y las características naturales del litoral ofrecen grandes posibilidades al turismo, principalmente para las actividades náuticas que dependen del recurso playa.

Los riesgos naturales de este sistema están dados principalmente por crecidas aluvionales, las que pueden ser definidas como escurrimientos de grandes volúmenes de aguas que bajan hacia el mar encauzados principalmente por la quebrada del Salado, alcanzando velocidades de 40 a 60 km./hora. Dichas

alteraciones en el funcionamiento hidrológico de las cuencas pueden afectar a centros poblados, pequeñas explotaciones mineras y la infraestructura vial.

### **3.4 SISTEMA DE LA CUENCA DEL COPIAPÓ.**

Este sistema corresponde morfológicamente a la hoya hidrográfica del río Copiapó, limita al norte con la hoya del río Salado, al este con el sistema del altiplano, al sur con la cuenca del río El tránsito, principal tributario del río Huasco y al Oeste con el mar Chileno.

Posee una superficie aproximada de 14.617 km<sup>2</sup>., lo que representa el 19.4% del total regional y se caracteriza fundamentalmente por un clima cálido pero más húmedo que los sistemas descritos anteriormente. Así la vegetación y fauna son más abundantes, lo que se manifiesta en condiciones más favorables para la actividad agrícola.

El sistema hídrico del río Copiapó se origina en el lugar denominado La Junta, donde confluyen sus dos más importantes tributarios, el Jorquera por el norte y el Pulido, por el sur este, a 130 kms.. en línea recta desde el mar y a 100 kms. aguas arriba de la ciudad de Copiapó. Dos y medio kilómetros más debajo de la Junta se une al río Copiapó el río Manflas que proviene del sur con un reducido caudal. El desarrollo lineal del río Copiapó desde La Junta al mar es de aproximadamente 162 kms.(MOP., 1983)

El régimen de escurrimiento del río Copiapó es permanente desde la Junta hasta Copiapó, aunque generalmente está sometido a variaciones del caudal debido a procesos naturales de pérdida y de recuperación y a la intervención del hombre que utiliza este recurso para el riego artificial.

Aguas debajo de la capital regional el río se recupera con el alumbramiento de vertientes importantes, las que permiten el riego de zonas agrícolas del curso inferior. En el sector de Angostura el régimen del río es constante e independiente, recogándose los remanentes de la cuenca con un gasto medio anual de 130 litros por segundo de agua altamente contaminada por sales, que desemboca en el mar (MOP 1983). Su régimen es nivo-pluvial, el gasto medio observado para una serie de años fue de 8,7 m<sup>3</sup>/seg., siendo el valor más alto el correspondiente a febrero (1,71 m<sup>3</sup>/seg.) y el menor gasto, agosto (1,43 m<sup>3</sup>/seg.).

#### 3.4.1 *Subsistema Preandino de la Cuenca del Copiapó (C1).*

Este subsistema posee una superficie de 6.838 km<sup>2</sup>., lo que corresponde al 9% del total regional.

El clima de esta unidad corresponde al desierto frío de montaña (Bwkg), que se caracteriza por una severa limitación térmica, con temperaturas medias anuales inferiores a 10°C., por lo que las heladas son frecuentes durante al año. Contrastando con lo anterior, en este sistema hay más de 320 días despejados en el año. Las precipitaciones sólidas son frecuentes en la parte más alta, por lo que a lo menos ocho meses del año presenta receso vegetativo (condiciones adversas para la vida vegetal).

Hidrológicamente, este sistema está representado de norte a sur por las quebradas *La Coipa, de Paipote, El Patón y San Miguel, y los ríos Figueroa, Turbio, Jorquera, Cachitos, Pulido, Ramadilla, del Medio, montosa y Manflas,* todos cursos permanentes de agua.

Las laderas ocupadas por caras libres y taludes carecen de suelos, junto a los cursos de agua en cambio aparecen los fluvisoles, suelos no bien evolucionados derivados de sedimentos aluviales, que permiten la evolución de una estepa arbustiva abierta subandina.

Los recursos naturales en este subsistema están dados principalmente por yacimientos mineros metálicos como cobre, plata y oro. Otro atributo natural es la belleza escénica de esta zona precordillerana, que sirve de base para la actividad turística.

#### *3.4.2 Subsistema de Pampa Ondulada (C2).*

Este subsistema tiene una superficie aproximada de 3.572 km.<sup>2</sup> y presenta características similares al subsistema anterior, sin embargo aquí las formas de relieve no son tan abruptas. Las laderas de los cerros están constituidas básicamente por caras libres y taludes, pero con regolito.

El valle del río Copiapó presenta una dirección noroeste sureste y no esteoeste como en su parte distal. Este cambio de dirección puede deberse a una antigua falla presente en este sector.

Las condiciones climáticas son mucho más benignas que las anteriores. El período libre de heladas es de 7 a 8 meses, la temperatura máxima del mes de enero fluctúa entre los 29° y 31°C., por lo que existe actividad vegetativa todo el año, ya que la temperatura mínima de julio es de alrededor de 4°C. Por su parte, el índice de humedad estival es 0, es decir, durante todo el año las condiciones están dadas para que las plantas tengan vida, y esto dependerá única y exclusivamente de la disponibilidad de recursos hídricos, los que están representado aquí por las quebradas de Paipote, San Miguel y Carrizalillo y por el río Copiapó.

Asimismo, las condiciones de suelo son también mejores y de mayor desarrollo que en el subsistema anterior, que se han generado a partir de materiales aluviales y coluviales aunque presentan cierta salinidad, sin embargo, la gran mayoría de los suelos del valle del Copiapó caen dentro de las categorías II y III de capacidad de uso, siendo aptos para el regadío con ligeras y moderadas

restricciones y sólo una parte de ellos presenta problemas de salinidad y cal libre en algún horizonte. Los suelos del valle de Copiapó caen dentro de la categoría de los fluvisoles.

En cuanto a las unidades biogeográficas, éstas corresponden al jaral desértico y al semidesértico tropical. Característicos de este subsistema son el chañar (*Geopfroea decorticans*) y el algarrobo (*Prosopis* sp.), aunque actualmente este último debido al auge de los parronales para uvas de exportación, han tendido a desaparecer.

Sus recursos naturales, aquí se concentran principalmente yacimientos metálicos de cobre, plata y oro, además de algunos yacimientos no metálicos. Sin embargo, el principal recurso está dado por las características climáticas, edáficas e hídricas del valle del Copiapó, que lo hacen especialmente propicio para el cultivo de parronales para la uva de exportación, actividad de reciente y espectacular crecimiento.

Cabe destacar la importancia que reviste el tranque Lautaro ubicado en el extremo sur de este subsistema, específicamente en la confluencia de los ríos Jorquera, Manflas y Pulido, ya que permite regular el escaso recurso hídrico para optimizar el uso del agua.

### *3.5.3 Subsistema de la Cordillera de la Costa (C3).*

Este subsistema cuenta con aproximadamente 3083 km<sup>2</sup>. de superficie y representa el 4.1% del total regional.

Topográficamente los cerros se muestran menos escarpados y más bajos, presentándose campos de coluvios con aportes de arena. El valle comienza a ensancharse y por tanto a desprotegerse de los vientos.

El tipo climático corresponde al desértico transicional (Bwi), cuya característica fundamental es la influencia que provoca nubosidad alta y baja y además suaviza la conducta Térmica.

Existen tres meses con riesgo de ocurrencia de heladas (junio-julio-agosto). La temperatura máxima de enero es de 30° C, y no se aprecia receso vegetativo durante el año porque, al igual que en el subsistema anterior, la temperatura mínima de julio no desciende de 4°C. Todos los meses del año son secos, y el índice de humedad estival es 0. En Copiapó las precipitaciones alcanzan aproximadamente los 30mm. de promedio anual (Fuente: Peralta y Sierra 1987).

La ciudad de Copiapó es representativa para caracterizar el comportamiento de los elementos de esta unidad climática, representado un promedio de 120 días despejados al año y escasa precipitación, que se concentra en los meses invernales.

Al igual que el subsistema anterior, los recursos naturales están dados por la minería metálica (yacimientos de cobre, oro y plata) y no metálica.

Se presentan también excelentes condiciones de clima y suelo para el cultivo principalmente de viñas y parronales, así como para otros rubros importantes, como frutales, hortalizas, chacras, cereales y praderas.

#### *3.5.4 Subsistema de Planicies Litorales (C4).*

Este posee una superficie aproximada de 1.124 km<sup>2</sup>. y su característica geomorfológica distintiva está dada por las transgresiones y regresiones marinas que la afectaron originando una gran planicie litoral (pampas Puerto Viejo y de la

Higuera). Esta planicie ha sido disectada por el río Copiapó durante las diversas regresiones lo que hoy se retrata en las terrazas fluviales del valle.

La vegetación es escasa y nula en el interior, por lo que la erosión eólica encuentra condiciones favorables para su desarrollo. Sin embargo, al descender la planicie hacia el mar, se genera una zona expuesta al viento marino (barlovento), creando las condiciones para que aparezca el matorral subdesértico costero.

Climáticamente esta subunidad corresponde al desierto costero con nublados abundantes (Bwn) por la gran influencia del mar. La temperatura media anual es inferior a 16°C y los 365 días del año están libres de heladas.

Los suelos son fuertemente salinos y con horizontes salinos moderadamente compactados en profundidad o a veces cubiertos por dunas. En efecto, los sedimentos eólicos llegan a tapar las terrazas de abrasión marina. Estos suelos son en general pobres en materia orgánica y la infiltración va de rápida a moderada. Están insertos en el grupo de los yermosoles cálcicos.

Este subsistema presenta suelos con grandes limitaciones por la alta salinidad, lo que dificulta mucho su cultivo, de suerte que la incipiente actividad minera constituye el potencial más significativo.

Sin embargo, el mar aledaño presenta expectativas favorables para el cultivo de moluscos, la pesca, y muy especialmente el turismo, pues aquí se encuentra la playa Bahía Inglesa ubicada a 7 km. al sur de Caldera, con playas muy tranquilas y con temperaturas promedio de 17.5°C, en el verano.

Los riesgos más importantes para este sistema lo constituyen las inundaciones y crecidas aluvionales, deslizamientos de tierra, los movimientos sísmicos y en el sector costero los tsunamis.

En efecto, no obstante la característica de aridez del paisaje regional, las inundaciones constituyen un riesgo de consideración para la evaluación ambiental; de hecho existen antecedentes históricos de inundaciones y avalanchas periódicas en distintas partes del valle de Copiapó, entre los que se puede mencionar los episodios protagonizados por la quebradas de *Pabellón*, *Paipote* y *Carrizalillo*, sectores que hoy corresponden a grandes superficies con riesgo de inundación, cultivadas con parronales y habitadas con pobladores y campesinos.

Se puede afirmar que en el sistema del Valle de Copiapó las mayores potencialidades para la actividad agrícola se dan en el curso medio y superior del río, especialmente en este último, puesto que los requerimientos térmicos e hídricos son favorables para el desarrollo de ciertos cultivos, como uva y cítricos.

Importantes potencialidades mineras están presentes a través de yacimientos de cobre, hierro, oro, cobalto y manganeso, muchos de los cuales aún no se explotan.

En el sector costero, especialmente el litoral cercano a Puerto Viejo, existen interesantes potencialidades turísticas sobre la base de vastas playas aptas para el baño con aguas temperadas y de poco oleaje.

### **3.6 SISTEMA QUEBRADAS INTERFLUVIO (D).**

Este sistema tiene una superficie de 11.159 km<sup>2</sup>. que representa el 14.8% del total regional.

Corresponde al área comprendida entre los sistemas de los ríos Copiapó y Huasco, presentando quebradas de régimen intermitentes como *Las Tórtolas*, *Boquerón*, *Carrizal*, *Carrizalillo*, *La Coquimbana*, *Las Cuña*, *Salitral*, *Vaca Seca* y *Algarrobal*, las que drenan con orientación este oeste y que en conjunto conforman el sistema hídrico denominado quebradas interfluvio.

El atributo geomorfológico más representativo en este sistema es la porción de la depresión intermedia denominada Pampa Transicional, que se extiende entre los ríos Copiapó por el norte y Elqui por el sur, cubriendo una extensión estimada en 300 kms. y con un ancho medio de 50 kms.

En esta unidad fisiográfica, los efectos erosivos del paisaje se expresan con mayor vigor, y las pampas y llanos áridos se estrechan en medio de una red anárquica de lomas, sierras y cerros aislados, siendo las más importantes las sierras de Lomas y Oronqui, que se ubican inmediatamente al sur de la desembocadura del río Copiapó, como también las sierras Fritis y Los Cristales.

Este sistema presenta de oeste a este, tres tipos climáticos que son: el desierto costero con nubosidad abundante (Bwn) que aparece como una franja longitudinal de unos 20 kms. de ancho; el desértico transicional (Bwi) correspondiendo a una segunda franja que abarca desde el límite del Bwn y se interna por otros 50 a 70 kms. al interior del continente, hasta los 70°W; y el desierto frío de montaña (Bwkg), que limita al oeste con el Bwi y se interna otros 60 a 70 kms. al interior.

Los suelos de las quebradas más importantes como la de Totoral, Carrizalillo y otras, corresponden a estratificaciones, de material reciente, muy mezclados, de infiltración muy rápida con fuerte erosión de manto, presencia de zanjales y pobre en materia orgánica. En general califican en la clase VIII, de

capacidad de uso, por estar sometidos a los efectos torrenciales de las lluvias ocasionales.

La vegetación predominante es de *Prosopis sp.* y *Nolana sp.* (Peralta y Serra, 1987). También se encuentran numerosas otras especies y arbustos bajos. Las semillas de piso inferior son escasas y durante varios años permanecen a la espera de lluvias ocasionales, que cuando se presentan, permiten su pleno desarrollo.

Los recursos de este sistema están representados por la pequeña minería de cobre, oro y plata, además de yacimientos no metálicos como la baritina , cuarzo, etc.

Existen también áreas agrícolas muy importantes como es el caso de la hacienda Castilla, en donde los cítricos y frutales destacaban en un sector donde los recursos hídricos se presentan casi exclusivamente en forma de napas subterráneas que potencialmente tiene grandes posibilidades.

Los principales riesgos naturales provienen de las crecidas aluvionales, los deslizamientos de tierra y la actividad sísmica. Sin embargo, dado el bajo grado de habitabilidad y poblamiento, estos riesgos no han sido debidamente cuantificados, por lo que, a la fecha, no se cuenta con información relevante.

### **3.7 SISTEMA CUENCA DEL HUASCO.**

Corresponde efectivamente a la cuenca hidrográfica del río Huasco, cuya superficie es de 7.327 km<sup>2</sup>. correspondiendo al 9.7% de la región.

La hoya del Huasco limita al norte con la cuenca alta del río Manflas y con pequeñas quebradas como Algarrobal y Carrizal; por el sur colinda con la cuenca

del Río Turbio (tributario del río Elqui, en la IV Región), por el este con las altas cumbres de la cordillera de los andes y por el oeste con el mar chileno.

Posee un régimen mixto dado que en primavera predomina la alimentación nival, por el derretimiento de las nieves de la alta cordillera y en invierno se impone el régimen pluvial. Dicho comportamiento es producto del funcionamiento combinado de sus dos tributarios, los que poseen regímenes parecidos, pero mientras el río El tránsito presenta fuertes fluctuaciones estacionales, el río El Carmen posee una notable estabilidad.

### *3.7.1 Subsistema Preandino de la Cuenca del Huasco (E1).*

Presenta una superficie aproximada de 4.504 km<sup>2</sup>. Correspondiendo a un 6% del total regional.

En esta zona, la cordillera de los Andes alcanza un desarrollo transversal de 100 a 1220 kms. constituyendo una cadena montañosa maciza que gradualmente se levanta hacia el este hasta alcanzar cumbres de 5000 mts. significando una fuente de recarga y renovación para los sistemas hidrográficos. Los cursos de agua y quebradas intermitentes escurren hacia el oeste formando valles estrechos y encajonados entre los cuales están la quebrada de Chancoaquín, los ríos del Cazadero, laguna Grande y Valeriano, la quebrada Pachuy, el río Chollay y las quebradas de Pingo y Conay, todos los cuales se vacían en el río EL Transito.

El tipo climático corresponde al desierto frío de montaña. En el extremo oeste de este subsistema hay alrededor de 7 meses libres de heladas, cuya probabilidad de ocurrencia va desde mayo a septiembre; la temperatura máxima de enero es de 28°C, y la mínima de julio es 4°C. El período de receso vegetativo dura 1 mes (julio). La vegetación es rala y corresponde en general a la estepa subandina y los suelos corresponden en general a xerosoles cálcicos y litosuelos.

En este sector los principales recursos naturales están representados por yacimientos de minerales no metálicos como la baritina, cuarzo mármol y algunos metálicos.

También esta zona precordillerana presenta atractivos turísticos, como el Cajón del Encierro, las Lagunas Chica y Grande y el cerro las Placetas de 5.430 mt., especial para andinistas y amantes del montañismo.

### *3.7.2 Subsistema de la Pampa Ondulada (E2).*

Tiene una superficie aproximada de 1.373 km<sup>2</sup>. y geomorfológicamente corresponde a la Pampa Ondulada o Austral, inserta en el tipo climático desértico transicional (Bwi). Es en este subsistema donde confluyen los dos tributarios principales del río Huasco, El Tránsito y El Carmen en el lugar denominado Junta del Carmen, desde este lugar el río recorre 90 kms. hasta su desembocadura en el Mar Chileno.

Desde este sector hasta Vallenar, los valles acusan una orientación sureste noreste y una marcada estrechez, debido a que están delimitados por altos cerros, organizados en cordones cordilleranos e interrumpidos por frecuentes angosturas y quebradas laterales, algunas con terrazas aluviales de incipiente desarrollo.

Las características principales de los valles de los ríos Huasco, El Tránsito y El Carmen están dadas por un período libre de heladas de 11 meses (agosto a junio). La temperatura mínima de julio es de 5°C y la máxima del mes de enero es de 28°C.

No hay un período de receso vegetativo, el período seco cubre todo el año y el índice de humedad estival es 0, no hay excedentes hídricos, ni tampoco meses húmedos (Peralta y Serra, 1987).

En general los suelos del valle del Huasco y sus afluentes en su curso medio son derivados de materiales aluviales, sin salinidad o muy ligera. La mayoría ocupa una topografía de terrazas planas, con pendientes suave y drenaje normal. En general son suelos de espesor mediano a delgado, textura suelta, generalmente franco-arenosos, de color pardo en superficie y textura más pesada en profundidad. En la mayoría de los casos presentan acumulaciones salinas variables con detalle, en los horizontes B y C. La gran mayoría presenta perfiles pedregosos y muy pobres en materia orgánica. La permeabilidad es normal (Peralta y Serra, 1987).

La vegetación está representada principalmente por el jaral desértico.

A pesar de concentrarse una mayor cantidad de yacimientos metálicos y no metálicos que en el subsistema anterior, los recursos principales están dados por las características climáticas, suelo y el agua, que permiten su aprovechamiento en praderas naturales y artificiales, cereales, frutales (principalmente higos y olivos), hortalizas y chacras, parronales y viñas y, especies forestales, según orden de importancia.

Esta diferencia en el tipo de cultivo con respecto al valle de Copiapó se debe a las distintas características que imponen la escasez de agua y falta de tecnología e infraestructura adecuada para su uso. Es importante destacar también el carácter de minifundo que adquiere la propiedad, lo que incide en el nivel tecnológico de la explotación agropecuaria que es bajo en comparación al valle de Copiapó.

### *3.7.3 Subsistema de la Cordillera de la Costa y Planicies Litorales (E3).*

Representa el 1.9% del total regional con una superficie aproximada de 1.450 km<sup>2</sup>. El valle del río Huasco presenta en este sector un amplio aterramiento, alcanzando un gran desarrollo frente a la ciudad de Vallenar, donde registra una amplitud no inferior a 20 kms. pudiendo ser cultivada en toda

su extensión. Aguas debajo de Vallenar, el Huasco adopta una dirección este oeste, con una extensión entre ciudad y el Puerto de Huasco de 50 kms.

Aparecen dos tipos climáticos, el desértico transicional en la parte oriental y el desértico costero con nublados abundantes en el plano occidental. En la ciudad de Vallenar, el promedio anual de precipitaciones es de 40 mm., el período libre de heladas es de 11 meses (agosto a junio), la temperatura mínima de julio es de 6°C, y la máxima de enero es de 26°C, el período seco dura todo el año y el índice de humedad estival es 0. En general, estas características son válidas para toda la unidad, salvo que la temperatura máxima del mes de enero disminuye en 1°C, en el sector costero, donde la influencia es mayor.

Las condiciones edáficas son similares a las del subsistema anterior, sin embargo, a medida que se avanza hacia la costa aparecen suelos también derivados de materiales aluviales, pero de mayor salinidad. Son generalmente suelos con mal drenaje, salinos a alcalinos y a veces fuertemente alcalinos, con gran concentración de sales, casi siempre solubles en agua. Al secarse se presentan con visibles eflorecencias salinas. Presentan fenómenos de gleización y napas freáticas cerca de la superficie y un poco más pesadas en profundidad, presentando un moteado muy intenso, que refleja la fluctuación de las napas freáticas. La permeabilidad es lenta a muy lenta, la fertilidad es baja y presentan buen tenor de materia orgánica, pues permanecen casi siempre cubiertos con vegetación adaptada al mal drenaje y a la salinidad. La profundidad es variable, pero muchos de ellos son profundos o muy profundos. Su uso está condicionado por el drenaje.

También es posible observar suelos evolucionados en terrazas marinas cuyo perfil tienen un hardpan cálcico, formado por restos de moluscos. El horizonte compactado es variable, pues en la mayoría de los casos se presenta

suelto y permeable. No hay desarrollo del horizonte B, sino que se representan diferencias de color. (Peralta y Serra, 1987).

Debido a las características geográficas de esta unidad territorial, los recursos naturales más importantes están orientados al sector agrícola, al igual que el subsistema anterior; sin embargo, en el área litoral, la agricultura decrece ostensiblemente debido principalmente a la alta salinidad de los suelos.

Por otro lado, en el litoral, el recurso ictiológico más abundante es el congrio colorado seguido del jurel y la merluza común. Entre los mariscos abundan jaibas, ostiones, machas y otros. Existen también algas que se extraen todo el año.

El centro turístico más importante lo constituyen el puerto y la ciudad de Huasco, que actúa como núcleo receptor de su ámbito de influencia (Vallenar, Alto del Carmen y Freirina, etc.). El sector minero está representado básicamente por yacimientos de hierro, cobre, oro y plata.

### **3.8 SISTEMA INTERFLUVIO ÁRIDO SUR (F).**

Posee una superficie de 4.734 km<sup>2</sup>. y corresponde al sector sur occidental de la región, desarrollándose entre el valle del Huasco y el límite con la IV Región de Coquimbo.

Al sur del río Huasco, disectando la pampa transicional, se ubica un pequeño sistema de quebradas intermitentes que desembocan al mar como las quebradas Algarrobal, Chañaral, Carrizalillo, Los Pozos, Honda y San Juan, cuyo conjunto se acostumbra denominar sistema hídrico de la quebrada Algarrobal, que constituye el atributo hídrico más relevante de esta unidad.

En general, los suelos corresponden a cambisoles ócricos. Por otro lado, en el sector costero dominan los yermosoles cálcicos.

La formación biogeográfica característica corresponde al jaral costero, que se extiende entre los 24°30'S. hasta las vecindades de La Serena ocupando los faldeos inferiores de la Cordillera de la Costa y las planicies litorales. Su aspecto es el de un matorral abierto formado por arbustos de 1.2 m. de altura aproximadamente, marcadamente xerófitos y asociados a hierbas de vegetación primaveral. Debido a las precipitaciones más regulares y abundantes, el período vegetativo de las especies arbustivas es más largo que el de sus congéneres septentrionales y se representan algunos arbustos siempre verdes. Las principales especies arbustivas son: Mancay (*Baldisia peduncularis*), Lechero (*Emphorbia lactiflua*), Cacho de cabra (*Skystanthus acutus*), Churco (*Oxalia gigantea*), Pingo pingo (*ephedra andina*) y otras.

Estas están basadas en la minería, especialmente en minerales metálicos tales como el hierro y el cobre.

La vegetación existente permite en algunos sectores el pastoreo de caprinos y asnos. La vegetación existente permite en algunos sectores el pastoreo de caprinos y asnos. En la costa, las localidades del sector desarrollan principalmente la actividad extractiva de mariscos, principalmente el loco (*Concholepas concholepas*) y especies de bivaldos.

De acuerdo a los riesgos naturales, se presentan crecidas aluvionales ocasionales. La actividad sísmica tampoco está ausente pues constituye un riesgo característico de la Región de Atacama.

### 3.9 BALANCE DEL RECURSO HÍDRICO Y DEMANDA QUE EXISTE EN LA TERCERA REGIÓN.

De acuerdo a las características generales de las cuencas, su ubicación y tipo de demandas de aguas y a la localización de sus controles fluviométricos, en ella se ha considerado subcuencas de estudio solo de dos cuencas Río Copiapo y Río Huasco.

*\*La información que se observa a continuación fue obtenida por Estudios realizados por la Dirección General de Aguas referidos a determinar demanda actual y futura del recurso, y evaluación del mismo y así obtener una proyección del Recurso Hídrico.  
(Evaluación del Recurso Hídrico para la III , IV y V Regiones. D.G.A. 1996)*

#### 3.9.1 Río Copiapo. Subcuenca Río Copiapó en la Puerta.

Para el Río Copiapo se considero el balance en su conjunto, puesto que en sus afluentes de importancia no se realiza ninguna actividad predominante

##### *Recursos Superficiales.*

En el cuadro que viene a continuación se detallan los caudales medios mensuales promedio y para un año de seguridad 50% y 85% en miles de litros por segundo.

**Cuadro N°3.3 Caudales Medios Mensuales Característicos (miles de l/s)**

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
Q	2,25	2,30	2,26	2,01	2,08	2,00	1,99	2,19	2,63	2,86	2,72	2,43	2,31
Q50%	1,82	1,91	1,94	1,74	1,79	1,75	1,73	1,64	1,73	1,95	2,03	1,91	1,91
Q85%	0,97	1,06	1,13	1,01	1,05	1,06	1,02	0,85	0,79	0,90	0,98	0,98	1,06

*Fuente: Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile, ETAPA II. D.G.A.*

1992

### *Recursos Subterráneos*

Los antecedentes existentes permiten determinar que las aguas subterráneas de esta Subcuenca permitirían explotar un caudal de 2000 l/s.

### *Demandas.*

En el cuadro siguiente se resumen las demandas de agua tanto actuales como futuras, que deberían satisfacerse con los recursos indicados anteriormente

*Cuadro N°2.4 Demandas Actuales (miles de l/s).*

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
AGRICOLAS	1,348	0,218	0,191	0,215	1,103	1,699	3,221	4,149	4,621	4,998	4,198	2,499	28,46
AGUA POTABLE	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	4,644
INDUSTRIAL	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,084
MINERA	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	22,656
TOTAL	3,63	2,5	2,473	2,497	3,385	3,981	5,503	6,431	6,903	7,28	6,48	4,781	

*Cuadro N°2.5 Demandas Futuras proyectadas al 2017 (miles de l/s)*

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
AGRICOLAS	1,348	0,218	0,191	0,215	1,103	1,699	3,221	4,149	4,621	4,998	4,198	2,499	28,46
AGUA POTABLE	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	7,212
INDUSTRIAL	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,084
MINERA	2,778	2,778	2,778	2,778	2,778	2,778	2,778	2,778	2,778	2,778	2,778	2,778	33,336
TOTAL	4,734	3,604	3,577	3,601	4,489	5,085	6,607	7,535	8,007	8,384	7,584	5,885	

Considerando las demandas futuras, no es posible un incremento de las demandas agrícolas por no existir mayores recursos superficiales, aún cuando aparentemente existe un cierto potencial de recursos subterráneos para la Subcuenca del Río Copiapo.

### 3.9.2 Cuenca del Río Huasco.

De acuerdo a las características generales de esta cuenca, a la ubicación y tipo de demandas de aguas y a la localización de sus controles fluviométricos, ella ha sido subdividida en tres subcuencas cuyos balances se indican a continuación.

#### 3.9.2.1 Subcuenca Río Carmen en San Felix.

Considerada una cuenca de importancia producto de dos actividades predominantes de la región: Actividad Minera y Agrícola.

##### *Recursos Superficiales.*

En el cuadro que viene a continuación se detallan los caudales medios mensuales promedio y para un año de seguridad 50% y 85% en miles de litro por segundo.

*Cuadro N°3.6 Caudales Medios Mensuales Característicos (miles de l/s).(1992).*

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
Q	1,55	1,58	1,61	1,49	1,62	1,63	1,87	2,67	3,56	2,99	2,43	1,80	24,80
Q50%	0,93	1,11	1,30	1,15	1,09	1,08	1,03	1,13	1,10	0,87	0,87	0,87	12,53
Q85%	0,28	0,42	0,62	0,49	0,40	0,41	0,32	0,27	0,21	0,16	0,17	0,24	3,99

*Fuente: Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile, ETAPA II. D.G.A.*

1992

### Recursos Subterráneos.

Los antecedentes disponibles indican que no existen recursos explotables de aguas subterráneas en esta subcuenca.

### Demandas.

En los cuadros siguientes se resumen las demandas de agua tanto actuales como futuras, que deberían satisfacerse con los recursos indicados anteriormente.

**Cuadro N°3.7 Demandas Actuales (miles de l/s).**

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
AGRICOLAS	0,167	0,105	0,003	0,01	0,053	0,134	0,283	0,35	0,496	0,545	0,399	0,284	2,829
AGUA POTABLE	no tiene												0
INDUSTRIAL	no tiene												0
MINERA	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,56
TOTAL	0,297	0,235	0,133	0,14	0,183	0,264	0,413	0,48	0,626	0,675	0,529	0,414	

**Cuadro N°3.8 Demandas Futuras proyectadas al 2017(miles de l/s).**

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
AGRICOLAS	0,168	0,088	0,004	0,001	0,006	0,025	0,181	0,272	0,415	0,446	0,365	0,281	2,252
AGUA POTABLE	no tiene												0
INDUSTRIAL	no tiene												0
MINERA	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	2,124
TOTAL	0,345	0,265	0,181	0,178	0,183	0,202	0,358	0,449	0,592	0,623	0,542	0,458	

### 3.9.2.2 Subcuenca Río Tránsito en Angostura Pinte.

#### Recursos Superficiales.

En el cuadro que viene a continuación se detallan los caudales medios mensuales promedio y para un año de seguridad 50% y 85% en miles de litro por segundo.

**Cuadro N°3.9 Caudales Medios Mensuales Característicos (miles de l/s).**

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
Q	2,65	2,77	2,71	2,40	2,29	2,16	2,66	3,96	6,06	5,27	3,79	2,87	39,59
Q50%	1,91	2,06	2,16	1,90	1,90	1,71	2,11	2,54	2,95	2,67	2,56	2,07	26,54
Q85%	0,81	0,95	1,11	0,92	1,06	0,91	1,09	1,02	0,94	0,90	1,10	0,93	11,74

Fuente: Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile, ETAPA II. D.G.A.

### Recursos Subterráneos.

Los antecedentes disponibles indican que no existen recursos explotables de aguas subterráneas en esta subcuenca.

### Demandas.

En el cuadro siguiente se resumen las demandas de agua tanto actuales como futuras, que deberían satisfacerse con los recursos indicados anteriormente.

*Cuadro N°3.10 Demandas Actuales (miles l/s).*

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
AGRICOLAS	0,421	0,201	0,009	0,028	0,147	0,409	0,593	0,723	0,73	1,051	0,794	0,522	5,628
AGUA POTABLE	no tiene												0
INDUSTRIAL	no tiene												0
MINERA	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,48
TOTAL	0,461	0,241	0,049	0,068	0,187	0,449	0,633	0,763	0,77	1,091	0,834	0,562	

*Cuadro N°3.11 Demandas Futuras Proyectadas al 2017 (miles de l/s).*

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
AGRICOLAS	0,723	0,278	0,063	0,021	0,101	0,255	0,62	0,909	0,946	1,304	1,176	0,896	7,292
AGUA POTABLE	no tiene												0
INDUSTRIAL	no tiene												0
MINERA	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,66
TOTAL	0,778	0,333	0,118	0,076	0,156	0,31	0,675	0,964	1,001	1,359	1,231	0,951	

### 3.9.2.3 Subcuenca Río Huasco en Santa Juana.

#### Recursos Superficiales.

En el cuadro que viene a continuación se detallan los caudales medios mensuales promedio y para un año de seguridad 50% y 85% en miles de litro por segundo.

*Cuadro N°3.12 Caudales Medios Mensuales Característicos (miles de l/s).*

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
Q	4,60	4,80	4,67	5,30	4,08	3,82	4,90	6,94	10,01	8,35	5,38	4,55	67,40
Q50%	2,78	3,25	3,71	3,81	3,13	2,84	2,99	2,85	2,99	2,83	2,93	2,47	36,58
Q85%	0,93	1,24	1,78	1,75	1,46	1,28	1,12	0,78	0,63	0,65	0,93	0,79	13,34

*Fuente: Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile, ETAPA II. D.G.A.*

### *Recursos Subterráneos.*

Los antecedentes existentes permiten determinar que las aguas subterráneas de esta subcuenca permitirían explotar un caudal de 143 l/s.

### *Demandas.*

En el cuadro siguiente se resumen las demandas de agua tanto actuales como futuras, que deberían satisfacerse con los recursos indicados anteriormente.

*Cuadro N°3.13 Demandas Actuales (miles de l/s).*

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
AGRICOLAS	1,215	0,813	0,298	0,562	2,052	3,153	5,031	3,536	3,443	3,891	3,891	1,794	29,679
AGUA POTABLE	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	2,244
INDUSTRIAL	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,036
MINERA	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	5,796
TOTAL	1,888	1,486	0,971	1,235	2,725	3,826	5,704	4,209	4,116	4,564	4,564	2,467	

*Cuadro N°3.14 Demandas Futuras proyectadas al 2017 (miles de l/s).*

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
AGRICOLAS	3,057	2,495	0,79	0,567	1,445	2,676	7,172	7,485	8,618	9,296	7,564	5,2	56,365
AGUA POTABLE	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	3,228
INDUSTRIAL	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,18
MINERA	0,658	0,658	0,658	0,658	0,658	0,658	0,658	0,658	0,658	0,658	0,055	0,055	6,69
TOTAL	3,999	3,437	1,732	1,509	2,387	3,618	8,114	8,427	9,56	10,238	7,903	5,539	

En el caso de las Cuencas Endorreicas entre Frontera y Vertiente, solo existen demandas minera (Salvador División Codelco), no existiendo antecedentes respecto a nuevos proyectos de inversión en la minería de esta zona y considerando que las fuentes del recurso minero en este sector, es subterráneo, se registra una utilización menor a los derechos concedidos por la D.G.A.

*Tabla N° 3.15 Demandas Actuales Cuencas Endorreicas R/frontera y Vertientes*

<b>N° Resolución</b>	<b>FECHA</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fuente</b>	<b>Derechos</b>
575	30-11-83	Codelco Chile El Salvador	Subterránea	360
95	12-05-76	Codelco Chile El Salvador	Subterránea	100
243	02-07-86	Minera Anglo Americana Chile	Subterránea	50
35	08-02-84	Minera Anglo Americana Chile	Subterránea	80
59	15-04-68	Codelco Chile El Salvador	Río Juncalillo	38,77
1882	22-08-61	Andres Copper Mining	Subterránea	850
244	04-07-61	Chevron Minera	Subterránea	62
176	06-03-90	CIA. Minera Montes	Subterránea	20
163	27-04-89	CIA. Minera Anglo-Canrico	Subterránea	200
225	13-07-83	CIA. Minera Anglo-Canrico	Río Lamas	440
278	04-08-83	CIA. Anaconda.	R. Astuburuaga	200

Las cuencas Costeras de la Región, su demanda del Recurso Hídrico se localiza en el sector subterráneo (186 l/s de promedio), no afectando a la casi nula existencia de escorrentía superficial en estas cuencas. Se mencionan en este estudio solo con el fin de que quede constancia de haber considerado todas las Cuencas de la III Región de Atacama.

Al analizar las proyecciones futuras de las distintas actividades que se realizan en la región, se observa una restricción en el Recurso Hídrico Superficial, lo que dificulta el crecimiento económico de la región.

## **CAPITULO IV: ANALISIS HIDROLOGICOS DE CUENCAS.**

Un estudio hidrológico a escala regional de todas las cuencas, permite conocer magnitudes de caudal, a medir en distintos puntos de cada cuenca. Este se basa en las precipitaciones y utiliza metodología conocida en este ámbito.

A continuación se expone un estudio hidrológico regional, el cual identifica las cuencas de mayor aporte, para periodos de retorno 2 a 100 años, mediante tres modelos hidrológicos de cálculo con estimación para períodos críticos (máxima precipitación).

### **4.1. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS EN PERIODO PLUVIAL.**

Para la estimación de caudales máximos pluviales se proponen dos enfoques, uno de los cuales hace uso de fórmulas empíricas que estiman directamente el caudal instantáneo máximo asociado a un cierto período de retorno en tanto el otro emplea parámetros reales de grandes crecidas acontecidas en la región en estudio, permitiendo acotar los rangos de los parámetros antes expuesto.

Dentro del primer grupo se encuentran la Fórmula Racional y la fórmula de Verni y King, que han sido calibradas sobre la base de la información fluviométrica del país entre las Regiones III<sup>a</sup> a la IX y también el Método DGA-AC.

Cabe destacar que para el uso de estas expresiones hay que tener presente las limitaciones siguientes:

- Período de retorno inferior a 100 años.
- Superficies de cuencas inferiores a 10.000 km<sup>2</sup>.

Entre los principales aspectos a considerar para el uso de los métodos antes mencionados, pueden destacarse lo siguiente:

- En el Método DGA-AC para Crecidas Pluviales se establecen para el país relaciones destinadas a estimar al caudal medio diario máximo asociado al período de retorno de 10 años y coeficiente frecuencia para estimar caudales de otros períodos de retorno. Igualmente, se derivan valores para el factor de conversión ( $\alpha$ ) que posibilitan calcular el caudal instantáneo máximo a partir del caudal medio diario máximo.
- Para el uso de la fórmula de Verni y King Modificada, que constituye una versión generalizada de la fórmula original, se determina un coeficiente de corrección dependiente también del período de retorno.
- Para el uso de la Fórmula Racional se plantean coeficientes de escorrentía asociados al período de retorno de 10 años, estableciéndose los coeficientes de frecuencia respectivos para estimar esta variable para otros valores del período de retorno.

#### **4.2.- PARÁMETROS MORFOMETRICOS DE LAS CUENCAS.**

Los parámetros morfométricos de una cuenca son claves para generar un buen estudio de la misma, considerando importante disponer de una cartografía de la zona a analizar y así permita una buena definición de la cuenca.

Los parámetros relevantes son los siguientes:

##### **4.2.1 Longitud del Cauce Principal (L).**

Se obtiene de la medición directa de la longitud del cauce principal de la cuenca a lo largo de su trayectoria, considerando cauce principal el que llega a la cota más alta dentro de la cuenca. Generalmente se mide con instrumento de alta precisión o software.

#### 4.2.2 Longitud desde el centro de gravedad hasta el punto de salida (LG).

Para su determinación se identifica al centro de gravedad de la cuenca y luego se mide la longitud del recorrido de una partícula imaginaria de agua desde este punto hasta la salida de la cuenca.

#### 4.2.3 Desnivel máximo de la Cuenca (H).

Corresponde a la diferencia entre la cota del punto de la divisoria de las aguas de la cuenca más alto y alejado de su salida y la cota del punto de término del cauce principal.

#### 4.2.4 Pendiente Media de la Cuenca (S).

Se obtiene a partir de la expresión de Mociornita.

$$S = \frac{\Delta h}{A} \left( \frac{I_o}{2} + \sum I_i + \frac{I_n}{2} \right)$$

(4.1)

donde:

$\Delta h$  : Desnivel entre curvas de nivel adyacentes, en mts.

A : Área aportante de la cuenca, en m<sup>2</sup>.

$I_i$  : Longitud de la curva de nivel i, en mts.

N : Número total de curvas de nivel consideradas.

Es conveniente hacer notar que para el cálculo de caudales máximos de origen pluvial, estos parámetros deben determinarse para la cuenca definida por el área pluvial aportante.

#### 4.2.5 Tiempo de Concentración ( $t_c$ ).

Este parámetro puede estimarse a través de variadas fórmulas que entregan resultados en un amplio rango. En el siguiente estudio se adoptó la fórmula del California Highways and Public de EE.UU.

$$t_c = 0.95 \times \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

(4.2)

donde :

- $t_c$  : Tiempo de concentración de la cuenca, expresado en horas.
- L : Longitud del cauce principal, expresado en km.
- H : Desnivel máximo de la Cuenca, expresado en mt.

#### 4.2.6 Area Aportante Pluvial.

Para calcular el área aportante pluvial es necesario definir en primer lugar la ubicación de la línea de nieves, entendiendo que en este caso corresponde a la cota promedio durante eventos de tormentas, donde se produce la interfaces lluvia-nieve.

En la Tabla 4.1 se presenta la variación latitudinal de la línea de nieves promedio consignada por Peña y Vidal (1993) que en este estudio se propone como base para estimar el área pluvial desde la III<sup>a</sup> hasta el término de la VI<sup>a</sup> Región del país

Tabla 4.1. Línea de Nieves Promedio

Latitud (grados)	Peña – Vidal (* (m.s.n.m)
27.5	2690
28.0	2620
28.5	2550
29.0	2490
29.5	2420
30.0	2350
30.5	2280
31.0	2210
31.5	2150
32.0	2080
32.5	2010
33.0	1940
33.5	1870
34.0	1780
34.5	1640

(\*) estimada en base a considerar precipitaciones mayores a 10mm, con un gradiente de  $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  y una temperatura umbral de  $1^{\circ}\text{C}$ .

Nota: Hay que tener presente que los valores consignados en esta tabla tienen como objetivo servir de referencia para estimar áreas promedio aportantes, durante eventos de crecidas, en cuencas donde no existe control fluviométrico.

#### 4.2.7 Precipitación Diaria Máxima de Periodo de Retorno 10 años ( $P_{24}^{10}$ ).

La precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años, corresponde al valor representativo de la cuenca aportante analizada y se estima en base a los planos de isoyetas, escala 1:500.000, del estudio “Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días” de la Dirección General de Aguas.

#### 4.2.8 Precipitación Media Anual (Pma).

Para determinar esta variable se debe considerar un valor representativo de la cuenca aportante analizada, el cual se estima basándose en los planos de isoyetas, escala 1:500.000, del estudio “Balance Hídrico de Chile” de la Dirección General de Aguas.

#### 4.2.9 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia.

Para estimar la precipitación asociada a una duración menor de 24 horas para un período de retorno dado, teniendo como antecedente disponible la precipitación diaria, se recomienda utilizar los valores de coeficientes de duración generalizados propuestos por Varas y Sánchez (1983) que se consignan en la Tabla 4.2 (anexos) para localidades chilenas entre la IV y X Región.

La relación que liga la precipitación de período de retorno T y duración 24 hr con aquella del mismo período de retorno pero de duración t hr es:

$$P_t^T = CD_t \times P_{24}^T$$

(4.3)

donde:

$P_t^T$  : Precipitación de período de retorno T, asociada a una duración de t horas, en mm.

$CD_t$  : Coeficiente de duración para t horas.

Para la III Región, en donde no se dispone en la actualidad de valores para el coeficiente de duración, se recomienda aplicar la fórmula de Grunsky, que corresponde a la siguiente expresión:

$$I_t^T = I_{24}^T \sqrt{\frac{24}{t}}$$

(4.4)

donde:

$I_t^T$ : Intensidad media de período de retorno T y duración t, en mm/hr.

t : duración en horas.

Por otra parte si se requiere conocer la precipitación asociada a un período de retorno distinto a 10 años (entre 2 y 100 años) para una duración de 1 día, se recomienda utilizar los coeficientes de frecuencia ( $CF_t$ )

$$P_{24}^T = CF_T \times P_{24}^{10}$$

(4.5)

donde:

$CF_T$  : Coeficiente de Frecuencia para T años de período de retorno.

Finalmente ligando las ecuaciones (4.3) y (4.5), se obtiene que dada la precipitación máxima diaria de 10 años de período de retorno, la precipitación de cualquier duración y período de retorno es:

$$P_t^T = CD_t \times CF_T \times P_{24}^{10}$$

(4.6)

### **4.3 ESTIMACIÓN DE CAUDALES INSTANTANEOS MAXIMOS**

#### 4.3.1 Método DGA-AC para Crecidas Pluviales.

##### 4.3.1.1 *Descripción del Método.*

El Método DGA-AC para crecidas pluviales, corresponde a un análisis regional de crecidas de origen pluvial, basado en series de máximos anuales generados a partir de la información de caudales medios diarios máximos e instantáneos máximos del período pluvial.

Este método, que abarca estaciones desde la III<sup>a</sup> a la IX<sup>a</sup> Región, es válido para cuencas pluviales o pluvionivales sin información fluviométrica y con áreas comprendidas entre 20 y 10.00 km<sup>2</sup>. Su uso está restringido a período de retorno inferiores a 100 años.

El método consiste básicamente en determinar una curva de frecuencias para el caudal instantáneo máximo de la cuenca, basándose en el procedimiento esquematizado en el diagrama presentado en la Figura 4.1.

De acuerdo con dicho diagrama, en primer lugar debe definirse la zona homogénea la que pertenece la cuenca en estudio. Luego se determina la curva de frecuencias de la cuenca para la variable caudal medio diario máximo. Finalmente dicha curva se convierte a la correspondiente a caudales instantáneos máximos, a través de la determinación de un factor de conversión apropiado.

#### 4.3.1.2 *Determinación de Zona Homogénea.*

La ubicación de la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca, se determina sobre la base del diagrama, presentado en la Figura 4.2, en el cual se identifican cuatro agrupaciones principales de cuencas diferenciadas según su latitud.

En caso que la cuenca pertenezca a un interfluvio se recomienda considerar las dos zonas homogéneas adyacentes.

#### 4.3.1.3 *Determinación de Curva de Frecuencia Regional.*

Una vez identificada la zona homogénea, se ubica la curva de frecuencia adimensional correspondiente. Las curvas a utilizar son las que se presentan en las tablas 4.2 a la 4.25.(anexos) en estas tablas se consignan además de la curva de frecuencias regional, las curvas envolventes superior e inferior que representan los máximos y mínimos valores encontrados en cada zona homogénea.

FIG. 4.1 Esquema de Cálculo del Método DGA-AC para Caudales Instantáneos Máximos Pluviales

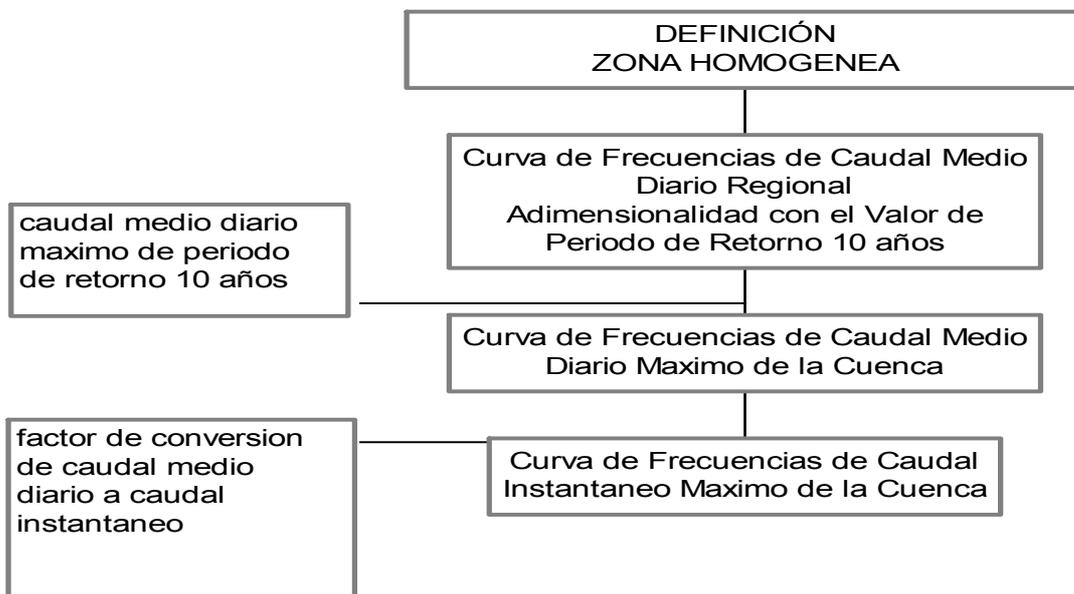
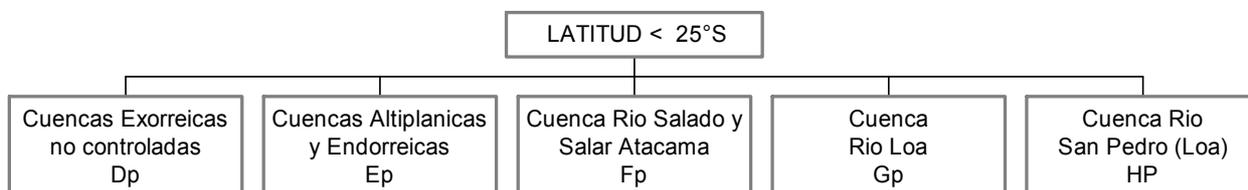


FIG. 4.2 Definición de Zonas Homogéneas Pluviales.

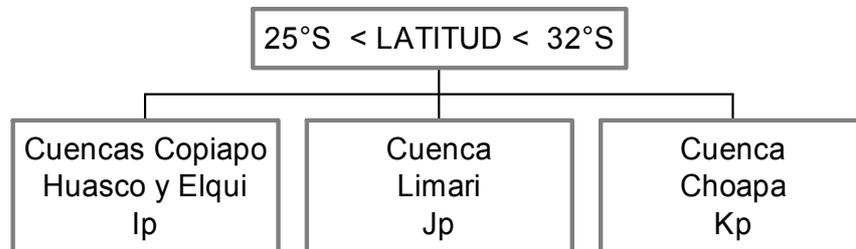
Cuencas Ubicadas al Norte de la Lat. 25°S.



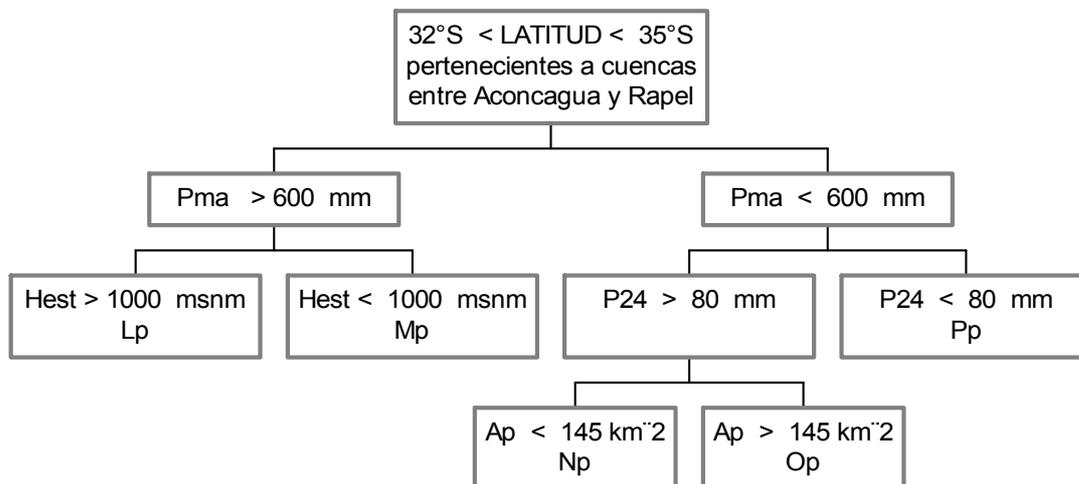
Donde:

Dp, Ep, Fp,....., Xp, Yp, Zp corresponden a la denominación de zonas homogéneas.

Cuencas Ubicadas entre Lat. 25°S y Lat. 32°S.



Cuencas Ubicadas entre Lat 32°S y Lat 35°S.



Donde:

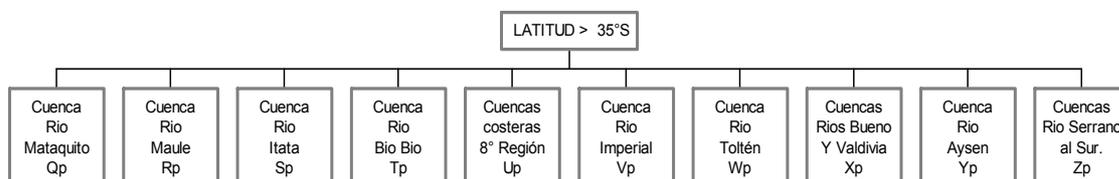
Pma : Precipitación media anual, mm.

P24 : Precipitación máxima en 24 horas y período de retorno 10 años,  
mm.

Hest : Cota de la estación, msnm.

Ap : Area pluvial, km<sup>2</sup>.

Cuencas Ubicadas al Sur de la Lat 35°S.



#### 4.3.1.4 Determinación del Caudal Medio Diario Máximo de Período de Retorno 10 años.

El Caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años ( $Q_{10}$ ), es la variable usada para adimensionalizar las curvas de frecuencias regionales del método.

Para su determinación se plantean las siguientes relaciones, las cuales dependen de la región en que se ubique la cuenca a analizar:

III y IV Región (4.7)	$Q_{10} = 1,94 \times 10^{-7} A_p^{0,776} (P_{24}^{10})^{3,108}$	(m <sup>3</sup> /s)
V – RM – VI Región (4.8)	$Q_{10} = 5,42 \times 10^{-8} A_p^{0,915} (P_{24}^{10})^{3,432}$	(m <sup>3</sup> /s)
VII a IX Región (4.9)	$Q_{10} = 2 \times 10^{-3} A_p^{0,973} (P_{24}^{10})^{1,224}$	(m <sup>3</sup> /s)

Donde:

$Q_{10}$  : Caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años, expresado en m<sup>3</sup>/s.

$A_p$  : Area pluvial de la cuenca, expresada en km<sup>2</sup>.

$P_{24}^{10}$  : Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años, expresada en mm.

Con estas relaciones es posible calcular la curva de frecuencias de caudal medio diario máximo de la cuenca, multiplicando los valores de la curva de frecuencia regional adimensional, obtenida en las tablas 4.3 a 4.26 (anexos), por el caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años.

#### 4.3.1.5 *Determinación de la Curva de Frecuencia del Caudal Instantáneo Máximo.*

El factor de conversión ( $\alpha$ ) de caudal medio diario máximo a caudal instantáneo máximo, se determina en función de la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca. Los valores de estos factores para cada zona homogénea se presentan en la Tabla 4.26.

*Tabla 4.26* Factores de Conversión del Caudal Medio Diario Máximo a Caudal Instantáneo Máximo.

ZONA HOMOGÉNEA	$\alpha$
Dp	2.19
Ep	1.13
Fp	3.07
Gp	1.40
Hp	1.13
Ip	1.25
Jp	2.14
Kp	1.59
Lp	1.67
Mp	1.48

Np	1.87
Op	1.76
Pp	1.43
Qp	1.51
Rp	1.45
Sp	1.37
Tp	1.28
Up	1.2-1.5 (*)
Vp	1.16
Wp	1.19
Xp	1.22
YP	1.27
Zp	1.24

- En la zona homogénea Up se entrega un rango para los valores del factor  $\alpha$ .

Finalmente, la curva de frecuencias de caudal instantáneo máximo de la cuenca se determina multiplicando la curva de frecuencias de caudal medio diario máximo por el factor de conversión  $\alpha$  correspondiente a la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca.

#### **4.3.2** Método de Verni y King Modificado.

##### **4.3.2.1** *Descripción del Método.*

Este método está basado en la fórmula de Verni y King, que relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias.

A la fórmula original, establecida para períodos de retorno mayores que 30 años, se le ha agregado un coeficiente empírico variable con el período de retorno, que es producto de un proceso de ajuste y calibración a los resultados de los

análisis de frecuencias realizados a un total de 130 estaciones limnigráficas ubicadas entre las regiones III<sup>a</sup> y IX<sup>a</sup> del país, inclusive.

La fórmula de Verni y King Modificada tiene la siguiente forma:

$$Q = C(T) \cdot 0.00618 \cdot P_{24}^{1.24} \cdot A_p^{0.88} \quad (4.10)$$

donde:

Q : Caudal instantáneo máximo asociado al período de retorno T años, expresado en m<sup>3</sup>/s.

C(T) : Coeficiente empírico de período de retorno T años.

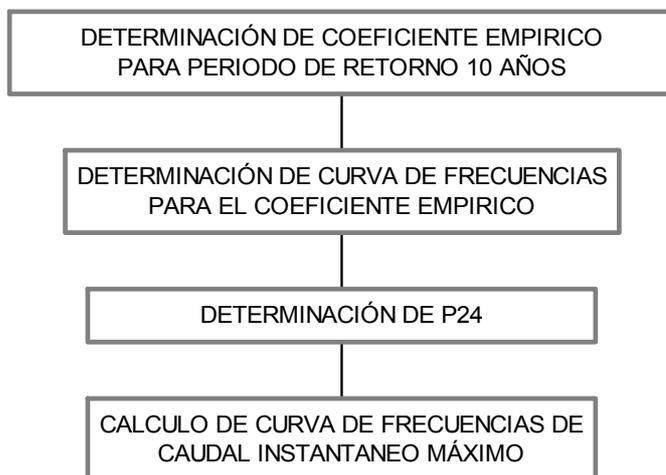
P<sub>24</sub> : Precipitación diaria máxima asociada al periodo de retorno de T años, expresada en mm.

A<sub>p</sub> : Area pluvial de la cuenca, expresada en km<sup>2</sup>.

El método presentado tiene validez para cuencas sin control fluviométrico, de régimen pluvial o nivopluvial, con áreas comprendidas entre 20 y 10000 km<sup>2</sup>, y que estén ubicadas entre las regiones anteriormente mencionadas. Su uso se limita a estimaciones de caudales de períodos de retorno menores a 100 años.

El procedimiento de cálculo consiste en determinar el coeficiente empírico del ajuste y calibración antes mencionado, el cual resulta ser función del período de retorno. Luego se aplica la fórmula directamente. En el diagrama presentado en la Figura 4.3 se esquematizan los pasos involucrados.

Fig. 4.3 Esquema de Cálculo del Método de Verni – King Modificado.



#### **4.3.2.2** *Determinación del Coeficiente Empírico de período de Retorno 10 Años.*

El coeficiente empírico de período de retorno T años se obtiene a base del correspondiente coeficiente asociado a un período de retorno T=10 años C(T=10). Este último coeficiente es variable de acuerdo a la región en que se encuentra la cuenca analizada, como se indica en la siguiente tabla.

*Tabla 4.27* Coeficiente C(T=10 años) Fórmula de Verni y King Modificada.

Región	C(T=10)
III	0.027
IV – Cuenca Elqui	0.057
IV – Cuenca Limarí	0.180
IV – Cuenca Choapa	0.200
V	0.290
VI	0.680
VII	0.710
VIII	0.790
IX	0.890

#### **4.3.2.3** *Determinación de la Curva de Frecuencia del Coeficiente Empírico.*

El coeficiente empírico C(T) es función del período de retorno. Para su determinación se debe calcular primeramente el valor del factor de frecuencia  $C(T)/C(T=10)$  y luego se debe multiplicar éste por el coeficiente asociado al período de retorno de 10 años obtenido de la Tabla 4.27.

En la Tabla 4.28 se presentan los valores del factor de frecuencia que depende también de la ubicación geográfica de la cuenca así como del período de retorno T de la crecida que se desea calcular.

**Tabla 4.28** Coeficiente de Fórmulas Empíricas.

PERIODO RETORNO T(años)	C( T )/C(T=10)								
	III	IV	IV	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	Región	Elqui	Limari	Choapa	Región	Región	Región	Región	Región
2	0,90	0,87	0,44	0,33	0,38	0,63	0,86	0,91	1,03
5	0,95	0,93	0,75	0,68	0,84	0,85	0,95	0,99	1,02
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,10	1,06	1,26	1,38	1,15	1,15	1,03	1,01	0,98
25	1,14	1,10	1,36	1,54	1,22	1,20	1,04	1,02	0,98
50	1,23	1,15	1,62	2,00	1,38	1,33	1,04	1,02	0,97
100	1,32	1,20	1,91	2,56	1,59	1,55	1,04	1,03	0,93

#### **4.3.2.4** *Determinación de la Precipitación Diaria Máxima.*

Se estima para el período de retorno de interés T según lo indicado para el modelo anterior.

#### **4.3.2.5** *Determinación del Caudal Instantáneo Máximo de Período de Retorno T.*

Determinadas todas las variables que definen la ecuación (4.7 ) se calcula el caudal asociado al período de retorno T que se desea.

#### 4.3.3 F3rmula Racional.

##### 4.3.3.1 Descripci3n del M3todo.

La F3rmula Racional es un m3todo ampliamente conocido en Hidrolog3a. En este estudio se utiliza sobre la base del empleo de coeficientes de escorrent3a que mejor se ajustan a los resultados de los an3lisis de frecuencias efectuados en el estudio desarrollado para su elaboraci3n. Estos an3lisis incluyen informaci3n de 130 estaciones hidrom3tricas ubicadas entre la III<sup>a</sup> y IX<sup>a</sup> Regiones de Chile.

La expresi3n que permite determinar el caudal instant3neo m3ximo de per3odo de retorno T es:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3.6}$$

(4.11)

Donde:

Q: Caudal instant3neo m3ximo de per3odo de retorno T, expresado en m<sup>3</sup>/s.

C: Coeficiente de escorrent3a asociado al per3odo de retorno T.

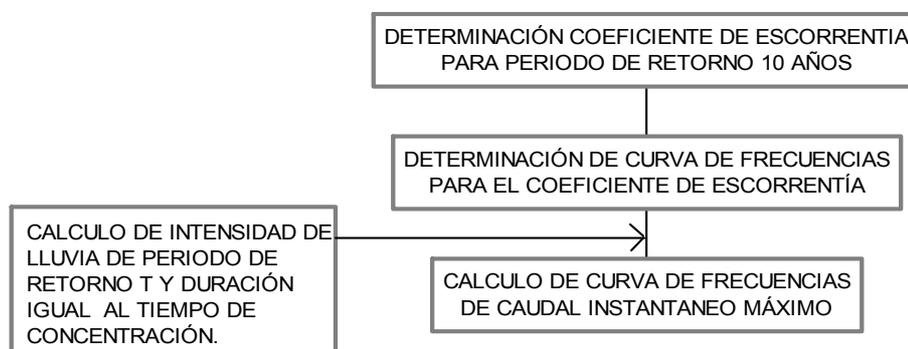
I: Intensidad media de lluvia asociada al per3odo de retorno T y a una duraci3n igual al tiempo de concentraci3n de la cuenca pluvial, expresada en mm/hr.

A: Area pluvial aportante expresada en km<sup>2</sup>.

Por tratarse de una f3rmula emp3rica, su rango de aplicaci3n es el de los datos que la validan. En el presente caso ello corresponde a cuencas sin control fluviom3trico, con 3reas pluviales comprendidas entre 20 y 10.000 km<sup>2</sup>, de r3gimen hidrol3gico pluvial o pluvio – nival y ubicadas entre las regiones III<sup>a</sup> y IX<sup>a</sup> del pa3s. Adem3s al igual que los anteriores m3todos, es aplicable para per3odos de retorno menores a 100 a3os.

El procedimiento de cálculo consiste básicamente en determinar el coeficiente de escorrentía que es función del período de retorno, de la ubicación geográfica de la cuenca y de la intensidad de la lluvia de diseño. En el diagrama presentado en la figura 4.4 se ilustra este procedimiento.

*Fig. 4.4* Esquema de Cálculo de la Fórmula Racional.



#### 4.3.3.2 *Determinación del Coeficiente de Escorrentía de Período de Retorno 10 Años.*

El coeficiente de escorrentía asociado al período de retorno de 10 años  $C(T=10)$  es variable según la ubicación geográfica de la cuenca. En la Tabla 4.29 se presentan los valores que corresponde utilizar según la región o cuenca donde se realiza el cálculo.

Cabe destacar que estos coeficientes son aplicables sólo en cuencas naturales. Para cuencas urbanizadas se recomienda utilizar los coeficientes de escorrentía usuales.

Tabla 4.29 Coefficiente C(T=10). Fórmula Racional.

Región	C(T=10)
III	0,009
IV - Cuenca Elqui	0,025
IV - Cuenca Limarí	0,078
IV - Cuenca Choapa	0,080
V	0,080
VI	0,310
VII	0,900
VIII	0,360
IX	0,280

**4.3.3.4** *Determinación de la Curva de Frecuencia del Coeficiente de Escorrentía.*

Para determinar el valor del coeficiente de escorrentía correspondiente a cualquier período de retorno comprendido entre 2 y 100 años, se debe multiplicar el valor del coeficiente asociado al período de retorno de 10 años por la razón  $C(T)/C(T=10)$ . Se ha demostrado con estudios anteriores, que este factor de frecuencias es igual al del método de Verni y King modificado. Por lo tanto para su estimación se debe hacer uso de la Tabla 4.28.

**4.3.3.5** *Determinación de la Intensidad de Lluvia.*

Se estima para el período de retorno y duración especificada según lo indicado en el acápite 4.2.9 del presente capítulo.

**4.3.3.6** *Determinación del Caudal instantáneo Máximo de Período de Retorno T*

Determinadas todas las variables de la ecuación (4.11), se estima el caudal instantáneo máximo asociado al período de retorno de interés.

#### **4.4 RESULTADOS DEL ESTUDIO REALIZADO MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE CAUDALES INSTANTÁNEOS MÁXIMOS.**

Como forma de ilustrar la aplicación de los métodos descritos anteriormente, a continuación se presentan los resultados obtenidos para cada cuenca de la Tercera Región, identificando el modelo que se utilizó, además señalando una metodología aplicada para cada modelo (aplicación a una cuenca).

Las cuencas han sido descritas anteriormente y sus parámetros morfométricos son calculados mediante metodología expuestas a continuación.

##### *4.4.1 Cuenca De Domeyco De La Tercera Región.*

La cuenca de Domeyco ha sido seleccionada para representar las metodologías utilizadas en el cálculo de los métodos DGA-AC, VERNI-KING y RACIONAL, para la estimación de caudales instantáneos máximos en crecidas pluviales. A continuación se presentan los datos básicos para los cálculos de los modelos.

##### *Area Aportante Pluvial:*

Parámetros Morfométricos: Obtenidos de Cartas IGM para el área pluvial definida y base digitalizada a escala 1:250000.

Longitud del Cauce Principal (L):

Diferencia de Altura (H):

*Datos Pluviométricos:* Obtenidos de planos de isoyetas de acuerdo a lo indicado en los acápites 4.2.6 y 4.2.7.

$P_{24}^{10} = 40$  (mm) considerando la mayor precipitación en 24 horas.

*Tiempo de Concentración:* Estimado según se indica en el acápite 4.2.5 para las cuencas pluviales. A continuación se presenta una tabla de cálculo del parámetro Tiempo de Concentración para todas las cuencas de la Tercera Región.

*Tabla N°4.30 Cálculo Tiempo de Concentración.*

	CUENCA	Area Pluvial (km <sup>2</sup> )	H (m)	L (km)	Tc (Hrs)
1	Costeras Q. Pan de Azucar - Rio Salado	6620,63	800,00	180,66	29,29
2	Cuenca El Salvador	7531,87	800,00	181,33	29,41
3	Cuenca Caldera	5793,75	300,00	96,15	20,62
4	Costeras Rio Copiapo - Carrizal	2053,13	300,00	54,40	10,68
5	Queb. Totoral y Cos. Queb. Hasta Queb. Carrizal	5945,62	310,00	161,44	37,05
6	Queb. Carrizal y Costeras H.R. Huasco.	2424,37	330,00	83,59	16,91
7	Cuenca Vallenar - Freirina	9783,13	600,00	197,37	36,24
8	Cuenca Domeyco	3903,75	400,00	114,09	22,49
9	Cuenca Copiapo	18000,00	1100,00	229,97	34,24
10	Cuenca endorreicas R/Frontera y Vertientes.	15643,12	1700,00	76,34	8,10

#### 4.4.1.1 Aplicación del Método DGA-AC.

La Cuenca es el límite fronterizo natural de la III Región con la IV Región, por lo tanto su caudal medio diario máximo de período de retorno de 10 años se calcula con la ecuación (4.1) del acápite 4.3.1.4.

Por otro lado, por pertenecer a la Tercera Región, la zona homogénea correspondiente es la Ip, considerando dos cuencas que no pertenecen a dicha zona homogénea. La siguiente tabla muestra las zonas, las precipitaciones diarias máximas para un retorno de 10 años y factor de conversión de las cuencas de la III Región.

TABLA N°4.31 DESCRIPTIVA DE ZONAS HOMOGENEAS

Cuenca	Area Pluvial	Precip. Diaria Max.	Definición	
	km <sup>2</sup>	P <sup>10</sup> <sub>24</sub>	Zona Homogenea	&
Costeras Q. Pan de Azucar - Río Salado	6620,625	20	Dp	2,19
Cuenca El Salvador	7531,87	20	lp	1,25
Cuenca Caldera	5793,75	20	lp	1,25
Costeras Río Copiapo - Carrizal	2053,125	20	lp	1,25
Queb. Totoral y Cos. Queb. Hasta Queb. Carrizal	5945,62	30	lp	1,25
Queb. Carrizal y Costeras H.R. Huasco.	2424,37	30	lp	1,25
Cuenca Vallenar - Freirina	9783,125	45	lp	1,25
Cuenca Domeyco	3903,75	40	lp	1,25
Cuenca Copiapo	18708,75	35	lp	1,25
Cuenca endorreicas R/Frontera y Vertientes.	15643,12	*22	Ep	1,13

Según House (1962), las Cuencas Endorreicas reciben una precipitación bruta equivalente a un gasto medio de 22 m<sup>3</sup>/s. Considerado dicho dato para realizar el estudio, muy ambiguo, producto de la falta de representación de toda la cuenca en su totalidad. Por lo tanto las Cuencas Endorreicas serán solo analizadas por el Método de la DGA-AC, ya que no se necesitan Coeficiente de Frecuencia y Duración de las Precipitaciones.

La siguiente tabla muestra un resumen del cálculo realizado para el desarrollo del Método DGA-AC, aplicado en la Cuenca de Domeyco.

Tabla N°4.32 Curva de Frecuencias Caudal Instantáneo Máximo Cuenca Domeyco. Método DGA-AC.

AP (Km <sup>2</sup> )	T (años)	Q(T)/Q10 adim.	P <sup>24</sup> <sub>10</sub>	Q10	Q(T)=(Q(T)/Q10)*Q10 m <sup>3</sup> /s	&	&*Q(T)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
3903,75	2	0,43	40,00	11,32	4,87	1,25	6,09
3903,75	5	0,74	40,00	11,32	8,38	1,25	10,47
3903,75	10	1,00	40,00	11,32	11,32	1,25	14,15
3903,75	20	1,27	40,00	11,32	14,38	1,25	17,98
3903,75	25	1,36	40,00	11,32	15,40	1,25	19,25
3903,75	50	1,66	40,00	11,32	18,80	1,25	23,50
3903,75	100	2,00	40,00	11,32	22,65	1,25	28,31

Donde:

Columna 1: Area Aportante Pluvial de la Cuenca.

Columna 2: Periodo de retorno.

Columna 3: Curva de Frecuencia Regional Caudales Medios Diarios Máximos, de acuerdo a la Zona Homogénea Ip.

Columna 4: Precipitaciones diaria Máxima de periodo de Retorno 10 años, obtenidas de los planos de Isoyetas (DGA).

Columna 5: Caudal Medio Diario Máximo de periodo de retorno 10 años (obtenida ecuación 4.1. acápite 4.1.14)

Columna 6: Curva de Frecuencias Caudal Medio Diario Máximo. (Columna 3 \* Columna 5)

Columna 7: Factor de Conversión de acuerdo a la Zona Homogénea. (tabla 4.24).

Columna 8: Curva de Frecuencias Caudal Instantáneo Máximo. (Columna 6 \* Columna 7)

#### 4.4.1.2 Aplicación del Método de Verni y King Modificado.

En la Tabla siguiente se resume el cálculo de caudales instantáneos máximos por este método, para la Cuenca de Domeyco. Para las Cuencas Endorreicas no existe información confiable de los parámetros Precipitaciones Máximas en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años y el Coeficiente de Frecuencia para dicha Cuencas.

Tabla N°4.33 Cálculo de Caudales Instantáneos Máximos Cuenca de Domeyco. Método Verni y King Modificado.

AP (Km <sup>2</sup> ) (1)	T(años) (2)	C(10) (3)	C(T)/C(10) (4)	C(T) (5)	P <sup>24</sup> <sub>10 (mm)</sub> (6)	CF <sub>T</sub> (7)	P <sup>24</sup> <sub>10 (mm)</sub> (8)	Q (m <sup>3</sup> /S) (9)
3903,75	2	0,03	0,90	0,02	40,00	0,38	15,08	3,28
3903,75	5	0,03	0,95	0,03	40,00	0,75	30,08	6,90
3903,75	10	0,03	1,00	0,03	40,00	1,00	39,80	9,61
3903,75	20	0,03	1,10	0,03	40,00	1,24	49,52	13,15
3903,75	25	0,03	1,14	0,03	40,00	1,39	55,68	15,33
3903,75	50	0,03	1,23	0,03	40,00	1,55	61,84	18,37
3903,75	100	0,03	1,32	0,04	40,00	1,78	71,08	22,66

Donde:

Columna 1: Area Aportante Pluvial de la Cuenca.

Columna 2: Período de Retorno.

Columna 3: Valor del Coeficiente empírico de período de retorno 10 años, obtenido de Tabla 4.25.

Columna 4: Curva de Frecuencia de coeficiente empírico referido al valor de período de retorno 10 años, obtenido de tabla 4.26.

Columna 5: Curva de Frecuencias de Coeficiente Empírico.  
( Columna 2 \* Columna 3).

Columna 6: Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años, obtenida de los planos de isoyetas.

Columna 7: Coeficiente de Frecuencias de la cuenca, obtenido de estudio "Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días".

Columna 8: Precipitación diaria máxima de período de retorno T .  
(Columna 5 \* Columna 6).

Columna 9: Curva de frecuencias de caudal instantáneo máximo, calculado para período de retorno con ecuación (4.4).

#### 4.4.1.3 *Aplicación de la Fórmula Racional.*

En la Tabla siguiente se presenta el cálculo de caudales instantáneos máximos por este método, para la Cuenca de Domeyco. Al no tener información confiable para Las Cuencas Endorreicas R/Frontera y Vertientes con respecto a las precipitaciones y su Duración, no se aplica este modelo para dicha cuenca.

*Tabla N°4.34 Cálculo de Caudales Instantáneos Máximos. Cuenca de Domeyco.  
Método Fórmula Racional.*

AP (Km <sup>2</sup> ) (1)	T (años) (2)	C(10) (3)	C(T)/C10 (4)	C(T) (5)	P <sub>24</sub> <sup>10</sup> (mm) (6)	CFT (7)	P <sub>24</sub> <sup>T</sup> (mm) (8)	Tc (hr) (9)	CDtc (10)	I <sub>tc</sub> T (mm/hr) (11)	Q=C*I <sup>A/3,6</sup> (m <sup>3</sup> /s) (12)
3903,75	2	0,009	0,90	0,01	40,00	0,38	15,08	22,49	1,00	0,67	5,89
3903,75	5	0,009	0,95	0,01	40,00	0,75	30,08	22,49	1,00	1,34	12,40
3903,75	10	0,009	1,00	0,01	40,00	1,00	39,80	22,49	1,00	1,77	17,27
3903,75	20	0,009	1,10	0,01	40,00	1,24	49,52	22,49	1,00	2,20	23,64
3903,75	25	0,009	1,14	0,01	40,00	1,39	55,68	22,49	1,00	2,48	27,54
3903,75	50	0,009	1,23	0,01	40,00	1,55	61,84	22,49	1,00	2,75	33,00
3903,75	100	0,009	1,32	0,01	40,00	1,78	71,08	22,49	1,00	3,16	40,71

donde:

Columna 1: Area Aportante Pluvial.

Columna 2: Período de Retorno.

Columna 3: Coeficiente empírico de período de retorno 10 años, obtenido de la Tabla 4.27.

Columna 4: Curva de Frecuencias de coeficiente empírico referido al valor de período de retorno 10 años, obtenido de Tabla 4.26.

Columna 5: Coeficiente empírico de período de retorno T años. (Columna 2 \* Columna 3).

Columna 6: Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años, obtenido de los planos de isoyetas.

Columna 7: Coeficiente de Frecuencia de la cuenca, obtenido del estudio "Precipitaciones en 1, 2 y 3 días".

Columna 8: Curva de Frecuencias de precipitación diaria máxima.

Columna 9: Tiempo de Concentración de la cuenca.

Columna 10: Coeficiente de duración para el tiempo de concentración de la cuenca, obtenida según lo indica el acápite 4.5.

Los resultados obtenidos de los modelos anteriormente descritos para las restantes cuencas de la región, se observan en el anexo (capítulo 10) del presente estudio, de la siguiente forma:

- Resultados Modelo DGA-AC. Tablas 4.34 – 4.42.
- Resultados Modelo Verni y King Modificado. Tablas 4.43 – 4.50.
- Resultados Modelo Fórmula Racional. Tablas 4.51 – 4.58.

#### **4.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICOS DE LA TERCERA REGIÓN.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en los modelos anteriores, se identifica que los modelos tienen un comportamiento individual para cada cuenca. Considerando las cuencas más representativas para la Región de Atacama corresponde a: Cuenca del Copiapó, Cuenca del Huasco y Cuenca Endorreicas R/Frontera y Vertientes, como una forma de veracidad de los resultados obtenidos para dichas cuencas se procede analizar los casos de cuencas más representativas de la región (Cuenca Río Copiapó y Río Huasco) y con mayor información, realizando dicho análisis desde el punto de vista hidrológico (modelo de estimación de crecidas) v/s hidrométrico (modelo Manning), estableciendo condiciones máximas de caudal para las secciones de la desembocadura de los Ríos Copiapó y Huasco.

La Cuenca Endorreica R/Frontera y Vertientes a pesar de su gran extensión y contribución para ciertas actividades, en la región es un caso excepcional, por ende será analizado más adelante para la proposición de ciertas estaciones de medición.

Las Cuenca del Salvador, Domeyco y Costeras no presentan gran relevancia de carácter hidrológico, generando un aporte mínimo a la región de acuerdo al Recurso Hídrico Superficial, considerado más importante para estas cuencas su aporte subterráneo.

A continuación se presenta un resumen de los modelos realizados para las cuencas de mayor importancia para la región (Cuenca del Río Copiapó y Cuenca del Río Huasco).

#### 4.5.1 Cuenca del Copiapó.

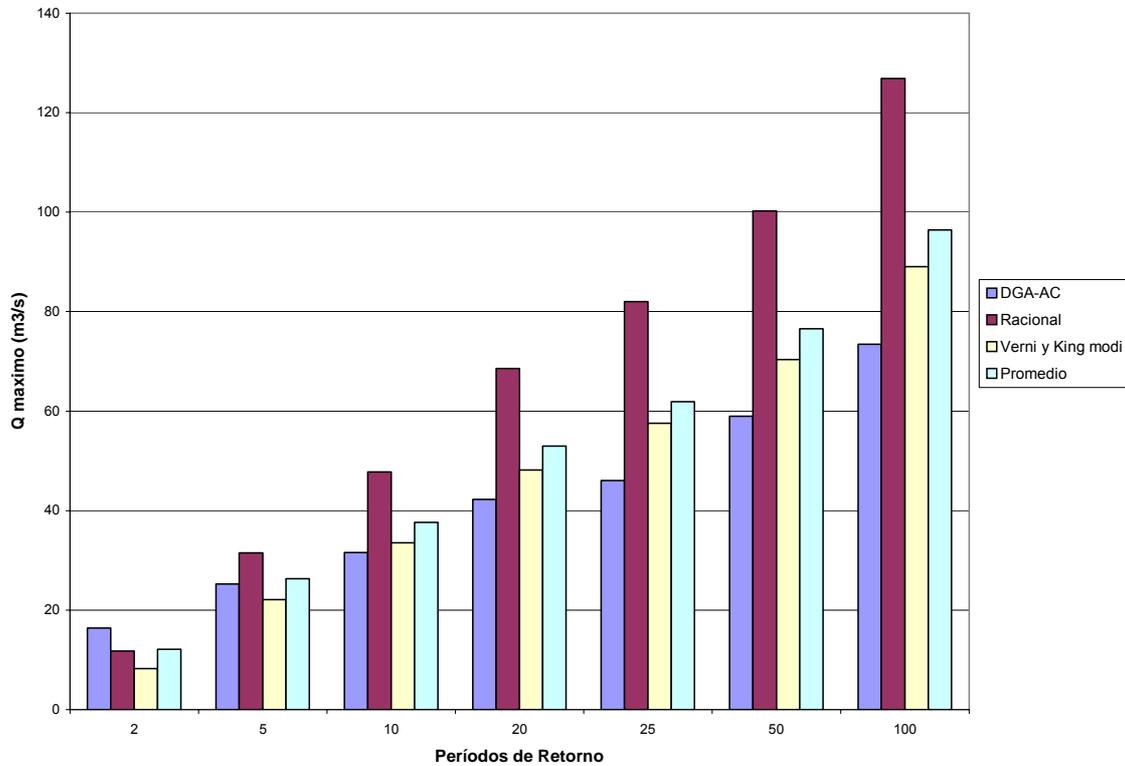
Tabla N° 4.59 Resumen de Resultados para la Cuenca del Copiapó.

T (años)	Caudal Método DGA-AC (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Fórmula Racional (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Fórmula Verni y King (m <sup>3</sup> /s)	Q PROMEDIO (m <sup>3</sup> /s)
2	16,39778966	11,7475977	8,24564891	12,13034542
5	25,22736871	31,5229596	22,1259924	26,29210688
10	31,53421088	47,7649577	33,5262648	37,60847779
20	42,25584258	68,5826379	48,1382124	52,99223099
25	46,03994789	82,005117	57,559462	61,86817563
50	58,96897435	100,270552	70,3799862	76,53983738
100	73,47471135	126,856843	89,0409267	96,45749354

De acuerdo a los datos obtenidos por los modelos de estimación de caudales máximos en episodios críticos, se observa una variación aproximada de 30 m<sup>3</sup>/s, para la cuenca del Copiapó. No teniendo registros confiables en situaciones críticas para esta cuenca se considera importante realizar una estimación de capacidad máxima que resiste las secciones cercanas a la desembocadura de la cuenca.

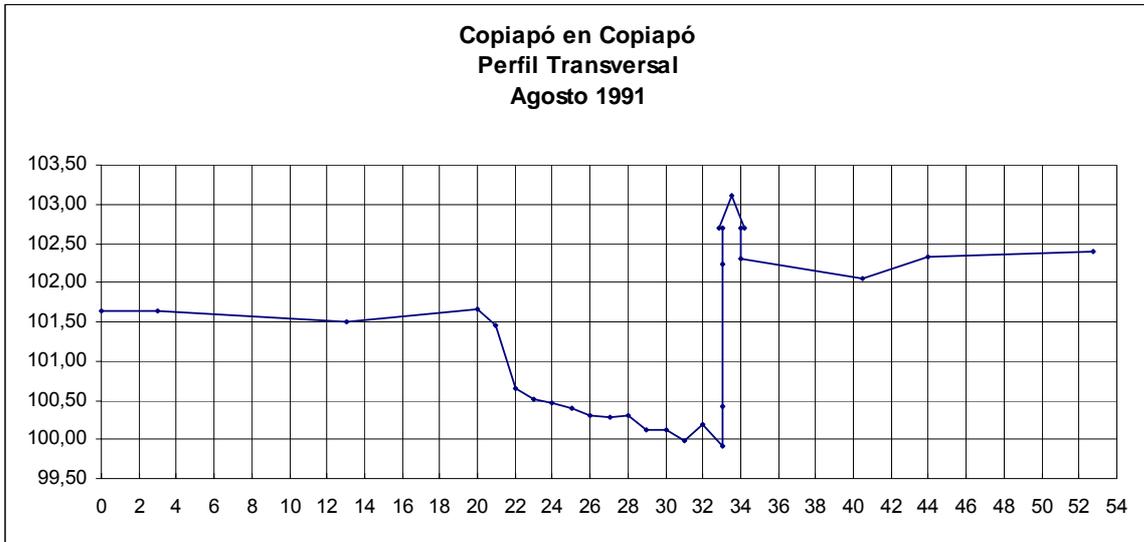
Los registros que mantiene la Dirección General de Aguas, no presentan datos cercanos a los estimados en los modelos de crecidas. El caudal máximo instantáneo registrado en la Estación Copiapó en Angostura es de 60 m<sup>3</sup>/s, registrado en 1997. En el presente gráfico se describe los resultados de los modelos hidrológicos aplicados a la Cuenca del Copiapó.

**Gráfico Resultante de los Modelos Hidrológicos para la Cuenca del Copiapó**



*Figura N°4.0 Gráfico Resultante de Modelos Hidrológicos para la Cuenca del Copiapó.*

A continuación se presenta el perfil transversal y fotografía de la Estación Copiapó en Ciudad de Copiapó, estación cercana a la desembocadura de la cuenca.



*Figura N°4.1 Perfil Transversal de la Estación Copiapó en Ciudad de Copiapó.*



*Figura N°4.2 Estación en Ciudad de Copiapó. Enero 2001.*

Utilizando el Perfil Transversal y la Fotografía de la Estación, se puede estimar como aceptable que la capacidad máxima de soporte de caudal en dicha estación sea aproximadamente de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\pm 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (si el área es de  $26 \text{ m}^2$  la velocidad en estimada en crecida es de  $5 \text{ m/s}$ ). En la fotografía siguiente se observa la misma sección Copiapó en Ciudad de Copiapó con una crecida que sobrepasa los límites de la sección, desbordando sobre el parque y la calle del costado derecho de la fotografía anterior.



*Figura N° 4.3 Fotografía de la Estación Copiapó en Ciudad de Copiapó en crecida.*

De acuerdo a la fotografía se estima que el caudal observado en esta crecida, con un río menos canalizado que la sección actual, debe sobrepasar los  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\pm 12 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Los registros que mantiene la D.G.A. no presenta esta estimación, producto de que la estación al ser sobrepasada colapso y realizar un aforo en estas condiciones pone en riesgo de vida a cualquier persona. Es posible pensar que en la desembocadura de la cuenca, el caudal de

salida en un tipo de evento como este, con un período de retorno de 100 años sea a lo menos de 100 (+/-15) m<sup>3</sup>/s. Luego es razonable suponer entonces, que el promedio de los valores alcanzados por los tres métodos desarrollados, representa bien el valor de Caudal para cualquier período de retorno dado (para T=100 el Q<sub>pro</sub>=97 m<sup>3</sup>/s, tomado como ajuste del modelo).

#### 4.5.2 Cuenca del Río Huasco.

A continuación se describe un análisis de los resultados obtenidos por los modelos de estimación de caudales máximos para episodios críticos en la Cuenca del Río Huasco.

Tabla N°4.60. Resumen de Resultados para la Cuenca del Huasco.

T (años)	Caudal Método DGA-AC (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Fórmula Racional (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Fórmula Verni y King (m <sup>3</sup> /s)	Q PROMEDIO (m <sup>3</sup> /s)
2	21,65260728	9,46	10,03	13,71362495
5	33,3117035	20,35	18,42	24,02577477
10	41,63962938	30,94	24,13	32,23773393
20	55,79710337	44,52	31,76	44,02526502
25	60,7938589	55,02	36,05	50,62053967
50	77,86610694	68,95	42,27	63,02910033
100	97,02033646	92,20	50,51	79,91159213

Los modelos DGA-AC y Fórmula Racional, presentan un rango de variación 5 m<sup>3</sup>/s aproximadamente. El Modelo de Verni y King modificado varía su resultado en más de 40 m<sup>3</sup>/s, considerando excesivo su variación. A continuación se presenta un gráfico que describe los resultados de los modelos hidrológicos aplicados a la Cuenca del Huasco.

Gráfico Resultante de los modelos Hidrológicos para Cuenca de Vallena

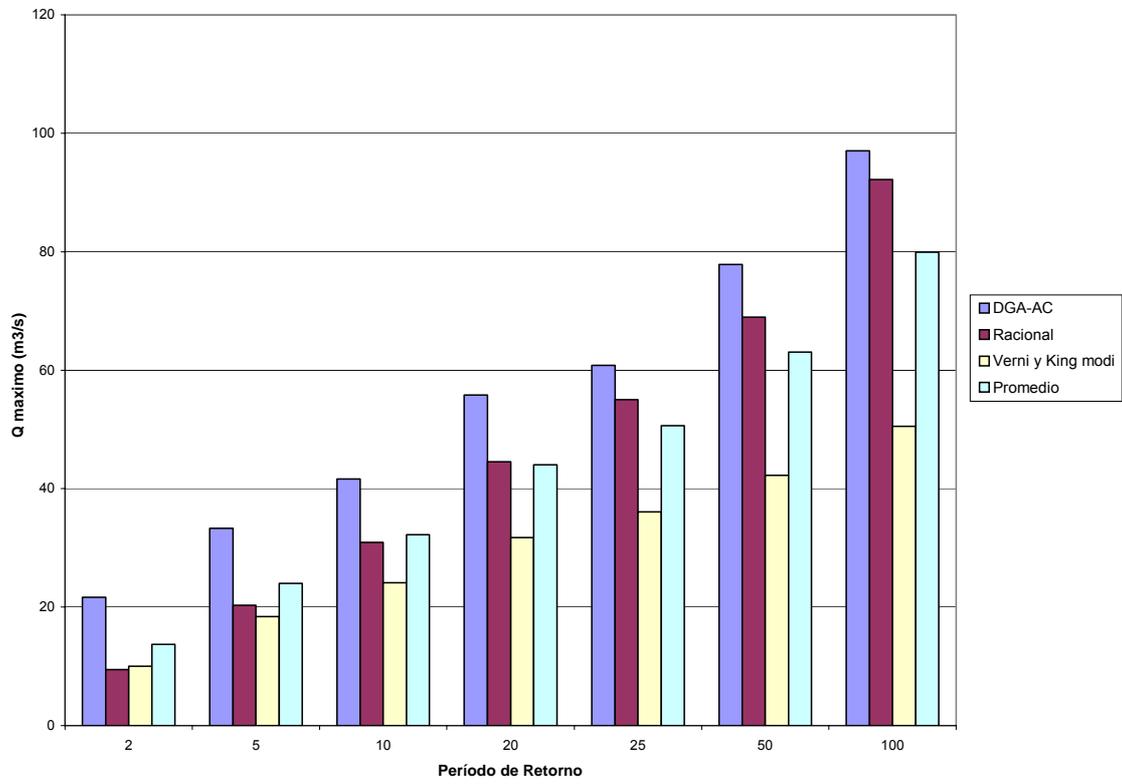
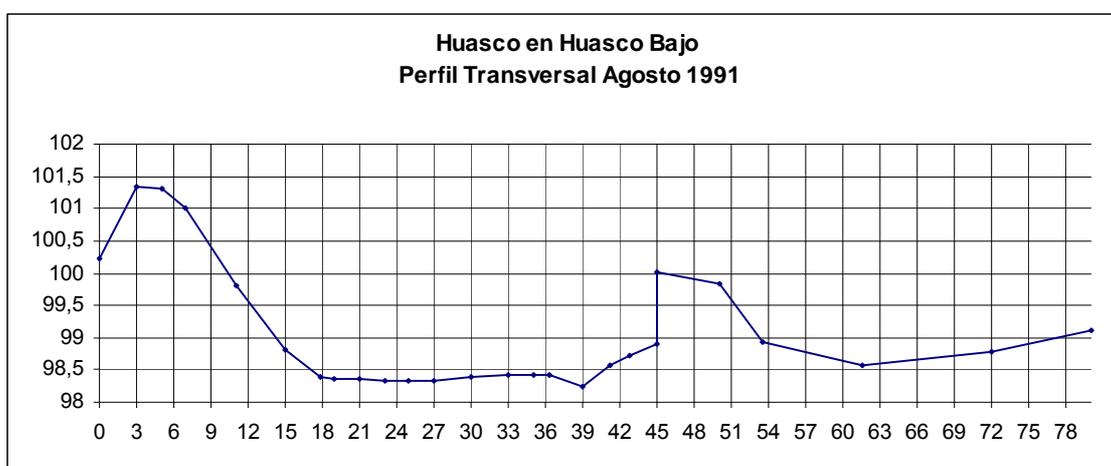


Figura N°4.5. Gráfico Resultante de los modelos Hidrológicos para la Cuenca del Huasco.

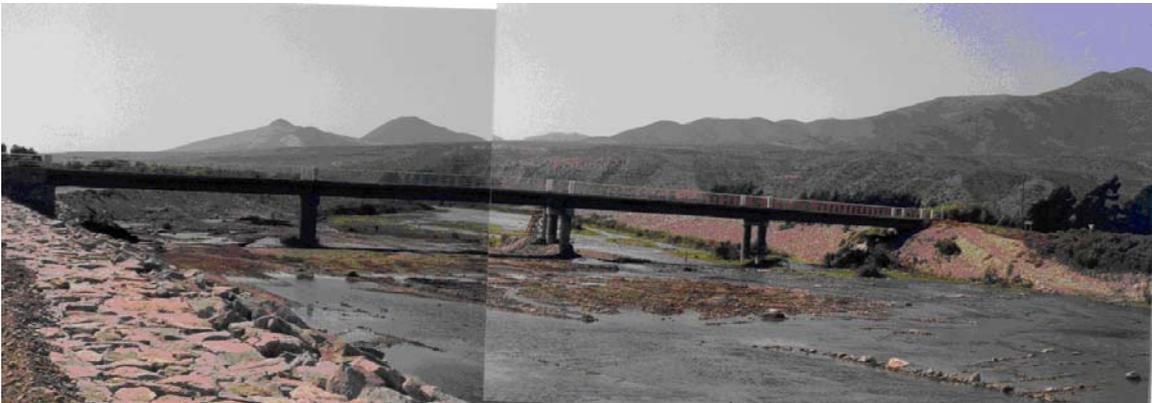
Se considera para el estudio de estimación de caudales críticos de la cuenca, la sección Huasco en Puente El Pino. El perfil transversal que describe dicha sección no se encuentra, pero en reemplazó, se describe el perfil transversal de Río Huasco en Huasco Bajo, 2 km. .mas abajo que Huasco en Puente el Pino, en el sector de la desembocadura.



*Figura N°6.4. Perfil Transversal de Huasco en Huasco Bajo. 1991.*



*Figura N° 4.5 Fotografía Huasco en El Pino.*



*Figura N°4.6. Fotografía 2 Sección Huasco en el Pte. El Pino.*

Observando el perfil transversal, se puede estimar como aceptable de caudal  $120 \pm 15 \text{ m}^3/\text{s}$  para la sección. Pero esta, por la construcción de un nuevo puente a sido mejorada. La sección actual tiene una distribución mucho más ordenada que la anterior, con un diseño hidráulico ideal que permite en un análisis preliminar estimar su capacidad sobre los  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que se observa en la figura 4.62 y 4.63.

Los datos de caudal, registrados en el Banco Nacional de Aguas alcanzan a los  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  en la desembocadura. Esta medición se realizó con el apoyo de puentes en el sector, lo que permite pensar en un buen valor medido.

Luego, el promedio de los tres métodos desarrollados hidrológicamente no escapa a los valores estimados para un período de retorno de 100 años.

El promedio de los tres métodos, entonces resulta ser un buen valor para cualquier estimación de caudal en “T” años como período de retorno.

#### **4.6 ANÁLISIS FINAL DEL PRESENTE CAPÍTULO.**

Las precipitaciones son levemente mayores en la Cuenca del Huasco, pero su área a evacuar es menor, en comparación a la Cuenca del Copiapó, lo que hace aparecer a los caudales estimados como similares, siendo este fenómeno una coincidencia de cálculo.

Las Cuencas que se encuentran al norte del río Copiapó y las Cuencas Costeras no representan un aporte significativo para la región, con respecto a escurrimiento superficial.

Los modelos considerados para realizar el estudio en episodios críticos para las cuencas de la III región, presentan diferencias +/-20 m<sup>3</sup>/s, considerado como representativo el promedio entre ellos para representar una situación crítica.

En el caso de la cuenca del Huasco, los modelos representativos son: El Método DGA-AC y Fórmula Racional, representando valores más reales a registros obtenidos del BNA y estimaciones de capacidad de secciones de la cuenca.

Para la Cuenca del Copiapó, el Método de Verni y King Modificado representa valores más cercanos a la realidad, de acuerdo a los registros obtenidos del BNA.

No obstante el promedio de los tres modelos descritos, representa un valor empírico real, con cierta variabilidad en un rango de  $\pm 15 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para las Cuencas Endorreicas R/Fronteras no se puede realizar una estimación de caudales máximos instantáneos, ya que dicha cuenca presenta condiciones especiales climáticas, lo que afecta directamente una posible estimación de caudales. Otro de los factores a contemplar corresponde su ubicación superior de la cota 3000 m.s.n.m., excediendo la línea de precipitaciones líquidas (según Peña y Vidal).

La implementación de estaciones con equipamiento en tiempo real en la desembocadura de las cuencas del Río Copiapó y Huasco, facilitaría la obtención de registros cercanos a la realidad, disminuyendo las posibilidades de error en un estudio de situaciones críticas a futuro.

## **CAPITULO V. DESCRIPCIÓN DE LA RED FLUVIOMÉTRICA ACTUAL.**

La *Red Hidrometrica Nacional*, es un instrumento, el cual está diseñado para la medición de variables cuantificables del Recurso Hídrico, tales como: escorrentía superficial, calidad de agua, metereologicas y redes de pozos subterráneos. El organismo encargado de operar dicha red es la D.G.A, con todas sus oficinas a escala regional y central. Los datos registrados por dicha Red Nacional, pasan a conformar el Banco Nacional de Aguas (BNA), el cual contiene un registro de toda la Red Hidrometría Nacional, con acceso al público en general. (capitulo 1).

Él presente capítulo abarca la descripción de la Red Fluviométrica de la III región, considerando solo el parámetro de la medición de caudal superficial.

De acuerdo a los datos registrados de la Red Fluviométrica de la III Región y según las estadísticas que se encuentra en el Banco Nacional de Aguas, las primeras estaciones fueron ubicadas en:

- Río Huasco en Santa Juana, en diciembre de 1914.
- Río Carmen en Ramadillas, en diciembre de 1917.
- Río Copiapó en el Bosque, en diciembre de 1918.

Desde su inicio la Red Fluviométrica de la Tercera Región a sido analizada por organismos privados los cuales han realizado una distribución homogénea de acuerdo a las necesidades y criterios expresados por la D.G.A. No obstante, una nueva ubicación de estaciones la realizan funcionarios de la D.G.A, los cuales previa observación de la situación de estaciones, realizan modificaciones para una correcta utilización de la estación, puesto que las condiciones que presenta la escorrentía superficial no son constantes a lo largo del tiempo.

En la actualidad la Tercera Región cuenta con una Red de 27 estaciones en funcionamiento, las cuales se han distribuidos de acuerdo a las necesidades de la región, considerando las cuencas de mayor importancia, Cuenca del Río Copiapó y Cuenca del Río Huasco.

*Tabla N° 5.1 Nomina de todas las Estaciones Existentes en la III Región.*

Código BNA	Nombre Estación	Fecha		ALTURA MSNM	Coordenadas				Area Km2
		Instal.	Supres.		Lat.S	Lon.W			
03022001-3	RIO LA OLA EN VERTEDERO	Dic-85			26	29	69	3	
03041001-7	RIO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE	Nov-79		3965	27	20	69	2	
03041002-5	RIO VILLALOBOS EN VERTEDERO	Dic-79		3850	27	13	69	2	
03041003-3	RIO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS	Dic-79		3950	27	10	69	2	
03041004-1	RIO VALLE ANCHO EN LA BARRERA	Dic-79		3800	27	10	64	2	
03041005-K	RIO LAMAS EN EL SALTO	Ago-80		4130	27	4	69	58	
03050001-6	RIO ASTABURUAGA EN CONO	Dic-79		4130	27	30	69	5	
03404001-K	RIO JORQUERA EN VERTEDERO	Dic-47		1250	28	2	69	58	4150
03414001-4	RIO PULIDO EN VERTEDERO	Dic-64		1310	28	3	69	58	2108
03421001-2	RIO MANFLAS EN VERTEDERO	Dic-64		1550	28	4	70	0	1180
03421002-0	RIO MANFLAS ANTE JUNTA CON RIO COPI	Sep-85	Feb-86		28	8	70	0	
03421003-9	RIO MANFLAS EN CASA DE LA HACIENDA	Abr-86	Abr-86		28	2	69	58	
03430001-1	RIO COPIAPO EN LAUTARO	Dic-31		1200	27	59	70	4	8348
03430002-K	RIO COPIAPO EN SAN ANTONIO	Dic-27	Oct-87	850	27	52	70	4	7816
03430003-8	RIO COPIAPO EN PASTILLO	Dic-27		1300	28	3	69	59	7467
03431001-7	RIO COPIAPO EN LA PUERTA	Dic-27		758	27	48	70	8	8348
03431002-5	RIO COPIAPO EN EL BOSQUE	Dic-18	Ago-31		27	43	69	39	
03431003-3	RIO COPIAPO EN PABELLON	Dic-27	Jul-30		27	39	70	15	
03434001-3	RIO COPIAPO EN MAL PASO AGUAS ARRIB	Dic-27		431	27	31	70	18	10186
03434002-1	CANAL MAL PASO DESPUES DE BOCATOMA	Dic-88		431	27	13	70	18	
03434003-K	RIO COPIAPO EN MAL PASO AGUAS ABAJO	Dic-88		431	27	13	70	18	
03450001-0	RIO COPIAPO EN CIUDAD DE COPIAPO	Sep-83			27	5	68	5	
03453001-7	RIO COPIAPO EN ANGOSTURA	Dic-63		48	27	20	70	54	18324
03453002-5	CANAL MARIA ISABEL DESPUES DE BOCAT	Dic-87			27	20	70	45	
03802001-3	RIO CONAY EN LAS LOSAS	Dic-84			29	1	70	18	
03802002-1	RIO CONAY EN JUNTA LAGUNA GRANDE	Dic-28	Jun-30		28	53	70	4	
03802003-K	RIO HUASCO ANTES JUNTA RIO CHOLAI-C	Dic-28	Jun-30		28	58	71	10	
03804001-4	RIO TRANSITO EN LOS TAMBOS	Dic-58	Dic-71	1400	28	57	70	13	2774
03804002-2	RIO TRANSITO EN ANGOSTURA PINTE	Feb-61		1000	28	52	70	16	3220
03804003-0	RIO HUASCO EN CHANCHOQUIN	Dic-27	Nov-30		28	54	70	17	
03804004-9	RIO TRANSITO EN EL TRANSITO	Dic-29	Ago-31		28	52	70	17	
03806001-5	RIO TRANSITO ANTES JUNTA RIO CARMEN	Dic-27		812	28	45	70	29	4153
03814001-9	RIO CARMEN EN SAN FELIX	Dic-29		812	28	56	70	29	2735
03814002-7	RIO CARMEN EN EL COLORADO	Dic-28	Ago-31		28	59	70	31	
03814003-5	RIO CARMEN EN EL CORRAL	Ene-91		2000	29	7	70	23	
03815001-4	RIO CARMEN EN RAMADILLAS	Dic-17		825	28	45	70	29	2922
03815002-2	CARMEN EN PTE. LA MAJADA	Sep-88		1075	28	54	70	27	
03820001-1	RIO HUASCO EN ALGODONES	Dic-28	Ene-88	600	28	44	70	30	7187
03820002-K	RIO HUASCO EN CHEPICA	Jun-97		600	28	44	70	30	7187
03821001-7	RIO HUASCO EN SANTA JUANA	Dic-14		378	28	39	70	42	7862
03825001-9	RIO HUASCO EN PUENTE NICOLASA	Dic-71	Oct-87	9616	28	30	70	57	
03826001-4	RIO HUASCO EN HUASCO BAJO	Dic-87			28	28	71	12	

Fuente: Departamento de Hidrometría. D.G.A.

## 5.1 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DE LA III REGIÓN.

A continuación se realiza un catastro de las estaciones vigentes en la III Región de Atacama, identificando su fecha de instalación, cuenca en la que se encuentra, su ubicación según coordenadas, su implementación y la entrega de datos.

### 5.2.1 Estaciones de Cuenca Endorreicas.

#### *1.-Estación La Ola en Vertedero.*

*Código BNA: 03022001-3*

Su instalación fue realizada en Diciembre de 1985, ubicada en la cuenca Endorreicas de la Tercera Región, sus coordenadas corresponden a 26° 29' S y 69°3' W.

Su equipamiento consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar una vez al mes aforos.

La altura de la ubicación corresponde la 3850 m.s.n.m., cercana al salar de Pedernales.

Por condiciones climáticas, durante 5 meses del año (Junio al 17 de octubre) no se realizan visitas, por lo tanto las estadísticas que entrega dicha estación es incompleta, lo cual dificulta cualquier estudio Hidrológico acabado.

Los aforos, mecanismo por el cual se completa las estadística Hidrométricas es defectuoso ya que es imposible viajar al sector producto de condiciones climáticas durante los 5 meses mencionados antes.



Figura N° 5.1. *Estación Valle Ancho antes de junta Barros Negros. Enero 2001.*

2.-*Estación Río Barros Negros antes de junta Valle Ancho.*

*Código BNA: 03041001-7*

Su instalación fue realizada en Noviembre del año 1979, siendo una de las primeras estaciones ubicadas en la cuenca cerrada de la III Región.

Su ubicación corresponde al sur del Salar de Maricunga, siendo su coordenada 27° 20 S y 69° 3 W.

Su equipamiento consta de:

- Limnigrafo Análogo
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar una vez al mes aforos.

En mayo del año pasado se efectuó una visita a la estación, identificando la sección de aforo congelada en su superficie, existiendo escurrimientos bajo la capa de hielo con escasa velocidad.

La cámara limnigráfica se encontraba congelada, lo que impide una correcta medición del instrumento en las siguientes 5 meses (Junio al 17 de Octubre), a su vez existen visitas inspectivas por la Oficina Regional a dicha estación y a ninguna de esta cuenca.

En consecuencia su estadística es incompleta lo que dificulta un correcto seguimiento Hidrológico.

### *3.-Estación Río Villalobos en Vertedero.*

*Código BNA.: 03041002-5*

Su instalación fue realizada en diciembre de 1979, siendo sus coordenadas 27° 13' S y 69° 2' W, ubicada geográficamente al sur del Salar de Maricunga, teniendo una altura aproximada a los 3850 m,s,n,m.

Su equipamiento consta de:

- Limnigrafo Análogo
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar una vez al mes aforos.

Al igual que todas las estaciones ubicadas en la Cuenca Endorreica, en los meses de invierno por condiciones climáticas desfavorables no se realizan visitas inspectivas, puesto que sus rutas de acceso se encuentran cortadas.

En el mes de mayo se realiza la última inspección antes del periodo invernal, en dicha visita se realiza el aforo correspondiente.

Desde diciembre se vuelven a realizar visitas las cuales constan de mantención de equipos, para optimizar la época de medición que consta desde el mes de noviembre a mayo.



Figura N°5.2. Estación Valle Ancho en la Barrera. En época de congelamiento.

#### 4.-Estación Río Valle ancho antes de junta Barros Negros.

Código BNA.: 03041003-3

Su instalación fue realizada en diciembre de 1979, teniendo una ubicación al sur de la estación Villalobos, con coordenadas  $27^{\circ} 10' S$  Y  $69^{\circ} 2' W$ .

Dicha estación tiene como objetivo medir el caudal que aporta el Río Valle Ancho antes del Río Barros Negro.

Su equipamiento consta de:

- Limnigrafo Análogo
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar una vez al mes aforos.

En mayo del año pasado se efectuó una visita a la estación en la cual no se pudo aforar producto de que la sección se encontraba congelada.

Al realizar una inspección óptica de la cámara limnigráfica está se encontraba congelada, visualizando el flotador en el hielo.

Durante los meses de junio a octubre las condiciones climáticas son desfavorables para la visita inspectiva de la estación.

Por lo tanto, su estadística es incompleta, lo que desfavorece un mejor análisis Hidrológico.

*5.-Estación Valle Ancho en la Barrera.*

*Código BNA: 03041004-1*

Su instalación se realizó en diciembre de 1979, ubicada al norte de la estación Valle Ancho ante de junta de Barros Negros, con coordenadas de 27° 10' S y 64° 2' W.

El objetivo a seguir es medir el caudal afluente de entrada al Río Valle Ancho entre la sección de la junta con el Río Barros Negros.

Su equipamiento consta de:

- Limnigrafo Análogo
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar una vez al mes aforos.

En el mes de mayo se realiza la última inspección antes de la época invernal, encontrando la sección de aforo.

*6.-Estación Río Lamas en El Salto.*

*Código BNA: 03041005-K*

Su instalación se realizó en diciembre de 1980, ubicada a más de 4130 m.s.n.m., con coordenadas 27° 4' S y 69° 58' W.

Este Río es un afluente directo del Salar de Maricunga, por lo cual se ve la necesidad de medir su caudal de entrega a dicho Salar.

Su equipamiento consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar una vez al mes aforos.

Al igual que todas las estaciones mencionadas las condiciones climáticas son desfavorables entre los meses de junio y octubre, por ende es imposible realizar una inspección.

*7.-Río Astaburuaga en Cono.*

*Código BNA.: 03050001-6*

Su instalación se realizó en diciembre de 1979, con una altura superior a las 4130 m.s.m. y coordenadas 27° 30' S y 69° 5' W.

El objetivo de esta estación es identificar la cantidad de caudal que entrega el Río Astaburuaga a la Laguna del Francisco.

Dicha estación cuenta con un Limnógrafo Análogo y sección para realizar aforos, los cuales cumplen el objetivo de medir caudal mientras las condiciones climáticas sean favorables producto de la gran altitud de su ubicación entre las redes de junio y octubre permanece totalmente congelada e inaccesible.

5.2.2 Estaciones de la Hoya del Río Copiapó.

*8.-Río Jorquera en Vertedero.*

*Código BNA: 03404001-K*

Su instalación fue realizada en diciembre 1947, con una altura de 1250 m.s.n.m., su ubicación según sus coordenadas corresponde a 28° 2' S y 69° 58' W siendo uno de los afluentes de importancia del Río Copiapó. Río Jorquera es considerado según los criterios utilizados por la D.G.A. para la instalación de estación fluviométrica que mide el caudal que entrega al Río Copiapó.

Su equipamiento consta de:

- Limnógrafo Digital (DATA LOGGER), el cual es revisado periódicamente (cada 3 meses).
- Regla Limnimétrica (observador).
- Sección para realizar una vez al mes aforos.

El problema más frecuentes de dicha estación es el embancamiento en su sección de aforo.

9.-Estación Río Pulido en Vertedero.

Código BNA: 03414001-4

Su instalación fue realizada en diciembre de 1964, con una altura cercana 1310 m.s.n.m. Su ubicación según coordenadas geográficas corresponden 28° 3' S y 69° 58' W.

Al igual que la estación Río Jorquera en Vertedero, representa la medición del Río pulido afluente del Río Copiapó, encontrándose las estaciones mencionadas muy cercana entre ellas.

El equipamiento de esta estación consta de lo siguiente:

- Limnígrafo digital (DATA LOGGER)
- Regla Limnimétrica (observador).
- Sección para aforos mensuales

Los problemas más recurrentes que existen en esta estación, corresponden al embancamiento de la cámara del sistema digital (sensor), y mantención de la sección de aforo (problema puntual que se soluciona cambiando el equipo).



Figura 5.3 Río Pulido en Vertedero. Enero 2001.

*10. Estación Río Manflas en Vertedero.*

*Código BNA: 03421001-2*

Su instalación se realizó en diciembre de 1964, con una altura cercana 1550 m.s.n.m. Su ubicación según coordenadas geográficas corresponde a 28° 4' S y 70| 0' W. Esta estación a tenido múltiples problemas en el transcurso de su utilización, producto de la mala sección en donde se encuentra. Según registros se han intentado de cambiar su lugar físico, siendo difícil encontrar una sección que reúna las condiciones apropiadas para una medición correcta; su equipo consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnímica.
- Sección para realizar aforos.

Sus problemas son recurrentes los cuales son motivo de periódicos arreglos tales como: embancamiento de cámara, subdivisión del cauce en dos brazos, suciedad de la bocatoma lo que afecta a la estación.

*11.-Estación Río Copiapó en Lautaro.*

*Código BNA: 0343000-1*

Su instalación se realizó en diciembre de 1931, con una altura de 1200 m.s.n.m. Su ubicación según coordenadas geográficas. Corresponde a 27° 59' S y 70° 4' W.

Esta estación se encuentra a la salida del embalse Lautaro, por lo cual realiza alguna medición cuando las válvulas de dicho embalses encuentran abiertas. Según registros sólo 4 meses del año la estación presenta escurrimientos superficiales. Su implementación consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar a foros.

Su objetivo principal es confirmar continuamente la entrega de caudal que realiza el embalse Lautaro al abrir sus compuertas.

*12. Estación Río Copiapó en Pastillo.*

*Código BNA: 03430003-8.*

Su instalación se realizó en diciembre de 1927, con una altura de 1300 m.s.n.m. Sus coordenadas son de 28° 3' S Y 69° 59' W.

Su implementación consta de:

- Limnógrafo digital (DATA LOGGER)
- Regla Limnimétrica
- Sección para aforar mensualmente.

Se realizan mantenciones periódicas las cuales identificaron ciertas diferencias en la medición de la regla interior con respecto a la exterior. Se solucionó el problema colocando Gaviones en el quiebre del muro, puesto que esto generaba el desnivel.

*13. Estación Río Copiapó en la Puerta*

*Código BNA: 03431001-7*

Su instalación se realizó en diciembre de 1927, con una altura 758 m.s.n.m. Sus coordenadas corresponden 27° 48' S y 70° 8' W.

Esta estación es la única que tiene plataforma satelital, la cual entrega datos hidrológicos en tiempo real a las oficinas de la D.G.A. su función se encuentra enfocada a la medición del recurso hídrico aguas arriba de una zona de riego. Su equipamiento consta de lo siguiente:

- Limnógrafo digital (DATA LOGGER)
- Plataforma satelital (Datos tiempo Real)
- Regla Limnimétrica
- Sección para realizar aforos.

Los problemas que se originan en esta estación son muy comunes tales como: embancamiento de la sección de aforo y cámara, los cuales son solucionados en la inspección mensual realizada por funcionarias de la D.G.A. Regional.

*14. Estación canal mal paso después de Bocatoma. Código BNA: 0344002-1*

Su instalación se realizó en diciembre de 1988, con una altura de 431 m.s.n.m. Sus coordenadas corresponden a 27° 13' S Y 70° 18' W.

El objetivo de esta estación es medir el efluente de salida del Río Copiapó al canal mal paso, el cual cumple la función de entregar el recurso hídrico a sectores agrícolas su equipamiento consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar aforos

Los problemas frecuentes en esta estación corresponden a la estrechez en las aducciones y embancamiento de la cámara Limnigráfica.

*15. Estación Río Copiapó en mal paso aguas abajo Código BNA: 03434003-K*

Su instalación se realizó en diciembre de 1988, con una altura de 431 m.s.n.m. sus coordenadas geográficas son 27° 48' S y 70° 8' W.

Dicha estación se encuentra en la misma ubicación que la estación canal mal paso, después de Bocatoma. Este canal absorbe la totalidad de caudal que viene del río Copiapó, por lo cual en algunos meses la estación prácticamente no mide nada.

Se han realizado encauzamiento del río por la estación limnigráfica, mediante un pretil fungible. Los funcionarios buscan la posibilidad de encontrar una nueva ubicación de la estación Agua Arriba para realizar una mejor medición y más continúa, sus equipos consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar aforos.

*16. Estación Río Copiapó en ciudad de Copiapó. Código BNA: 03450001-0*

Su instalación se realizó en septiembre del año 1983, con una altura de 380 m.s.n.m. Su coordenadas geográficas son de 27° 5' S y 68° 5' W. Su equipamiento consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limníntrica.
- Sección para realizar aforos.

A pesar de no ser tan antigua, su cercanía aun centro poblado ve afectado alguno de sus equipos, tales como:

Cambio de regla exterior y falta de pintura.

Para una mejor medición se realizó un encauzamiento del río, para que el equipo realice una correcta medición. Su objetivo principal es la medición de caudales excedentes de la zona.

Otro problema frecuente corresponde a la vegetación existente lo cual puede afectar en la medición. Cuando existen grandes crecidas el caudal pasa por fuera del encauzamiento, generándose dos brazos, lo que dificulta una correcta medición en épocas de crecidas.

*17. Estación Río Copiapó en Angostura. Código BNA: 03453001-7*

Su instalación se realiza en diciembre de 1963, con una altura de 48 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son de 27° 20' S Y 70° 54' W.

Su función corresponde a medir la cantidad de caudal que desemboca en el mar por el Río Copiapó. Su equipamiento no debe ser muy de punta puesto que no cumple ninguna otra función salvo la expresada anteriormente.

Los problemas que frecuenta dicha estación corresponden a la cantidad de vegetación que se encuentra aguas debajo de la estación, lo que produce una represa natural y la velocidad es mínima generando variación en la curva de descarga y altura limnimétrica.

Su equipo consta de:

- Limnógrafo digital
- Regla Limnimétrica
- Sección para realizar aforos.



Figura N°5.4. Estación Río Copiapó en Angostura.

### 5.2.3 Estaciones Hoya del Río Huasco.

#### 18. Estación Río Conay en las Losas.

Código BNA: 03802001-3

Su instalación se realizó en diciembre 1984, con una altura de 2000 m.s.n.m. sus coordenadas geográficas son de 29° 1' S Y 70° 18' W. Su equipo consta de:

- Limnógrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica
- Sección para realizar aforos.

El río Conay recibe una gran cantidad de redes de avenimiento, las cuales generan un caudal significativo aportable al río del tránsito.

El problema que se presenta en esta estación es la profundidad de la cámara y la sección de aforo debe ser revestida puesto que se encuentra en regular estado.

*19. Estación Río Tránsito en Angostura Pinte. Código BNA.: 03804002-2*

Su instalación se realizó en febrero de 1961, con una altura cercana de 1000 m.s.n.m. Su ubicación según coordenadas geográficas corresponde a 28° 52' S Y 70° 16' W.

Su ubicación según los criterios utilizados por la D.G.A., cumple la función de medir el aporte que realiza el río Chollay al río Tránsito.

Otro de los objetivos importantes consiste en medir el caudal del río tránsito, antes de llegar al pueblo del mismo nombre, puesto que dicho valle es muy angosto y puede producir crecidas de importancia provocando inundaciones.

La implementación de la estación consta en lo siguiente:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar aforos

De acuerdo a las visitas de mantenimiento periódica no se observan grandes problemas, salvo mantener una constante observación a la profundidad de la cámara.

*20.-Estación Río Tránsito antes Junta Río Carmen. Código BNA: 03806001-5.*

Su instalación se realizó un febrero de 1961, con una altura cercana a la 812 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son de 28° 52' S y 70° 16' W.

Esta estación mide el caudal que aporta el Río Tránsito al Río Huasco. Su implementación consta de:

- Limnógrafo digital (DATA LOGGER)
- Regla Limnimétrica
- Sección para realizar aforos

Según informes de hidromensores no presenta problema alguno, realizando solo las mantenciones periódicas.

#### 21. Estación Río Carmen en Corral

Código BNA: 03814003-5

Su instalación se realizó en enero de 1991, con una altura aproximada 2000 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son de 29° 7' S y 70° 23' W.

Por su ubicación esta estación es lo más cercana al límite con la IV Región, considerando que no tiene mucha altura, al observar su ubicación en el mapa se observa que recibe gran cantidad de redes de avenimientos y esteros. Su implementación consta de:

- Limnógrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica
- Sección para realizar aforos.

El problema recurrente de esta estación es debido a la poca profundidad que tiene la cámara, producto de esto no se pueden tener valores bajos.



Figura 5.5. Río Carmen en Corral. Enero 2001.

*22. Estación Río Carmen en Ramadillas*

*Código BNA: 03815001-4*

Su instalación se realizó en diciembre de 1917, con una altura de 825 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son 28° 45'S y 70° 29'W.

Esta estación es una de las más antiguas de la región que todavía se encuentra en vigencia.

Lleva un registro de la cantidad de caudal que entrega el Río Carmen al Río Huasco. Su implementación consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica
- Sección para realizar aforos.

En el año 2001 se realizó aforo a 1000 mts. aguas arriba, por reconstrucción puente carretero lo que modificó el lugar de la estación, lo cual será nuevamente instalada después de terminar los trabajos en la carretera.

A pesar de su antigüedad no se observan problemas, solo necesita mantenimiento periódica.

*23. Estación Carmen en Puente la Majada.*

*Código BNA: 03815001-4*

Su instalación se realizó en septiembre 1988, con una altura de 1075,m.s.n.m. Su ubicación según coordenadas geográficas es de 28° 54'S y 70° 27'W.

Por reconstrucción del Puente, a medidas del año 2000 en la estación solo se realizan aforos. Su implementación consta de:

- Regla Limnimétrica
- Sección para realizar aforos

*24. Estación Río Huasco en Algodones.*

*Código BNA: 03820001-1.*

Su instalación se realizó en diciembre de 1928, con una altura, de 600 m.s.n.m. Sus coordenadas son 28° 44'S y 70° 30'W.

Alteraciones o "Tacos" realizados por lugareños inmediatamente aguas debajo de la estación (30 mts aprox.), variando totalmente las condiciones para obtener una curva estable, lo que incide en el manejo de información de la plataforma Satelital. La implementación de está estación consta de:

- Plataforma Satélital.
- Limnígrafo digital (DATA LOGGER).
- Regla Limnimétrica.
- Sección de aforos.

*25. Estación Río Huasco en Chepica.*

*Código BNA.: 03820002-K*

Su instalación se realizó en junio de 1997, con una altura a los 600 m.s.n.m. Sus coordenadas corresponden a las mismas de la estación Río Huasco en Algodones.

Su objetivo principal corresponde a realizar un aforo del Río Huasco en esta sección para tener una curva de descarga y así calibrar la plataforma Satelital de la Estación Río Huasco en Algodones. Su implementación consta de:

- Liminígrafo digital (Datalogger).
- Regla Limnimétrica.
- Sección de aforos.

*26. Estación Río Huasco en Santa Juana. Código BNA: 03821001-7*

Su instalación se realizó en diciembre de 1914, con una altura aproximada a los 378 m.s.n.m. Su ubicación según sus coordenadas corresponde a los 28° 39'S y 70° 42'W.

Su implementación consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica
- Sección para realizar aforos

Desde su instalación y según los registros realizados por funcionarios de la D.G.A., esta estación no presenta problemas significativos en su mantención.

*27. Estación Río Huasco en Huasco Bajo. Código BNA.: 03826001-4*

Su instalación se realiza en diciembre de 1987, no presenta registro de alturas. Su ubicación según sus coordenadas geográficas es de 28° 28'S Y 71° 12'W.

Dicha estación cumple la función de llevar una estadística del caudal que desemboca en el mar por el Río Huasco. Su implementación consta de:

- Limnigrafo Análogo.
- Regla Limnimétrica.
- Sección para realizar aforos.



Figura 5.6. Río Huasco en Puente el Pino. Unos metros de la Estación Río Huasco en Huasco Bajo.

Tabla N° 5.2. Nomina de Estaciones Vigentes en la Red Fluviométrica de la Tercera Región.

Código BNA	Nombre Estación	Fecha		ALTURA MSNM	Coordenadas			Area Km2	Implementación				
		Instal.	Supres.		Lat.S	Lon.W	PS		DL	LG	LM		
03022001-3	RIO LA OLA EN VERTEDERO	Dic-85			26	29	69	3				LG	
03041001-7	RIO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE	Nov-79		3965	27	20	69	2				LG	
03041002-5	RIO VILLALOBOS EN VERTEDERO	Dic-79		3850	27	13	69	2				LG	
03041003-3	RIO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS	Dic-79		3950	27	10	69	2				LG	
03041004-1	RIO VALLE ANCHO EN LA BARRERA	Dic-79		3800	27	10	64	2				LG	
03041005-K	RIO LAMAS EN EL SALTO	Ago-80		4130	27	4	69	58				LG	
03050001-6	RIO ASTABURUAGA EN CONO	Dic-79		4130	27	30	69	5				LG	
03404001-K	RIO JORQUERA EN VERTEDERO	Dic-47		1250	28	2	69	58	4150		DL		
03414001-4	RIO PULIDO EN VERTEDERO	Dic-64		1310	28	3	69	58	2108		DL		
03421001-2	RIO MANFLAS EN VERTEDERO	Dic-64		1550	28	4	70	0	1180			LG	
03430001-1	RIO COPIAPO EN LAUTARO	Dic-31		1200	27	59	70	4	8348			LG	LM
03430003-8	RIO COPIAPO EN PASTILLO	Dic-27		1300	28	3	69	59	7467		DL		
03431001-7	RIO COPIAPO EN LA PUERTA	Dic-27		758	27	48	70	8	8348	PS		LG	
03434002-1	CANAL MAL PASO DESPUES DE BOCATOMA	Dic-88		431	27	13	70	18				LG	
03434003-K	RIO COPIAPO EN MAL PASO AGUAS ABAJO	Dic-88		431	27	13	70	18				LG	
03450001-0	RIO COPIAPO EN CIUDAD DE COPIAPO	Sep-83			27	5	68	5				LG	
03453001-7	RIO COPIAPO EN ANGOSTURA	Dic-63		48	27	20	70	54	18324		DL		
03802001-3	RIO CONAY EN LAS LOSAS	Dic-84			29	1	70	18				LG	
03804002-2	RIO TRANSITO EN ANGOSTURA PINTE	Feb-61		1000	28	52	70	16	3220			LG	
03806001-5	RIO TRANSITO ANTES JUNTA RIO CARMEN	Dic-27		812	28	45	70	29	4153			LG	
03814003-5	RIO CARMEN EN EL CORRAL	Ene-91		2000	29	7	70	23				LG	
03815001-4	RIO CARMEN EN RAMADILLAS	Dic-17		825	28	45	70	29	2922			LG	
03815002-2	CARMEN EN PTE. LA MAJADA	Sep-88		1075	28	54	70	27				LG	
03820001-1	RIO HUASCO EN ALGODONES	Dic-28	Ene-88	600	28	44	70	30	7187	PS		LG	
03820002-K	RIO HUASCO EN CHEPICA	Jun-97		600	28	44	70	30	7187				
03821001-7	RIO HUASCO EN SANTA JUANA	Dic-14		378	28	39	70	42	7862			LG	
03826001-4	RIO HUASCO EN HUASCO BAJO	Dic-87			28	28	71	12				LG	
	TOTAL DE ESTACIONES									2	4	21	

Fuente: Departamento de Hidrometría. D.G.A.

Resumiendo la información vigente del instrumental de cada estación, es posible observar que esta red fluviométrica cuenta con un alto número de limnigrafos análogos o de relojería, instrumentos que en la mayoría de los casos ya cumplió su ciclo y su época de vigencia.

La actual política de Modernización del Estado, permite incorporar también este concepto en el instrumental utilizado y en la obtención de información, facilitando la planificación con aparatos de tecnología actual.

Esto, sumado a las ventajas comunicacionales, terrestres ó satelitales y computacionales, permiten mejorar sustancialmente, tanto el manejo y operatividad de los equipos, como también la calidad de los datos obtenidos.

## CAPITULO VI: ANALISIS CRÍTICO DE LA RED ACTUAL.

En el capítulo Cuatro se analizó las cuencas a ser consideradas en el estudio de optimización de la Tercera Región, este criterio de análisis fue de acuerdo a la aportabilidad existente de cada cuenca y su necesidad en las actividades económicas predominantes de la región.

A continuación se analizará la descripción de la Red Fluviométrica actual descrita anteriormente, identificando problemas, las condiciones que se encuentran los equipos, para realizar una mejor medición del recurso hídrico en la región y así conducir dicho análisis a proyectar mejoras a la Red Fluviométrica.

La Red Fluviométrica está constituida por un total de 27 estaciones que actualmente se encuentran en funcionamiento. La distribución por cuencas de la Tercera Región de estaciones existentes y porcentaje que existen en cada cuenca lo describe la siguiente tabla.

*Tabla N°6.1. Número de Estaciones por Cuenca de Tercera Región.*

NOMBRE DE LA CUENCA	NUMERO DE ESTACIONES	PORCENTAJE
Costeras Q. Pan de Azucar - Rio Salado	0	
Cuenca El Salvador	0	
Cuenca Caldera	0	
Costeras Rio Copiapo - Carrizal	0	
Queb. Totoral y Cos. Queb. Hasta Queb. Carrizal	0	
Queb. Carrizal y Costeras H.R. Huasco.	0	
Cuenca Vallenar - Freirina	10	37,04%
Cuenca Domeyco	0	
Cuenca Copiapo	10	37,04%
Cuenca endorreicas R/Frontera y Vertientes.	7	25,93%
<b>TOTAL DE ESTACIONES</b>	<b>27</b>	<b>100%</b>

Fuente: Dirección General de Aguas. MOP.

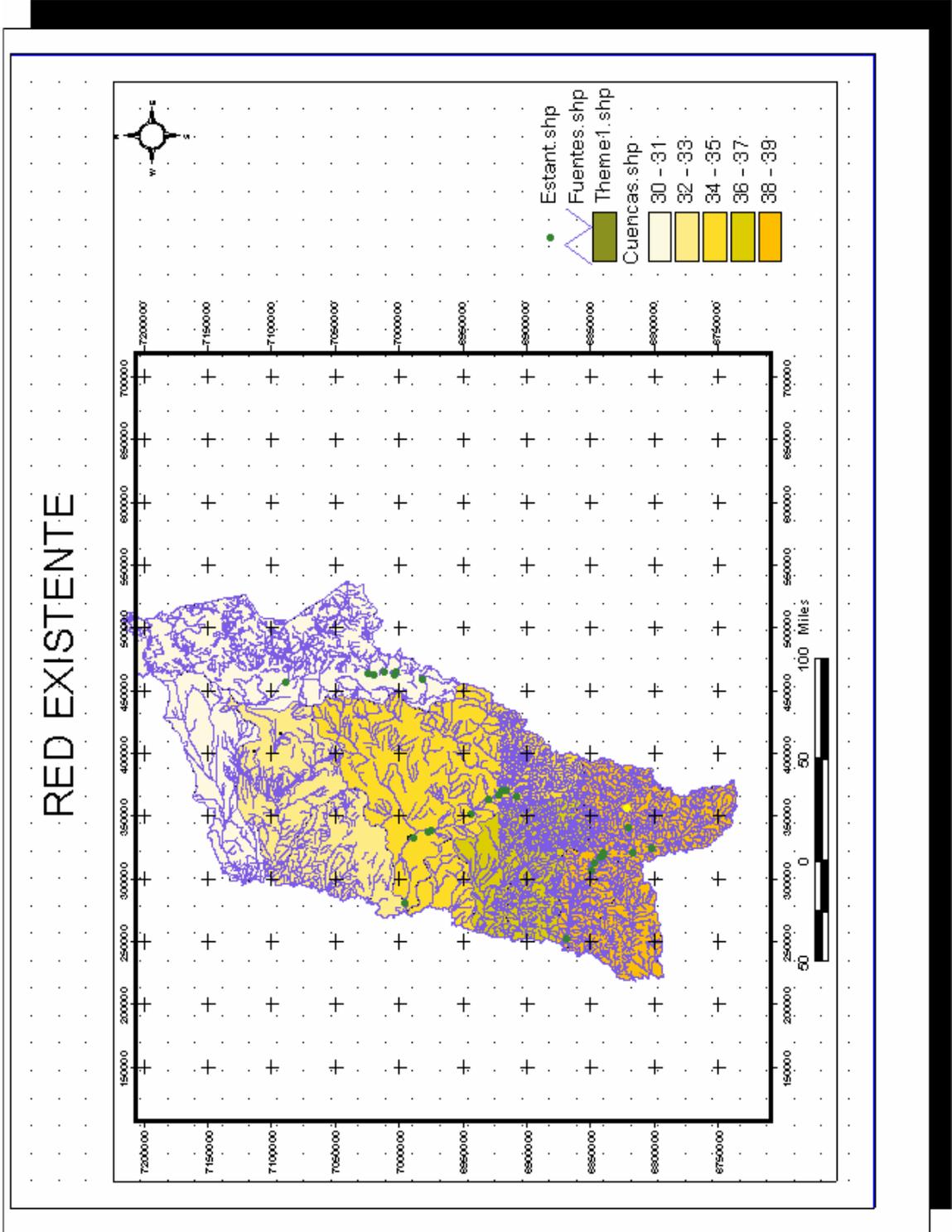


Figura N°6.1. Red Fluviométrica Existente de la Tercera Región de Atacama.

Al observar el mapa anterior se identifica que las estaciones fluviométricas se encuentran distribuidas en las tres cuencas de mayor importancia para la región. Si recordamos en el capítulo 2 al realizar una caracterización de las cuencas de la región, se observa que las cuencas que no se consideran en el estudio fluviométrico son por que no existe escorrentía superficial durante todo el año, por ende se denominan solo redes de avenimiento (drenajes), los cuales en épocas de precipitaciones y/o crecidas se pueden considerar con escurrimientos superficial.

La mayoría de las estaciones fluviométricas de la tercera región se encuentran revestidas, lo que minimiza los problemas de encauzamiento y desviaciones que perjudiquen un correcto control de los ríos mencionados. No obstante existen problemas que afectan la medición de los caudales, lo que será analizado a continuación.

## **6.1 ANÁLISIS CRÍTICO DE LA RED FLUVIOMÉTRICA QUE SE ENCUENTRA EN LA CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ.**

De acuerdo a la nómina de estaciones vigentes de la región, podemos observar la siguiente tabla la cual describe las estaciones que se encuentran en la Hoya del Río Copiapó y su implementación.

Tabla N°6.2.- Estaciones de la Hoya del Río Copiapó.

Código BNA	Nombre Estación	Implementación				
		PS	DL	LG	LM	AF
03404001-K	RIO JORQUERA EN VERTEDERO		DL		LM	AF
03414001-4	RIO PULIDO EN VERTEDERO		DL		LM	AF
03421001-2	RIO MANFLAS EN VERTEDERO			LG	LM	AF
03430001-1	RIO COPIAPO EN LAUTARO			LG	LM	AF
03430003-8	RIO COPIAPO EN PASTILLO		DL		LM	AF
03431001-7	RIO COPIAPO EN LA PUERTA	PS		LG	LM	AF
03434002-1	CANAL MAL PASO DESPUES DE BOCATOMA			LG	LM	AF
03434003-K	RIO COPIAPO EN MAL PASO AGUAS ABAJO			LG	LM	AF
03450001-0	RIO COPIAPO EN CIUDAD DE COPIAPO			LG	LM	AF
03453001-7	RIO COPIAPO EN ANGOSTURA		DL		LM	AF

ESTACIONES CON PLATAFORMA SATELITAL (PS)	1
ESTACIONES CON LIMNIGRAFO DIGITAL (DL)	4
ESTACIONES CON LIMNIGRAFO ANALOGO (Lg)	6
ESTACIONES QUE SE REALIZAN AFOROS (AF)	10
TOTAL DE ESTACIONES	10

Fuente: Dirección General de Aguas. MOP.

De acuerdo a la tabla observada, su implementación de equipos ha sido modificada en estaciones claves para una mejor medición, existiendo solo una estación con Plataforma Satelital y cuatro con sistema digital, quedando más de la mitad de las estaciones con equipos antiguos.

Los principales problemas detectados en las estaciones de esta hoya hidrográfica corresponden a:

- *Embanques*: en diversas estaciones de la Hoya del Río Copiapó, las crecidas provocan embanques, depositando material que arrastra el río a la cámara limnigrafica y la sección de aforo
- *Subdivisión del cauce en dos brazos*: la estación *Río Manflas en Vertedero* presenta en épocas de bajo caudal una división del mismo, lo que perjudica la medición puesto que la estación solo mide un brazo, siendo el control hidrográfico del río incompleto, teniendo que los hidromensores proyectar el posible caudal que pasa por el otro brazo.

- *Estrechez en las Aducciones:* el ingreso de caudal a la cámara limnigráfica es mediante aducciones, las cuales deben permanecer expeditas considerando su tamaño y así no perjudicar el ingreso de agua a la cámara.
- *Diferencias entre Alturas Limnimétricas y Limnigráficas:* en cada estación debe existir una regla limnimétrica, la cual se encuentra en una de las paredes del lecho del río y dentro de la cámara limnigráfica se encuentra otra regla que mide la altura del agua dentro de la cámara. Mediante un mecanismo de confirmación las dos reglas según su escala deben coincidir en la medición de altura del agua, si existiera alguna diferencia podría haber un problema de calibración o revestimiento de la estación, lo que perjudica la entrada del agua a la cámara.
- *Problemas asociados con caudales bajos:* en la estación *Río Copiapo en mal paso Aguas Abajo*, se detectó que tenía problemas para registrar adecuadamente los bajos caudales, ya que la bocatoma que se encuentra aguas arriba de dicha estación da paso en su totalidad el caudal al canal, por lo cual la estación no presenta un registro continuo de medición.
- *Vegetación en el Cauce:* estaciones que se encuentran cercanas a la ciudad de Copiapo y a la desembocadura del río del mismo nombre, presentan vegetación aguas arriba y abajo, lo que provoca desuniformidades en el escurrimiento.

## 6.2 ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS ESTACIONES QUE SE ENCUENTRAN EN LA CUENCA DEL RÍO HUASCO.

En el siguiente punto se realiza un análisis de las estaciones vigentes de la hoya hidrográfica del Río Huasco, considerando su implementación y problemas

Código BNA	Nombre Estación	Implementación				
		PS	DL	LG	LM	AF
03802001-3	RIO CONAY EN LAS LOSAS			LG	LM	AF
03804002-2	RIO TRANSITO EN ANGOSTURA PINTE			LG	LM	AF
03806001-5	RIO TRANSITO ANTES JUNTA RIO CARMEN			LG	LM	AF
03814003-5	RIO CARMEN EN EL CORRAL			LG	LM	AF
03815001-4	RIO CARMEN EN RAMADILLAS			LG	LM	AF
03815002-2	CARMEN EN PTE. LA MAJADA			LG	LM	AF
03820001-1	RIO HUASCO EN ALGODONES	PS			LM	AF
03820002-K	RIO HUASCO EN CHEPICA				LM	AF
03821001-7	RIO HUASCO EN SANTA JUANA			LG	LM	AF
03826001-4	RIO HUASCO EN HUASCO BAJO			LG	LM	AF

ESTACIONES CON PLATAFORMA SATELITAL (PS)	1
ESTACIONES CON LIMNIGRAFO DIGITAL (DL)	0
ESTACIONES CON LIMNIGRAFO ANALOGO (Lg)	8
ESTACIONES QUE SE REALIZAN AFOROS (AF)	10
TOTAL DE ESTACIONES	10

que acusa.

*Tabla N°6.3.- Estaciones de la Hoya del Río Huasco.*

Fuente: Dirección General de Aguas. MOP.

La Hoya Hidrográfica del Huasco, presenta en la región los equipos más antiguos, contabilizando solo una Plataforma Satelital y ningún Limnigrafo Digital, lo cual genera una lentitud en el proceso de sus.

En esta cuenca sin embargo, se presentan los menores problemas de la Red Fluviométrica de la III Región, los que serán descritos a continuación.

- *Profundidad de la Cámara:* las estaciones que se encuentran en los afluentes del Río Huasco (Río Conay y Río Carmen), se encuentra la cámara con poca profundidad lo que perjudica la medición, puesto que el flotador (sensor) marca el mínimo (cero), topa con el piso de la cámara lo que descalibra el flotador incidiendo en la medición de la estación. Otro punto que perjudica es la cantidad de sedimento que presenta la cámara, lo que se sumaría a la poca profundidad que tiene.
- *Cambios en la Estructura Vial:* la construcción de un nuevo Puente La Majada, cambios en la trayectoria del camino y ensanchamiento del último han producido cambios en la sección donde se encuentran las estaciones, lo que perjudica una correcta medición, considerando de gran importancia dicha red los hidromensores de la región improvisan con estaciones alternativas.

### **6.3 ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS ESTACIONES QUE SE ENCUENTRAN EN LA CUENCA CERRADAS.**

Estas estaciones fluviométricas se encuentran en un sector muy especial de la región. Las condiciones climáticas que presenta esta zona son extremas en los meses de invierno, si consideramos que su temperatura en el mes de mayo presenta una variación entre los  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y los  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , podemos visualizar que las estaciones se encuentran con condiciones muy adversas para realizar una correcta medición.

Las siete estaciones que cuenta esta cuenca, presentan registros de medición entre los meses de Noviembre y Mayo, no pudiendo tener un registro entre los restantes meses del año, y ni un control puesto que su accesibilidad es nula durante los meses de invierno.

Todas las estaciones presentan revestimientos en el cauce del río considerando su bajo caudal, se realizó un encauzamiento para un mejor control.

Tabla N°5.4.- Estaciones de la Cuenca Cerradas.

Código BNA	Nombre Estación	Implementación				
		PS	DL	LG	LM	AF
03022001-3	RIO LA OLA EN VERTEDERO			LG	LM	AF
03041001-7	RIO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE			LG	LM	AF
03041002-5	RIO VILLALOBOS EN VERTEDERO			LG	LM	AF
03041003-3	RIO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS			LG	LM	AF
03041004-1	RIO VALLE ANCHO EN LA BARRERA			LG	LM	AF
03041005-K	RIO LAMAS EN EL SALTO			LG	LM	AF
03050001-6	RIO ASTABURUAGA EN CONO			LG	LM	AF

ESTACIONES CON LIMNIGRAFO ANALOGO (Lg)	7
ESTACIONES QUE SE REALIZAN AFOROS (AF)	7
<b>TOTAL DE ESTACIONES</b>	<b>7</b>

Fuente: Dirección General de Aguas. MOP.

Como se observa en la tabla la implementación de las estaciones de la Cuenca Cerrada presentan limnógrafo análogo el cual no ha sido optimizado a un equipo más sofisticado (digital), observando el retraso que existe en la región en cuanto a equipos.

En todas las estaciones mencionadas anteriormente debería realizarse un Aforo mensual en la sección, dicho procedimiento sirve para realizar cálculos de las curvas de descarga y altura, y así poder aplicar dicha información a un registro continuo con respecto a la variable tiempo (hidrogramas).

HIDROGRAMA = CURVA DE DESCARGA + REGISTRO CONTINUO. (5.1)			
(caudal / tiempo)	(Aforos / Re. Limnimetrica)	(Instrumento	Análogos y Digitales)

## **6.4 ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN ACTUALES.**

En este punto se analizará los procesos de extracción de información de las estaciones limnigráficas, considerando como variable los tiempos de procesos, como así los tiempos de procesamiento de los registros de caudales, considerados variable fundamental para la entrega al público en general.

### *6.4.1 Medición de Aforos.*

Para fines Hidráulicos e Hidrológicos, en Chile se usa el aforo con Molinete, para corroborar la medición realizada continuamente (limnigrafos y Ps).

#### 6.4.1.1 Tipos De Aforadores

En general hay dos tipos de aforadores o medidores de corriente:

- El diferencial, de copas o de cazoletas
- El de hélice

El primero consiste en un eje vertical con una serie de cazoletas o copas que giran por el exceso de presión de su parte cóncava sobre la convexa, utilizado por la D.G.A.

El segundo es de tipo directo, donde las aspás están dispuestas sobre un eje horizontal que giran por la acción de la corriente.

Destacan varias marcas de aforadores en el mercado, siendo las más conocidas:

- \* El Price, con cazoletas sujetas a un eje vertical
- \* El Ott, de hélice.
- \* Otras marcas son el Haskell, el Hoff, etc.



*Figura N°6.2 Molinete Tipo Price. Cazoleta, utilizado por la D.G.A.*

#### **6.4.1.2 CARACTERISTICAS DE UN AFORADOR**

Funciona básicamente por la componente dinámica que ejerce el flujo en el sentido principal de la corriente, sus características principales son:

- Ser tan pequeño como sea posible
- El roce de la rueda debe ser mínimo
- No debe influir en él las corrientes verticales

#### **6.4.1.3 MEDICION DE AFORO**

La realización de aforos directos es el fundamento del buen funcionamiento de las estaciones de aforo de redes fluviométricas de ríos o canales.

Estas mediciones se realizan para obtener los puntos necesarios para construir Curvas de Descarga que permiten conocer directamente el valor de un caudal instantáneo, en un momento determinado.

Se denomina aforo a la medición del volumen de agua o Caudal, que pasa por una sección transversal de un río en una unidad de tiempo.

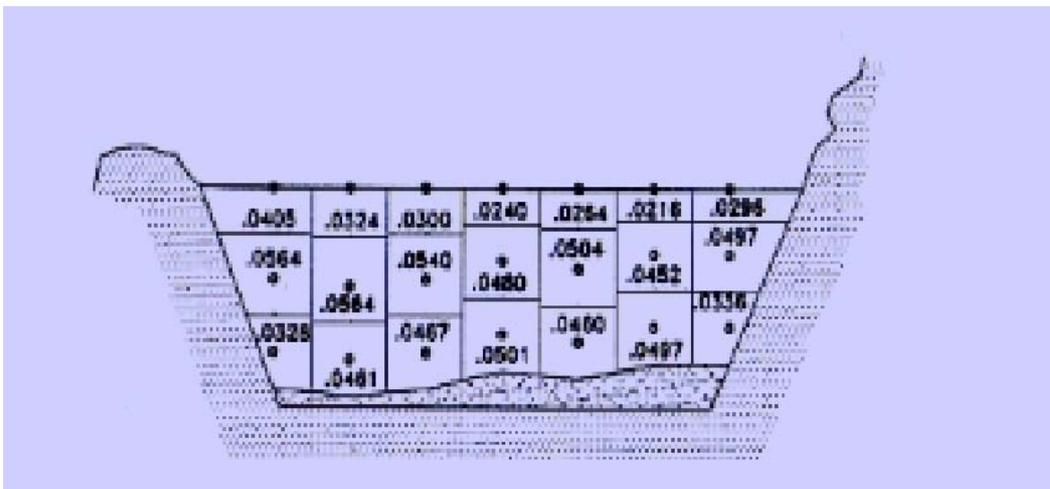
Para la medición con molinete es necesario que la sección de medición sea dividida en pequeñas áreas parciales  $[A_i]$  mediante franjas verticales y horizontales, circunscribiendo los puntos de medición, determina las velocidades medias  $[V_i]$  de las áreas respectivas en m/s.

Al conocer el área de influencia de medición o de la sección en  $m^2$  se determina el caudal medio instantáneo de la sección.

Finalmente, el caudal total se determina por la expresión:

$$Q [m^3/s] = A [m^2] / v [m/s] \quad (6.1)$$

Con varios caudales medidos en la misma sección, es posible correlacionar el nivel o altura de agua (h) expresado en metros [m], con el caudal o gasto (Q) expresado en metros cúbicos por segundo  $[m^3/s]$  a través de una curva h v/s Q,



llamada:

*Figura N°6.3. Medición de Aforos con Molinetes.*

*Curva de Descarga o de Calibración. [  $Q = f(h)$  ]*

Para esto es necesario controlar el nivel de agua al momento de la medición (inicio/final o cada cierto rango de tiempo) a través de un limnómetro o por cota topográfica.

## SECCION DE AFORO

La sección de aforo debe elegirse cuidadosamente, esta debe ser de comportamiento estable al momento de la medición, esto quiere decir que no se produzcan embanques, socavaciones o se divida en brazos.

No tener turbulencias ni contracorrientes y no estar cubierta de vegetación. Se recomienda que el tramo de medición sea recto tenga a lo menos tres veces el ancho de la sección, tanto aguas arriba como aguas abajo y la corriente debe ser paralela al canal o río medido y que sea lo más cercano a un movimiento uniforme.

En lugares donde las secciones no establecen buenas condiciones de medición, es posible mejorar estas utilizando vertederos y/o secciones del tipo venturi.

Las secciones del tipo venturi, se basan en la ecuación de Bernoulli, que establece:

Si en un lugar cualquiera de una tubería o canalización, se altera su sección, se altera también la velocidad del fluido; al disminuir la sección, aumenta la velocidad.

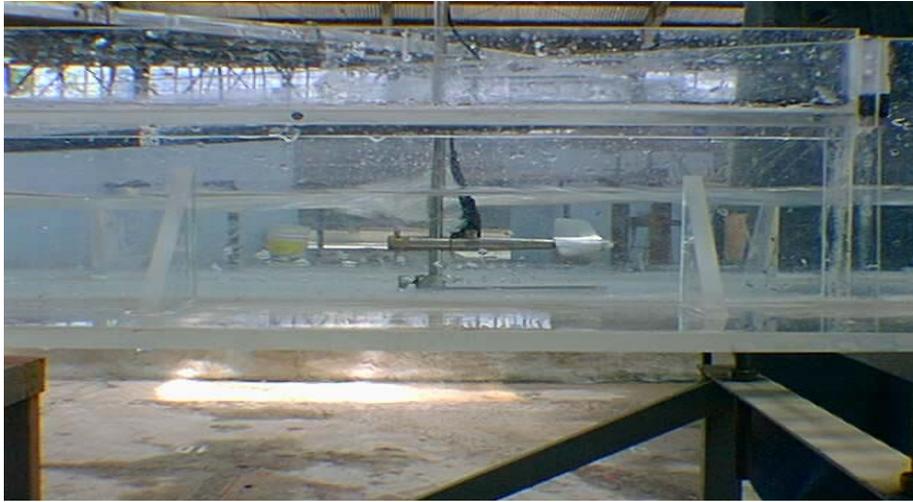


Figura N° 6.4. Simulación de Medición de Aforo en Laboratorio, con Molinete.

#### 6.4.2 Limnógrafo Análogo (sistema reloj).

Para tener un registro continuo del comportamiento de caudal (Río), se instalan limnigrafos los cuales entregan una relación asimilada al caudal, calibrado por la curva de descarga proyectada por el aforo realizado en la sección mediante la siguiente relación:

$$Q = F (H) \quad (6.2)$$

Estos equipos se encuentran en funcionamiento desde los años 70, considerados confiables y seguros en la entrega de valores. Su equipamiento cuenta con:

- Rollo de papel milimétrico.
- Flotador.
- Polea.
- Sistema de relojería.
- Lápiz.

La gran dificultad que presentan dichos equipos se observa en la entrega de datos, su proceso de extracción pasa por distintos funcionarios. Mediante un sistema de relojería comienza la medición de la variación del recurso medido por el flotador y registrado por el rollo limnigráfico (Papel milimetrado), el cual mantiene el registró continuo, secuencia determinada por el sistema relojería. A continuación se presenta la metodología de extracción de datos entregados por un Limnigrafo Análogo.



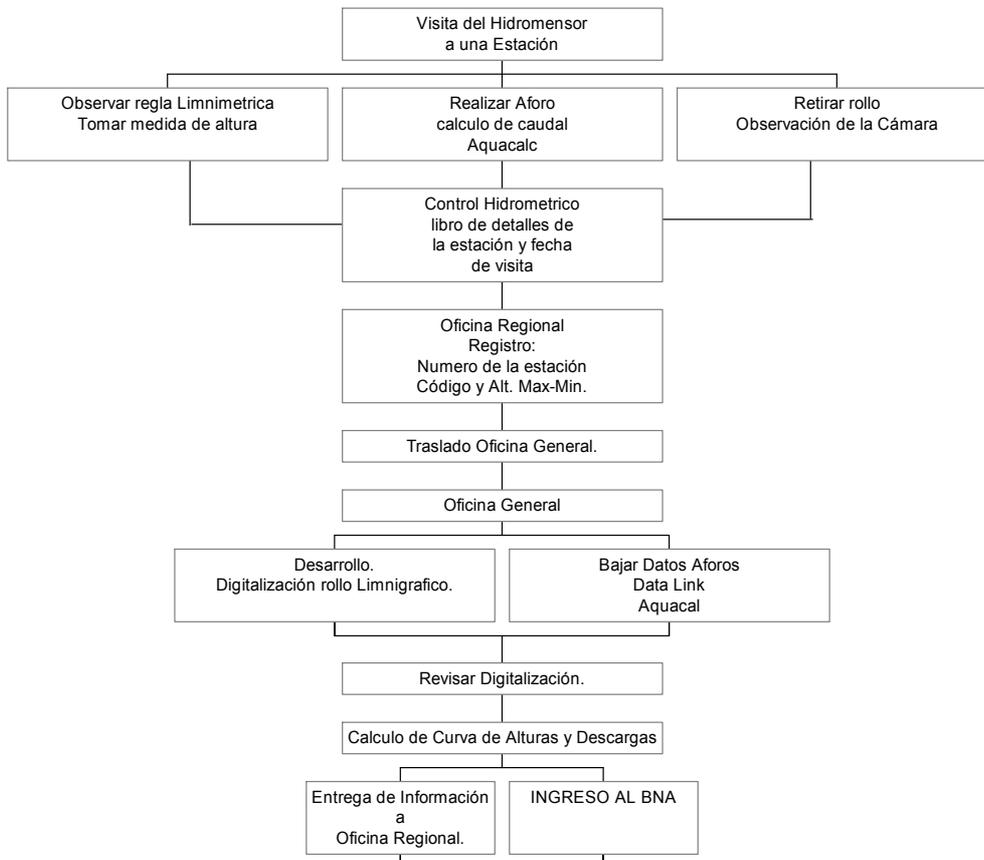
*Figura N°6.5. Fotografía de un Estación Limnigráfica.*

#### 6.4.2.1 *Metodología Utilizada por un Hidromensor a la visita de una Estación con Limnógrafo Análogo.*

Todas las visitas que realiza un hidromensor a una estación de este tipo consideran los siguientes parámetros:

1. Al arribo de la estación, realizar una inspección visual del comportamiento del río en toda la sección, observando posibles anomalías que dificulten la extracción de datos.
2. A continuación realizar la observación de la Regla Limnimetrica, la cual entregará la altura que trae en esos momentos el río, información básica para calcular curva de descarga.
3. Siguiendo con el procedimiento, se realiza el aforo en el cual se utiliza el molinete que es introducido en el caudal del río y este a su vez es conectado al instrumento auditivo el cual entrega los datos entregados por la cazoleta, registrándose en un planilla los que entrega dicho instrumento.
4. Una vez terminado el procedimiento de Aforar el río, se retira el rollo limnigrafico el cual considera datos en el tiempo y se anota fecha y hora del retiro o corte del rollo limnigrafico.
5. A continuación es necesario revisar el sistema de relojería el cual es colocado para su nuevo periodo de funcionamiento (1 mes).
6. Se revisa el sistema de flotador y la posibilidad de que la cámara se encuentre embancada para realizar su limpieza.
7. Una vez terminado este procedimiento, el Hidromensor regresa a la Oficina Regional, en donde realiza un breve informe de lo realizado indicando problemas que haya encontrado en la estación y registrando los datos obtenidos del Aforo, regla Limnimetrica y rollo limnigrafico, considerando de este último las alturas máximas – mínimas y alguna crecida.
8. A continuación toda la información adquirida de la estación se envía a la Oficina Central en Santiago, la cual realiza el procesamiento de datos.

9. En la casa central los jefes de zona ingresan la información a un sistema de registro, luego un funcionario revisa la información llegada y manda a digitalizar el rollo limnigráfico.
10. Paralelamente otro funcionario debe revisar el aforo, calcular la escala y realizar el procedimiento de calcular la nueva curva de descarga.
11. Una vez digitalizado el rollo, el funcionario revisa completa la digitalización buscando errores, luego de la revisión ingresa los datos a un programa para realizar cálculos de caudal.
12. Finalmente, cuando la nueva proyección de curva de descarga se haya realizado se ingresa a un programa, para recalculer la curva Hidrométrica, relacionando los datos entregados por el aforo y el instrumento limnigráfico digital.
13. Al terminar todo este proceso se ingresa los datos obtenidos al Banco Nacional De Datos (BNA), quedando la información al uso del público en general.
14. La información que manda las Oficinas Regionales para su procesamiento, es devuelta a dichas identidades para su almacenamiento.



*Figura N° 6.6. Esquema de Metodología de Extracción de Información Limnógrafo Análogo.*

El procedimiento descrito anteriormente, concluye aproximadamente en 4 a 5 meses, considerando que la Tercera Región cuenta con 27 estaciones en funcionamiento y existiendo un hidromensor por región y dos funcionarios que lo ayudan.

En la oficina general la distribución de regiones consiste en:

*Cuadro N°6.5. Distribución de Funcionarios por Región*

ZONAS	REGIONES	FUNCIONARIOS
NORTE	I , II, III y IV	3
CENTRO	V , RM VI, VII, VIII	3
SUR	IX, X XI y XII	3

Subdividiendo por zona, se garantiza una mejor planificación para cubrir todas las regiones de nuestro país. Existe un solo funcionario el cual su función consiste en digitalizar todos los rollos limnigraficos de las estaciones a escala nacional.

Considerando dicho mecanismo de funcionamiento, el retraso de obtención con respecto a estadísticas es amplio, lo que dificulta y entorpece problemas que pueden existir en las cuencas.

Otra variable que aumenta el tiempo de procesos de los registros, corresponde al medio transporte ocupado para el envío de registros a la Oficina Central, caracterizado por vía terrestre o aerea, aumentando los tiempos de procesamiento de los datos.

El Banco Nacional de Aguas (VAX), puesto en funcionamiento a fines de 1970, registraba los datos en formato de texto, utilizando los programas FORTRAN y RMCO, considerando su eficiencia durante 30 años, su capacidad y limitaciones de manejo de gráficas y periodos de tiempo, consideró a las autoridades generar un nuevo Banco, incluyendo variables limitadas en el vax antiguo.

Al realizar un resumen del análisis enfocado a la Red Fluviométrica de la Tercera Región, se identifica la poca modernización que existe en las estaciones, observando que dicho retraso se concentra en las estaciones que se encuentran en la Cuenca del Huasco y Cuencas Cerradas, esta última mantiene todas sus estaciones con limnigrafo análogo, la Cuenca del Huasco solo cuenta con dos estaciones equipadas con limnigrafo digital. El análisis de utilización según los criterios utilizados por la D.G.A para implementar una Estación Satelital se han cumplido en la región, contabilizando dos estaciones equipadas con Plataforma Satelital en la región y localizadas en el Río Copiapo y Huasco después de la confluencia de sus dos afluentes de importancia.

Los problemas que se observa en las estaciones de las Cuencas Cerradas son de importancia, puesto que afecta directamente a la construcción de la estación. El congelamiento del sector, sus cambios de temperatura extrema y sus crecidas por derretimiento del hielo de la sección, son dignos de analizar más profundamente en otros estudios posteriores. Es recomendable señalar la carencia de información que existe de las condiciones que presenta las Cuencas Cerradas, como la Variación de su Temperatura, cantidad de precipitaciones líquidas y sólidas, entre otras. Según el análisis se identifica una que permanece menos congelada, siendo recomendable introducir fórmulas de impermeabilización y otros parámetros de estudio tales como precipitación y

temperatura, para realizar análisis precisos de estimación de caudales para dicha cuenca.

Una modernización del equipamiento a escala general aumentaría la eficiencia de entrega de registro de caudales para fines específicos.

## **CAPITULO VII. -PROGRAMA DE MODERNIZACIÓN DEL EQUIPAMIENTO.**

El avance tecnológico, en materia electrónica de los últimos años, se refleja, no tan sólo en materia computacional, sino también en el instrumental hidrométrico. El proyecto de modernización de la red hidrométrica nacional que opera la Dirección General de aguas considera la utilización de instrumentos de tecnología digital, lo que constituye un avance importante en el control de los diversos parámetros hidrométricos.

El programa de modernización contempla los siguientes objetivos:

1. Obtener datos en tiempo real.
2. Mejorar la calidad y continuidad de los datos hidrométricos.
3. Optimizar los procedimientos de tratamiento de la información.
4. Dar una mayor agilidad a la obtención y procesamiento de la información, mejorando a la vez la accesibilidad a ella.
5. Generar economías presupuestarias en el funcionamiento de las estaciones de control (estaciones de medición).

Con los objetivos anteriores se pretende lograr un salto cualitativo tanto en las posibilidades de aprovechamiento del dato hidrológico por los usuarios, como en el manejo de los recursos hídricos en las distintas cuencas del país y en especial la III Región de Atacama.

La modernización del equipamiento de la red hidrométrica comprende tres aspectos principales:

- Medición directa de caudales (aforos).
- Registro continuo de niveles de agua (limnógrafo electrónico).
- Transmisión de datos en tiempo real.

## 7.1.- MEDICIÓN DIRECTA DE CAUDALES (AFOROS).

Se incorpora un instrumento electrónico portátil denominado AQUACALC que conectado con los molinetes tradicionales (capítulo 5), permite almacenar y calcular en forma digital, en terreno, las mediciones de caudales de los ríos, como también calcular automáticamente diversos factores hidráulicos (Radio Hidráulico, Perímetro Mojado, Velocidad Media, etc.)

*Figura N°7.1. Sistema de Medición Aforos. AQUACALC.*



La metodología de realizar el aforo se mantiene en su estructura primitiva, lo que se modifica es el receptor de los registros obtenidos por el sistema del molinete, siendo antiguamente el sistema auditivo que contabilizaba las vueltas que generaba el molinete.

De acuerdo a este procedimiento e incluyendo la lectura de altura limnimétrica que entrega la regla externa podemos calcular la curva de descarga, la cual nos entrega un rango de variación de caudal según la altura, generando el hidrograma unitario. Los datos almacenados pueden ser ingresados luego en forma directa a computadoras e incorporados al Sistema Banco Nacional de Aguas (BNA 2000) de la Dirección General, disminuyendo notablemente los

tiempos de procesamientos de los datos y así obtener los registros de caudales de los ríos a un menor tiempo.

## 7.2.- REGISTRO CONTINUO DE NIVELES DE AGUA.

Se ha incorporado el uso de un instrumento electrónico que acumula datos en forma digital (Data Logger). La información que almacena depende del o de los sensores que se conecten al instrumento. En una primera fase, se utilizarán los sensores de presión, los que sumergidos en el agua registran el nivel del río respecto a un origen predeterminado. Una segunda etapa, considera la utilización de este instrumento con sensores hidrometeorológicos.

El cambio tecnológico en el registro continuo de niveles de agua significará las siguientes ventajas, respecto a la situación actual:

- Economía en la construcción y mantención de estaciones fluviométricas, ya que este sistema permite simplificar su construcción.
- Mayor continuidad en la estadística, debido a la disminución sustancial de los registros que deben desecharse por problemas de embanque de las estaciones de control.
- Mayor seguridad, confiabilidad y rapidez en el proceso de la información, ya que los datos registrados digitalmente pueden ser transferidos directamente a los sistemas computacionales.

*Figura N° 7.2. Limnógrafo Digital. Data Logger.*



El principio del Registró Continuo de los niveles de Agua se mantiene, considerando toda la estructura y diseño que debe tener una estación para una correcta medición de los niveles de agua. Lo único que cambia es el sistema almacenador de los datos entregados por el sensor de presión.

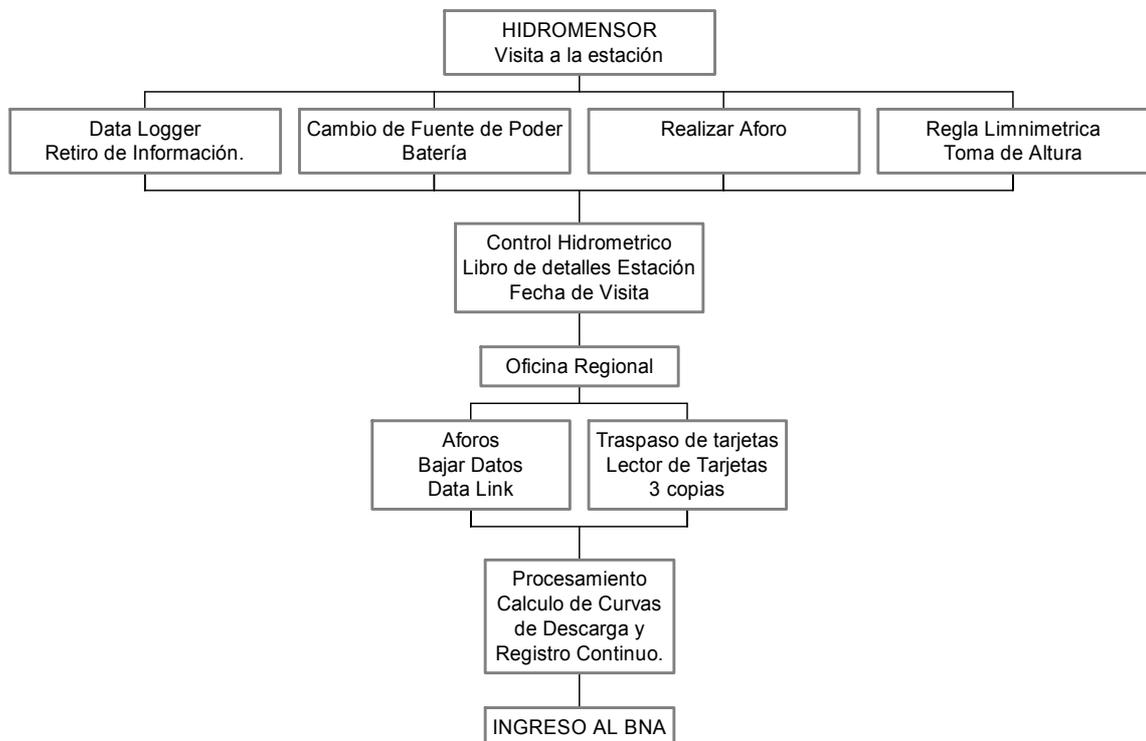
A continuación se presenta la metodología utilizada por un hidromensor a la visita de un estación con sistema almacenador digital.

### *7.2.1 Metodología Utilizada por un Hidromensor para la visita de una Estación con Limnígrafo Digital (Data logger).*

La siguiente metodología trata de demostrar las ventajas que tiene un equipo Digital, el cual minimiza el procedimiento de extracción de registros incluyendo el proceso realizado en las oficinas regionales y central. Haciendo alusión que el principio fundamental de un registró continuo de caudal se mantiene.

1. El Hidromensor al realizar cualquier visita, en cualquier tipo de estación debe realizar una inspección visual del río, lo cual aumenta la percepción del profesional para futuros problemas.
2. Se observa la Regla Limnimétrica la cual entrega la altura del río en ese instante, parámetro significativo para calcular la curva de descarga.
3. Se realiza el Aforo con el instrumento Aquacalc y molinete, el cual entrega registro de caudal en el instante de realizar el aforo.
4. Luego de haber realizado el aforo, se cambia la batería del Data Logger, para que luego se extraiga la información que contiene el Data Logger mediante la tarjeta magnética.
5. Se revisa la cámara observando la existencia de sedimentos o problemas en el ingreso de caudal por las aducciones.

6. Luego de haber terminado la inspección, en la oficina regional el hidromensor completa un registro de la información recopilada de la estación y manda la información a la oficina Central.(envío de registró se realiza por fax, módem, correos electrónicos)
7. En la oficina central, los funcionarios revisan la información y bajan los registros del aforo con el Software Data Link.
8. Paralelamente otro funcionario traspasa los datos de la tarjeta magnética al PC, realizando 3 copias por seguridad.
9. El funcionario que extrae los datos del Aforo realiza el calculo de la Curva de Descarga y se realiza la combinación de la curva de descarga y los datos del Limnigrafo Digital, lo que resulta el Hidrograma de la sección.
10. Finalmente se ingresan al Banco Nacional de Datos los registros calculados y se devuelve la información a la Oficina Regional.



*Figura N°7.3. Esquema de Metodología de Extracción de Información Limnógrafo Digital (Data Logger).*

La Metodología expresada anteriormente tiene una duración de 20 días hábiles, contabilizando el día de visita a la estación y el traslado de información desde la Oficina Regional a la Oficina Central.

Se observa la disminución de tiempo de procesos que tiene el Limnógrafo digital, favoreciendo cualquier tarea que se quisiera desarrollar a partir de las estadísticas fluviométricas entregadas por la Dirección General de Aguas.

### **7.3.- DATOS EN TIEMPO REAL.**

La necesidad constante de la Dirección General de Aguas de disponer de información hidrológica en condiciones especiales, tales como datos en tiempo real o de lugares de la cordillera de difícil acceso, ha impulsado al Servicio a implementar un sistema que lo posibilite eficientemente.

El sistema consiste en que los datos enviados por los sensores instalados en terreno, (plataformas DCP), pueden ser recibidos y procesados por equipos propios del Servicio mediante una Estación Receptora de Datos de Transmisión Vía Satélite, la que se encuentra funcionando en la terraza del Edificio del ministerio de Obras Públicas, Santiago, para luego ser ingresados a los equipos electrónicos en la Oficina Central de la Dirección General.

Resulta de interés destacar que la información en tiempo real es básica para los sistemas de alerta de crecidas, donde la oportunidad en el envío de los datos es un factor clave de la efectividad del pronóstico, por lo que la transmisión de datos por satélite representa la mejor solución a dicha problema.

Este sistema de datos en tiempo real significa ventajas importantes entre las cuales se pueden mencionar:

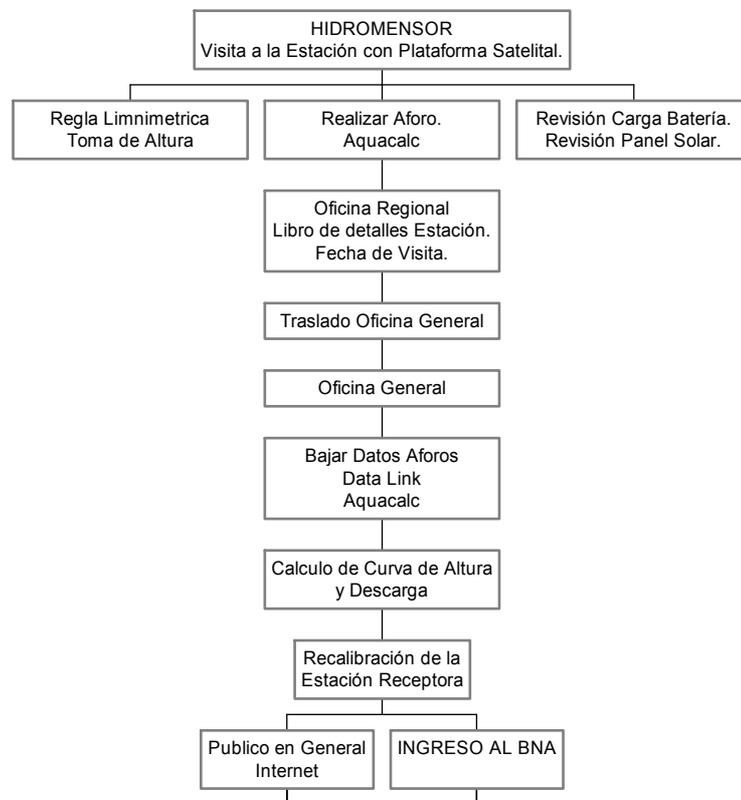
- Recibir los datos de todas las Plataformas Colectoras (DCP), independientemente del lugar del país en que se encuentren instaladas.
- Acceso inmediato de las Oficinas Regionales a los datos de las Plataformas, lo que les permitirá disponer de los antecedentes necesarios para efectuar oportunamente las previsiones de crecidas.
- Oportuna información para la autoridad en el proceso de toma de decisiones en períodos extremos hidrológicos, como sequía o inundaciones.

### *7.3.1 Metodología Utilizada por un Hidromensor para la visita de una Estación con Plataforma Satelital (PS).*

La situación de extraer los datos de esta estación varían con respecto a la anterior. El registro llega automáticamente al mecanismo receptor ubicado en la Oficina Central (cada cuatro horas). La calibración de la curva de descarga de la estación se realiza el mismo procedimiento que las anteriores. No obstante hay que tener extremo cuidado con estas estaciones, producto que existe otras variables que pueden afectar la recepción de registros, tales como: caída del satélite, saturación del mismo y configuración de la estación receptora.

La Estación Receptora es el equipo el cual ingresan los datos de la estación, procesa los datos y los entrega en formato visual de ambiente Windows.

Los datos son actualizados en Internet cada 48 horas en periodos normales y 24 horas en periodos de alerta de crecidas, en consecuencia dicha información se encuentra disponible al público al instante, considerando la preocupación que debe existir por la D.G.A para la observación de dicho sistema.



*Figura N°7.4. Esquema de Metodología de Extracción de Información de una*



*Estación con Plataforma Satelital (PS).*

*Figura N°7.5. Fotografía de una Plataforma Satelital.*

## **7.4 CONFIGURACIÓN DE LAS ESTACIONES EN TERRENO.**

Las estaciones en terreno están configuradas con los siguientes componentes:

- Equipo Almacenador de Datos.
- Transmisor. (solo DCP)
- Batería.
- Panel Solar. (solo DCP)
- Sensores.

En los inicios del programa de modernización de la Dirección General de Aguas, utilizó un equipo denominado Data Collection Platform (DCP) que integra en un mismo aparato el almacenador de datos y el transmisor, las DCP utilizadas por la D.G.A. hasta ahora han sido marca Handar. A Partir del año 2000 se comenzó a utilizar adicionalmente un equipo Almacenador (Data Logger) independiente del transmisor, el cual representa múltiples ventajas, una de ellas corresponde del menor costo, el cual permite instalar el Data Logger para el almacenamiento in situ de los datos y su recuperación mediante una tarjeta PCMCIA y si se requiere se agrega el transmisor para la transmisión de los datos vía satélite; ambos aparatos utilizados por la D.G.A hasta ahora han sido marca Stevens.

A continuación se especificaran características de los instrumentos para el tipo de medición en tiempo real (DCP) y el registro continuo de niveles de agua (Data Logger), considerados instrumentos similares en su modo operandi.

### **7.4.1 DCP Plataforma Satelital Stevens.**

Es el conformado por un equipo Axsys MPU (con la característica satelital), el transmisor Stevens y su respectiva antena Stevens V2TH. Estos, en conjunto controlan todos los procesos, lectura de sensores, grabación de datos y procesos de transmisión satelital.

#### 7.4.1.1 Axsys MPU.

En este equipo se conectan los sensores y además almacena la información que será enviada satelitalmente a través del transmisor Stevens

*TABLA 7.1. Características del Equipo Stevens.*

Ítem	Características	Datos Técnico
1	Marca	Stevens
2	Alimentación.	13 VDC +/- 30% compatible con panel solar para mayor autonomía
3	Potencia Consumida	0.72 W activado, 0.033W en estado de espera.
4	Señal de Entrada	SDI-12 compatible con 8 parámetros, o más de un sensor. 0 a 20 mA. 4 a 20 mA.
5	Señales de Salida	RS-232.
6	Precisión de Reloj	+/- min/mes sobre temperatura +/- 1.4 sec/día entre – 10 a 50°C.
7	Indicador	LDC display luminoso con 2 dilas de caracteres.
8	Forma Serial	7 bits, 1 bit de parada, paridad par.
9	Velocidad de Transferencia	300, 1200,2400,4800 o 9600 por segundo.
10	Memoria	60.000 lecturas. Con uso de Tarjeta PCMCIA 100000 lectu.
11	Intervalos de Medición	1,5,6,10,15,30 seg. 1,2,4,6,8,12,24,hrs. 1,5,6,10,15,30minu.
12	Temp. De Operación.	-20°C a 50°C.

#### 7.4.2.2 Transmisor Satelital Stevens.

Este es un instrumento diseñado para compatibilizar el Datalogger AXSYS MPU con la transmisión satelital formato Goes definido por NOAA. Su función es extraer los datos almacenados del Datalogger, formatearlos al código de acceso del satélite, modularlos y transmitirlos. Cuenta con características de instrumento de Precisión y potencia certificados por el organismo administrador del satélite, lo que lo hace un instrumento confiable, seguro y estable en el tiempo.

*Tabla N°7.2. Características Producto Stevens.*

Item	Características	Datos Técnico.
1	Marca	Stevens
2	Alimentación	10.5 a 15.5 volts. 0.25 mA en standby, 100 mA activo. 4 Amper en Tx, de 15 Watts de salida.
3	Señal de Entrada	RS 232, RS 485 en formato ASCII o XMODEM
4	Memoria Interna	Buffer de almacenamiento SRAM. Almacenamiento de programa EPROM flash. Setup de parámetros EEPROM:
5	Parámetros de RF. Frecuencia de TX. Potencia de TX. Modulación .	Goes y Argos, 401.65 a 402.85 MHz. 2 a 50 watts, 8 fases.

	Frecuencia de RX.	
6	Precisión del Reloj	0.01 segundo sobre hora GMT.
7	Campo de Temperatura de operación	-40°C a 55°C
8	Campo de humedad	0 a 99%, no condensada.
9	Dimensiones	229 x 127 x 77 mm.
10	Peso	1.6 kg.

Fuente: D.G.A. Laboratorio de Meteorología.

#### 7.4.2.2 Fuente de Energía.

Este sistema trabaja para largos períodos de tiempo utilizando batería de libre mantención de 12 volt, con amperaje que puede fluctuar entre 17 y 35 amper dependiendo del porcentaje de radiación solar en el punto de interés, conectadas a paneles solares para su recarga. Esta conexión se realiza con un cable de dos conductores, trenzado de 1 mm, rojo y negro, cuyo valor será mencionado más adelante.

*Tabla N° 7.4. Características de los Paneles Solares.*

Item	Características del Panel Solar.	Datos Técnico.
1	Máxima Potencia	10 watts.
2	Voltaje en circuito abierto.	20.6 volt.
3	Corriente en corto circuito.	0.6 amps.
4	Voltaje con carga.	17.1 volt.
5	Corriente con carga.	0.58 amp.
6	Marca.	Solares.
7	Modelo.	MSX-10.

Fuente: D.G.A. Laboratorio de Meteorología.

#### 7.4.3 Sensores.

Los sensores más utilizados en la red de estaciones satelitales de la DGA son los siguientes:

##### *7.4.3.1 Sensor de precisión de nivel Hidrostático.*

Este es un sensor piezoresistivo que opera con un microprocesador interno que traduce la presión de la columna de agua, a nivel, considera la densidad del medio así como compensa la temperatura y presión atmosférica, permitiendo contar con niveles muy altos de precisión y estabilidad, junto al valor de nivel entrega la temperatura del medio. La señal eléctrica de salida es de carácter digital usando el protocolo de comunicación SDI-12, los rangos de medición se seleccionan según la necesidad (0 a 106 m.). este utiliza cables SDI-12, cuyo

largo debe ser solicitado dependiendo de las características de la instalación, su valor comercial será descrito en el ítem 7.1.

#### 7.4.3.2 *Snow Pillow (colchón de Nieve).*

Este colchón contiene el líquido que ejercerá presión sobre el sensor, el cual finalmente traducirá dicha presión en un equivalente de agua nieve. El material es 0.060 mil (1.5 mm) poliéster reforzado grado industrial cloro sulfatado de polietileno. Reforzado con 10 x 10 1000d poliéster. Su valor comercial se incluye en el ítem 7.3

#### 7.4.3.3 *Sensor Traductor de Presión.*

Este sensor, es capaz de traducir la presión ejercida por el líquido del colchón de nieve, en un equivalente de agua nieve. Este utiliza cables SDI-12, cuyo largo debe ser solicitado dependiendo de las características de instalación.

#### 7.4.3.4 *Sensor de Temperatura del Aire 432.*

Este sensor utiliza una carcasa para protección ante la radiación solar, cuyo modelo es el 42D, marca Handar, cuyo valor comercial se incluye en el ítem 7.2. Este utiliza un cable de 6 conductores, trenzado 1mm y cuya extensión dependerá de las características de la instalación (su valor referencial ítem 7.3).

#### 7.4.3.5 *Sensor de Precipitación 444<sup>a</sup>*

Este sensor utiliza como extensión un cable de 2 conductores, trenzado 1mm y cuya extensión dependerá de las características de la instalación, su valor referencial será descrito en el ítem 7.3. El valor de este sensor será descrito en el ítem 7.2

#### 7.4.3.6 Sensor de Radiación 441 A

Este sensor debe ser solicitado con el largo del cable apropiado para la instalación proyectada. Es un producto Handar y su valor se encuentra en el ítem 7.2 .

### 7.5 SISTEMA RECEPTOR.

Este sistema instalado en la dependencias del MOP, Morandé #59, 8° Piso, Oficina Receptora. Además, se encuentra la antena receptora techo del edificio antes mencionado. Es en este lugar donde se capturan los datos enviados por las plataformas de terreno, a través del satélite GOES8, para luego ser procesados y puestos a disposición de oficinas regionales, instituciones o personales naturales. Los valores del sistema receptor en su conjunto se encuentra en el ítem 7.4.

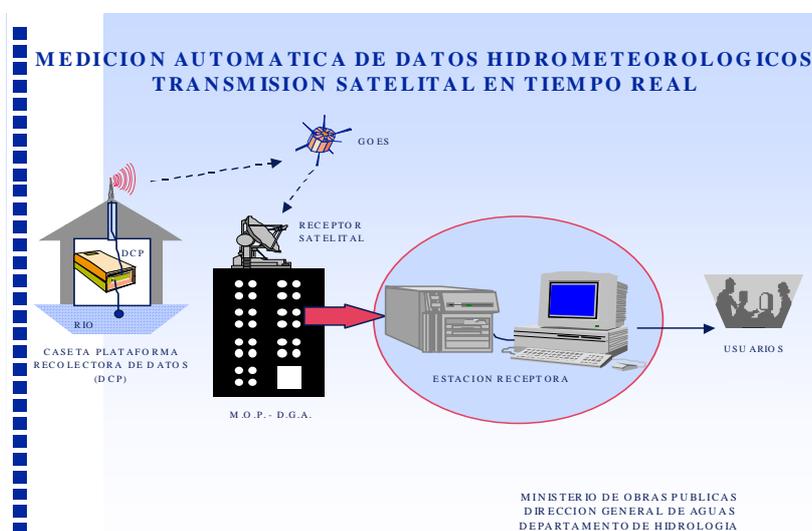


Figura N°7.5 Diagrama Representativo de la Medición en Tiempo Real.

### 7.5.1 Características de la Estación Receptora Vitel Modelo 3000.

La estación receptora es única y tiene la capacidad de recibir la información de todas las estaciones satelitales que se encuentren en la Red hidrométrica a escala nacional.

Tabla N° 7.5. Características de la Estación Receptora.

Item	Características	Datos Técnico
1	Antena Parabólica	Mayor o igual a 3.6 mts. Montaje Azimut/elevación. 44.8 db de ganancia.
2	GR3150	Convertidor de bajada, conversión a 70 MHz. 60 db de Ganancia de Conversión. 1 grado de fase de estabilidad.
3	GR3100-UPS	Rack Metálico y potencia ininterrumpida
4	GR3130	Interfase modular de entrada con un piloto de control.
5	GR3140	Filtro DCS y amplificador.
6	GR3120	Demodulador NESDIS, según cantidad de canales
7	GR3110	Puertas seriales configurables en formato serial sincrono, con una velocidad de transferencia estándar.
8	GR3160	Instrumento de captura de datos, operación totalmente automática.

Fuente: D.G.A. Laboratorio de Meteorología

7.5.- Cotización de Elementos de las Estaciones en Terreno.

Tabla N°7.6. Productos Stevens

Ítem	Características	Precio Unitario	Total
1	Antena Helicoidal	\$ 310.000	+ IVA.
2	Transmisor	\$ 2.300.000	+ IVA.
3	Axsys MPU para plataforma	\$. 1.650.000	+ IVA.
4	Sensor SDI-12, con cable 30 mts.	\$ 1.230.000	+ IVA.
5	Sensor para Snow Pillow, cable 15mts.	\$ 1.300.000	+ IVA.

Tabla N°7.7. Productos Handar.

Ítem	Características	Precio Unitario	Total
1	Sensor de Precipitación	\$ 1.930.000	+ IVA.
2	Protector Radiación solar	\$ 480000	+ IVA.
3	Sensor de Temperatura.	\$ 450.000	+ IVA.

Fuente: D.G.A. Laboratorio de Meteorología

*Tabla N°7.8. Otros Productos Importantes.*

Ítem	Características	Precio Unitario	Total
1	Panel Solar de 10 Watts	\$ 380.000	+ IVA.
2	Panel Solar de 20 Watts.	\$ 460.000	+ IVA.
3	Snow Pilow.	\$ 2.600.000	+ IVA.
4	Metro de Cable para Sensor SDI-12	\$ 8.850	+ IVA.
5	Metro de Cable para antena, coaxial.	\$ 1.450	+ IVA.
6	Conector N macho atornillado.	\$ 1.800	+ IVA.
7	Metro de cable 2 conductores, trenzado 1mm.	\$ 345	+ IVA.
8	Metro de cable 6 conductores, trenzado 1mm.	\$ 784	+ IVA.

Fuente: D.G.A. Laboratorio de Meteorología

#### *7.5.2 Productos Vitel.*

La estación receptora satelital en su conjunto contiene estos 6 ítems, los cuales de acuerdo a sus características cumple una función determina dentro de dicha recepción.

Tabla N°7.8. Costos Productos Vitel.

Ítem	Características	Precio Unitario	Total
1	GR3150*	US\$ 4.118	+ IVA.
2	GR3100-UPS*	US\$ 2.932	+ IVA.
3	GR3130 con GR3160*	US\$ 6.470	+ IVA.
4	GR3140*	US\$ 1.922	+ IVA.
5	GR3120*	US\$ 3.706	+ IVA.
6	GR3110*	US\$ 1.882	+ IVA.

(\*) Valores referenciales. Valores de Noviembre de 1997.

A continuación se realizará una comparación de los instrumentos necesarios entre la medición en tiempo real y registró continuo de niveles de agua.

*Tabla N°7.9. Comparativa de Instrumentos Necesarios para una Medición en Tiempo Real y Registró Continuo.*

<b>Medición en Tiempo Real Plataforma Satelital</b>	<b>Registró continuo de niveles de Agua</b>
Sistema de Data logger Antenas receptoras y de salida Fuente de poder Baterías y paneles solares (autonomía) Sensores: Snow Pilow, precipitación Temperatura Estación Receptora	Sistema Data logger(sensores) Fuente de poder Batería (12volt) Computador tradicional de recepción de datos (Pentium 300)

De acuerdo a está comparación de equipos necesarios para realizar dos mediciones se considera en la siguiente tabla los equipos de una estación con Plataforma Satelital y Sistema Data Logger, especificando los costos que involucran la instalación de dicha estación de acuerdo a sus características de los equipos que consideran.

*Tabla N°7.10. Comparativa de Costos Involucrados en Instalación de Equipos de Medición.*

<b>REGISTRO CONTINUO DE NIVELES DE AGUA</b>		<b>MEDICIÓN EN TIEMPO REAL</b>	
<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>VALOR (\$)</b>	<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>VALOR (\$)</b>
Data Logger	1.638.820	Data Logger	1.638.820
Sensor de Presión	308.200	Sensor de Presión	308.200
Tarjeta magnetica	204.350	Sensor Radiación + Protección	1.500.000
Cables de conexión	20.000	Transmisor Satelital	1.943.000
Batería	40.000	Antena	227.800
		Batería	40.000
		Panel Solar	460.000
		Cables de Conexión	20.000
<b>Total de Equipos</b>	<b>2.211.370</b>	<b>Total de Equipos</b>	<b>6.137.820</b>
Derechos Aduana	663411	Derechos Aduana	1841346
(+) IVA		(+) IVA	
<b>Costo Total</b>	<b>2.874.781</b>	<b>Costo Total</b>	<b>7.979.166</b>

Fuente: Dirección General de Aguas. MOP.

Destacando la gran diferencia económica que existe en implementar una Estación con Medición en Tiempo Real y una con Registró Continuo de Medición de Niveles de Agua.

### **7.6 Ventajas de la Modernización de Equipos a nivel Hidrométrico.**

Al conocer las características de los equipos modernos, se observa no tan solo una disminución en los tiempos de entrega de información, sino que una mayor confiabilidad en los datos entregados por los equipos nuevos.

En el caso del Equipo de Tiempo Real (Plataforma Satelital), entrega una realidad al instante de lo acontecido con los caudales, pudiendo identificar crecidas, monitoreando posibles salidas de cauce y protegiendo obras en construcción.

El monitoreo constante del río mediante el Limnigrafo Digital, sumado a nuevos equipos de procesadores (PC), facilita la evaluación de los registros disminuyendo su tiempo y personal necesario para realizarlo.

Para el caso de los equipos antes mencionados se destaca su diversidad de funciones, es decir, los sistemas digitales no tan solo pueden medir el parámetro caudal, sino incluyen canales anexos los cuales pueden ser habilitados con otros parámetros de medición de la Red Hidrométrica Nacional:

- Precipitaciones y Temperatura ambiente.
- Temperatura del Agua.
- Calidad de agua.

Sumado a esto, se incluyen nuevas vías transporte (Email, Módem, Fax, Correos), las cuales facilitan el desplazamiento de los datos a sus lugares respectivos.

Actualmente, se encuentra marcha el *Nuevo Banco Nacional de Agua (BNA 2000)*, siendo sus principales características:

- Ambiente Windows, facilitando la comunicación Intranet.
- Manejo de Gráficas, relacionando variables de la Red Hidrométrica.
- Facilidad en el manejo de periodos, lo cual favorece estudios a largo plazo.
- Ventajas en corregir o eliminar registros procesados deficientemente.
- Procesamientos de registros, apoyados con material gráfico, disminuyendo posibilidad de errores.

Dicha modernización, se acompaña de cursos de capacitación para los distintos funcionarios de la Dirección General de Aguas de todas las Regiones y Provincias.

Con estos adelantos se pretende descentralizar el funcionamiento de la Oficina Central, manteniendo dicho organismo como contralor y supervisor de la información de las Oficinas Regionales y Provinciales y así disminuir los tiempos de procesos de los distintos registro al nivel de la Red Fluviométrica de la Región.

## **CAPITULO VIII. RED FLUVIOMETRICA PROPUESTA PARA LA III REGIÓN.**

El presente capítulo se propone una nueva Red Fluviométrica para la III Región de Atacama, considerando todas las variables hidrológicas antes expuestas, los nuevos equipos y medios de transporte, optimizando la red actual en su parte técnica (asignación de nuevos equipos), sin desmerecer parámetros hidrológicos relevantes.

A continuación se muestra las herramientas matemáticas que se utilizarán para proponer una Red Fluviométrica de la III<sup>a</sup> Región. mediante un Modelo de Localización, el cual comienza con una descripción de la Investigación de Operaciones, y los beneficios de su utilización, para seguir con una descripción lineal, Programación Entera, Programación Entera Binaria, y sus respectivas métodos de solución.

Luego se abordan modelos que son utilizados para resolver los Problemas de localización de instalaciones, ya sea públicas o privadas (hospitales, bancos, bibliotecas, escuelas, bodegas, plantas industriales, comercio, etc.), como el Modelo de Cobertura, de Máximo Cobertura, P-Median y de Corto Fijo.

A continuación se describen condiciones que debe tener la sección para la instalación de una estación. Se plantea los parámetros a utilizar según la escala a utilizar, para luego presentar el modelo de localización específica a utilizar para tener un registró continuo y óptimo del caudal que pasa por el río.

Finalmente se realiza un análisis y evolución del modelo utilizado con el fin de determinar su aporte a la optimización de la Red Fluviométrica, dicho análisis contemplara una comparación de resultados entre la Red Propuesta Hidrológicamente

### ***8.1 Red Fluviométrica Propuesta para la III Región de Atacama.***

A continuación se ilustra la Red Fluviométrica propuesta para la III Región de Atacama, considerando las cuencas de mayor aporte para la región: cuenca del Río Copiapó cuenca del Río Huasco y cuencas Endorreicas R/Frontera y Vertientes identificando el tipo de equipamiento a establecer, justificado por criterios.

#### ***8.1.1. Cuencas al norte del Río Copiapó***

Para las cuencas que se encuentran al norte del Río Copiapó, presentan escurrimientos superficiales intermitentes, solo en ocasiones se generan crecidas con períodos de retornos 100 años considerados en el capítulo4. Exceptuando lo anterior, la Quebrada del Salado (Cuenca el Salvador) presenta escurrimientos continuos provenientes en su gran mayoría relaves de mineral de El Salvador, desembocando en Chañaral, afectando el ecosistema de la cuenca. Se recomienda para esta cuenca efectuar mediciones de calidad de agua, dependientes del departamentos de estudios y conservación.

#### ***8.1.2. Cuenca del Río Copiapó.***

Para esta cuenca es necesario considerar una Red Fluviométrica optima, la cual podrá medir eficientemente el recurso Hídrico aportable por la cuenca a cualquier actividad económica para la región.

*Estaciones Primarias:* son aquellas estaciones bases o permanentes que deben ser consideradas continuamente, para proporcionar la base fundamental de cualquier estudio de recurso hídrico superficial.

*Estaciones Secundarias:* son aquellas que se mantienen en su ubicación durante un número limitado de años, hasta que se establezca una buena correlación entre la información registradas por ellas y las estaciones primarias.

Para esta cuenca, la red Fluviométrica propuesta y su jerarquización (primaria, secundaria) es la siguiente:

- *Estaciones Primarias.*
  - Río Jorquera en Vertedero. (DL) (Data Logger).
  - Río Pulido en Vertedero. (DL).
  - Río Copiapó en la Puerta (PS) (Plataforma Satelital).
  - Río Copiapó en ciudad de Copiapó (DL).
  - Río Copiapó en Angostura (PS)
- *Estaciones Secundarias*
  - Río Copiapó en mal paso aguas abajo del canal (DL)
  - Río Copiapó en Lautaro (DL)
  - Canal mal paso aguas Abajo del canal (DL).

Lo expresado en el punto anterior, considera suprimir la estación Río Manflas en Vertedero, considerado el afluente de menor caudal aportable al Río Copiapó y su medición se puede realizar indirectamente, mediante la diferencia entre los caudales aportables por el Río Jorquera y Pulido, y la estación ubicada en el Río Copiapó en Pastillo.

Se mantiene la Estación Río Copiapó en la Puerta como estación de medición con Plataforma Satelital, no presentando problemas mayores en la medición, y a dicha estación se suma la Estación Río Copiapó en Angostura con

implementación satelital, para medir en tiempo real las posibles crecidas que sucedan en la cuenca y así medir eficazmente la cantidad de caudal que sale por la cuenca, para posibles estudios de episodios críticos.

Las estaciones secundarias deben ser equipadas con instrumento digital (Data Logger), para generar una correcta medición del recurso hídrico superficial, obviando su característica de secundaria. La estación Río Copiapó en canal mal paso aguas abajo del canal, se suspende producto de su ineficiente registró de datos.

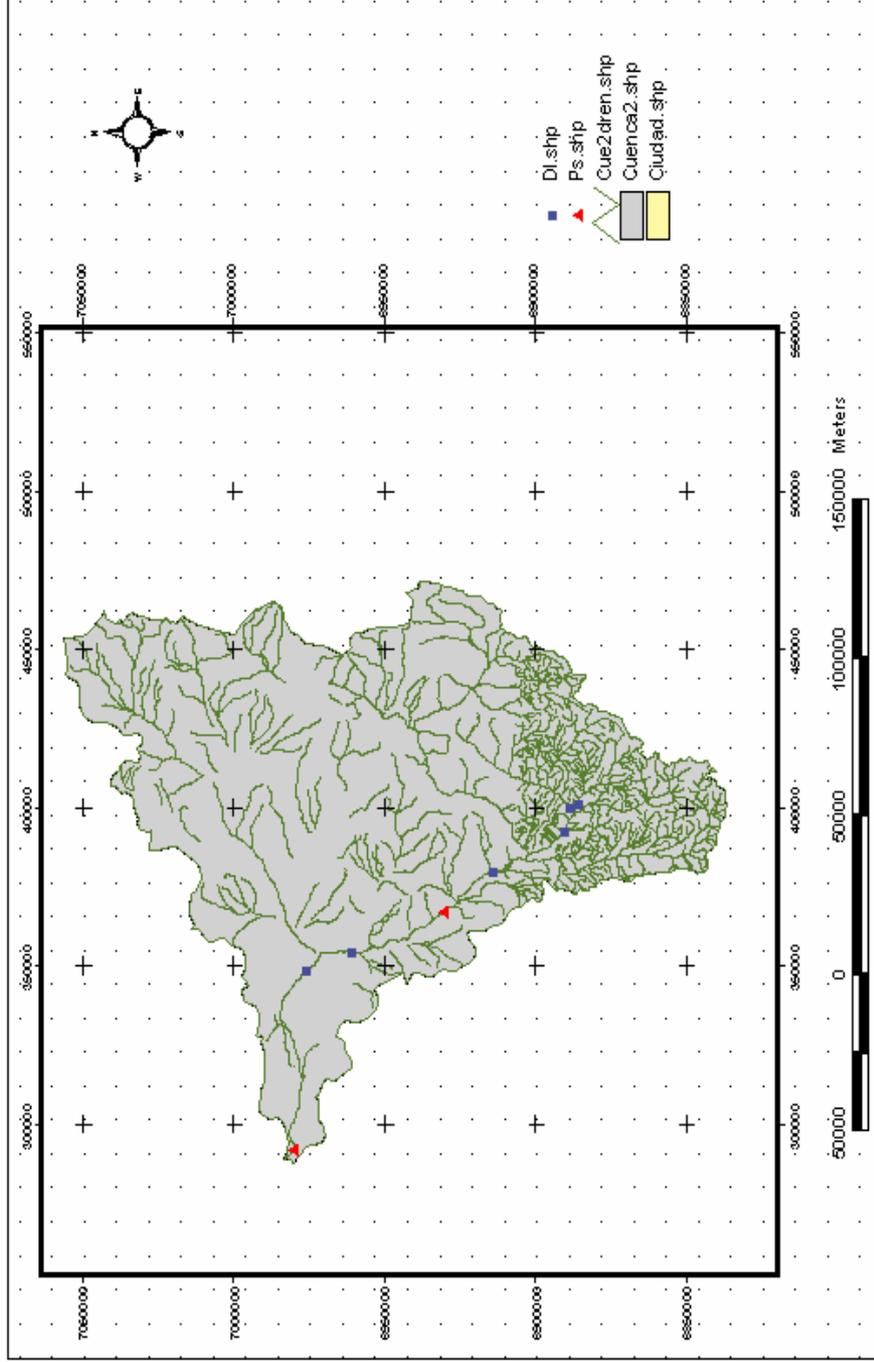
La siguiente tabla describe las estaciones propuestas identificando su equipamiento y características.

*Tabla N°8.1 Estaciones Propuesta para la Cuenca del Copiapó.*

N°	ESTACIÓN	PRIORIDAD	IMPLEMENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Río Jorquera en Vertedero	Primaria	DL	medición caudal del río mismo nombre.
2	Río Pulido en Vertedero	Primaria	DL	medición caudal del río mismo nombre.
3	Río Copiapó en Pastillo	Primaria	DL	medición de caudal de afluentes
4	Río Copiapó en la Puerta	Primaria	PS	medición en tiempo real.
5	Río Copiapó en ciudad Co.	Primaria	DL	Medición de caudal que pasa por ciudad
6	Río Copiapó en Angostura	Primaria	PS	Medición caudal saliente por la cuenca
7	Río Copiapó en Lautaro	Secundaria	DL	Medición de caudal saliente del embalse
8	Canal mal paso aguas abajo	Secundaria	DI	Medición de caudal que pasa por el canal

Se puede observar, que de acuerdo a la descripción realizada a la red fluviométrica existente, la propuesta prácticamente no a variado, solo se a considerado una distribución estratégica de los nuevos equipos.

# CUENCA DEL COPIAPO RED PROPUESTA



### 8.1.3 Cuenca del Río Huasco.

La cuenca del Río Huasco presenta similares características a la Cuenca del Río Copiapó, considerada la segunda cuenca de importancia para la región.

Sus dos afluentes (Río Carmen y Río Transito), son de significativa importancia de acuerdo a la aportabilidad de caudal registradas por el Banco Nacional de Aguas.

Para esta cuenca se considera la siguiente Red Fluviométrica Propuesta.

- *Estaciones Primarias.*

- Río Carmen en Corral (DL). (Data Logger).
- Río Carmen en Puente Ramadilla (DL).
- Río Conay en las Lozas (DL).
- Río Transito antes Junta Río Carmen (DL).
- Río Huasco en Chepica (PS). (Plataforma Satelital).
- Río Huasco a la salida Embalse Santa Juana (DL).
- Río Huasco en Puente Nicolasa (PS).

- *Estaciones Secundarias.*

- Río Carmen en Puente Majada (DL):
- Río Transito en Angostura de Pinte (DL).

De lo expuesto anteriormente, se considera suprimir la estación Huasco en Algodones, producto de las deficiencias expresadas en su registró y trasladarla a Río Huasco en Chepica, considerada una estación más estable.

Dicha estación será equipada con Plataforma satelital y así cuantificar en tiempo real el caudal que trae el Río Huasco después de la entrega de los afluentes Río Carmen y Río Tránsito.

La Estación Río Huasco en Puente Nicolasa, reemplazará a la estación Huasco en Huasco Bajo, producto de malas condiciones para la realizar la medición (exceso de vegetación, continuos remanso, cambios en la curva de

descarga), implementándola con Plataforma Satelital y así evaluar en tiempo real el caudal que entrega la cuenca del Río Huasco, para episodios críticos.

La siguiente tabla describe las estaciones propuestas identificando su equipamiento y características de la Cuenca del Huasco.

*Tabla N°8.2. Estaciones Propuestas para la Cuenca del Río Huasco.*

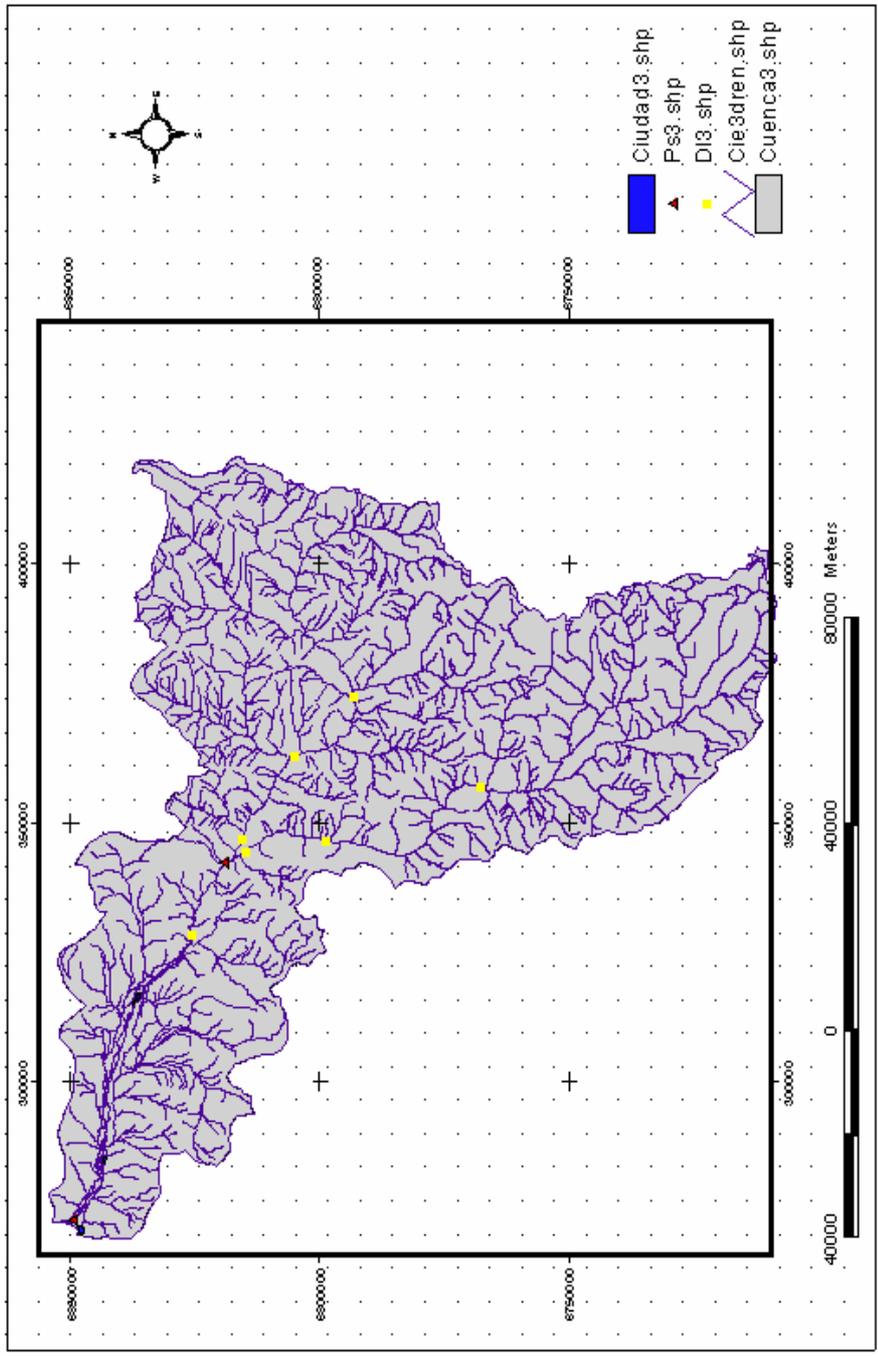
N°	ESTACIÓN	PRIORIDAD	IMPLEMENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Río Carmen en Corral	Primaria	DL	Medición caudal del río mismo nombre.
2	Río Carmen en Punta Ramadilla.	Primaria	DL	Medición de caudal que entrega al Río Huasco
3	Río Conay en Las Lozas	Primaria	DL	Medición de caudal del mismo nombre
4	Río Tránsito antes Junta Río Carmen	Primaria	DL	Medición de caudal que entrega al Río Huasco.
5	Río Huasco en Chepica	Primaria	PS	Medición de caudal que pasa por ciudad de Vallenar
6	Río Huasco a la Salida Embalse Santa Juana	Primaria	DL	Medición de caudal saliente del embalse Santa Juana
7	Río Huasco en Puente nicolasa	Primaria	PS	Medición caudal saliente por la cuenca
8	Río Carmen en Puente la Majada	Secundaria	DL	Medición de caudal después de una zona regadió
9	Río Tránsito en Agostura de Pinte	Secundaria	DL	Medición de caudal después de una zona regadió

Se observa, que la ubicación de las estaciones no ha sido modificada, salvo la estación que se encuentra en la desembocadura de la cuenca. Pero su implementación a sido equipada con tecnología digital y real, disminuyendo las deficiencias en la entrega de registros.

#### *8.1.4 Cuencas Costeras entre el Río Copiapó y el Río Huasco.*

No se presentan escurrimientos superficiales continuos en dichas cuencas, la mayoría de las actividades que se realizan (Actividad Minera, Industrial y consumo de Agua Potable), se abastecen de agua subterráneas, considerada suficiente para las actividades que se generan en dichas cuencas.

# CUENCA VALLENAR RED PROPUESTA



### 8.1.5 Cuencas Endorreicas R/Frontera y Vertientes.

Esta cuenca presenta condiciones muy especiales para realizar una correcta medición (capítulo 2). Sus bruscos cambios de clima, su gran altitud, se consideran situaciones extremas, en donde el equipamiento es sobrepasado en sus límites para realizar una correcta medición, generando registros incompletos lo que dificulta la realización de un estudio hidrológico confiable en el tiempo.

Su aporte de caudal a actividades económicas de la región es importante, considerando que la Minera del Salvador y Chevron S.A., utilizan su recurso hídrico para realizar faenas mineras.

Para esta cuenca no se considera una jerarquización de estaciones, toda se consideran primarias.

Las siguientes estaciones son las propuestas para la Cuenca Endorreicas.

- Río la Ola en Vertedero (DL).
- Río Villalobos en Vertedero (DL).
- Río Valle Ancho antes de junta Barros Negros (DL):
- Río Valle Ancho en la Barrera.
- Río Lamas en el Salto.
- Río Astaburuaga en el Cono.

Según la descripción de la Red Fluviométrica propuesta para las Cuencas Endorreicas R/Frontera y Vertientes, la Estación Barros Negros ante de junta Valle Ancho es suprimida por la poca aportabilidad de caudal ( $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Todas las estaciones deben contar con Limnógrafo Digital, el cual puede seguir registrando valores hasta temperaturas iguales o superiores  $-15^\circ\text{C}$ .

La Estación Río Lamas en el Salto, tiene registros más completos que las anteriores descritas, por ende se recomienda la instalación de otros parámetros Hidrométricos, como: precipitaciones, temperatura del agua, calidad del agua.

La siguiente tabla describe las estaciones propuestas identificando su equipamiento y características de las Cuencas Endorreicas R/Fronteras y Vertientes.

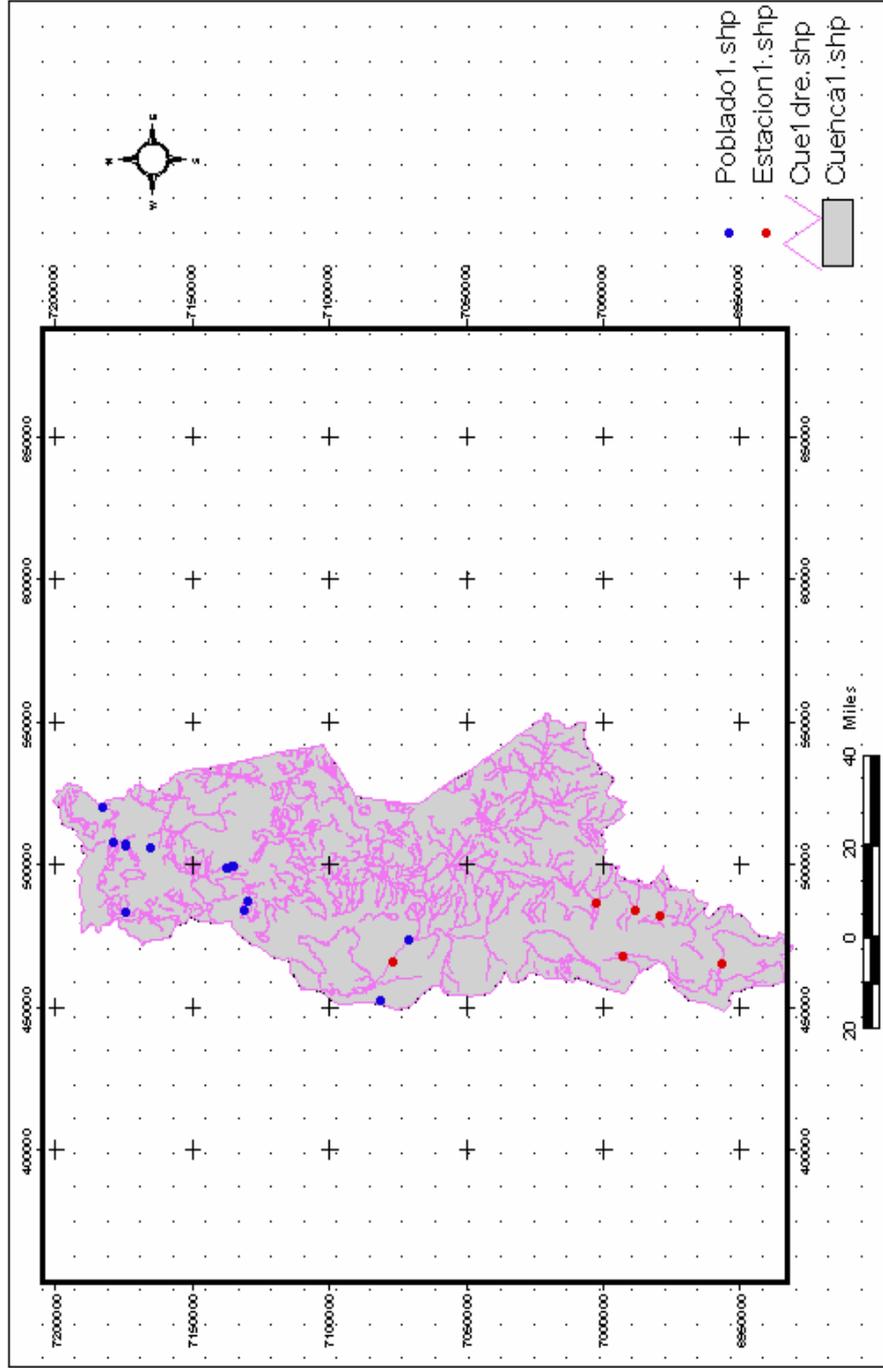
A continuación se presenta tabla descriptiva de estaciones existentes, suprimidas y propuesta.

*Tabla N°8.3. Estaciones Propuestas para las Cuencas Endorreicas.*

N°	ESTACIÓN	PRIORIDAD	IMPLEMENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Río la Ola en Vertedero	Primaria	DL	medición caudal del río mismo nombre.
2	Río Villalobos en Vertedero	Primaria	DL	medición caudal del río mismo nombre.
3	Río Valle Ancho antes junta Barros Negros	Primaria	DL	medición caudal del río mismo nombre.
4	Río Valle Ancho en la Barrera.	Primaria	DL	medición caudal del río mismo nombre.
5	Río Lamas en el Salto.	Primaria	DL	medición caudal del río mismo nombre.
6	Río Astaburuaga en Cono	Primaria	DL	medición caudal del río mismo nombre.

Los problemas que presentan con mayor frecuencia estas estaciones, tiene que ver con el congelamiento de sus equipos. La implementación de equipos digitales (Data Logger), retrasa el proceso de suspensión de registros por congelamiento, producto de que el sistema digital funciona a temperaturas superiores a los  $-12^{\circ}\text{C}$ .

# CUENCA ENDORREICA RED PROPUESTA



### **8.1.6 Cuenca Ubicadas al Sur del Río Huasco.**

La única cuenca que se encuentra al sur del Río Huasco corresponde a la Cuenca de Domeyco, la cual no presenta escurrimientos superficiales de permanentes. No presenta grandes actividades productivas para la región, en su mayoría pequeños centros mineros, acompañado de un escaso poblamiento.

### **8.2 Recomendaciones para las Estaciones.**

Basándose en el análisis hidrológico de la Red Fluviométrica existente, se deben considerar las siguientes recomendaciones para generar una correcta medición del recurso hídrico superficial.

- En cada estación Fluviométrica debe llevara una bitácora, en la cual se anotan todos los sucesos que ocurran en la estación, como: causas de interrupciones de los registros, embanque del pozo, cambios en la sección de escurrimientos, cambio de ubicación de la estación, destrucción de la sección artificial, cambio de la regla Limnimétrica, etc. Dicha bitácora deben estar intercomunicada entre la oficina Regional y Central.

- La inestabilidad que existe con las curvas de descarga es solucionable mediante la localización de gaviones enterrados en un 70% de su superficie, pudiendo así estabilizar la sección donde se encuentra la sección.

- Aumentar las aducciones que tengan la cámara Limnigráfica y así poder disminuir la posibilidad de embancamiento, aumentando la medición real del fenómeno.

- Se recomienda tomar un plano de planta y perfil transversal de todas las estaciones con sus cotas referidas al cero de la regla Limnimétrica, considerando su actualización cada vez que la sección sufra cambios importantes.

- Se recomienda utilizar para las estaciones que se encuentran en las Cuencas Endorreicas, mecanismos de aislación térmica, los cuales disminuirán el tiempo de congelamiento de las estaciones fluviométricas y así poder registrar datos más prolongados en épocas estivales (invierno). Como mecanismo impermeabilizante, se puede utilizar la brea y un compuesto fibroso, adherido a las paredes de la caseta y tubo cilíndrico donde se encuentran los instrumentos.

Se encuentra en funcionamiento reciente un tipo de gráfico (forma de entrega de datos BNA 2000), que informa en tiempo real las condiciones de caudal ( $m^3/s$ ) y precipitaciones (pp/mm) en distintos puntos clave o críticos de la cuenca.

Este sistema se está implementando en lugares más afectados a eventos del país, como: crecidas, aluviones, desbordamiento de ríos, y en cuencas como Maule y Bio-Bio.

Se considera, a lo propuesto en este estudio, sugerir para el control de las cuencas del Río Copiapó y Huasco generar dicho gráfico de control de caudal v/s precipitaciones. Se recomienda dividir a la cuenca en tres secciones:

- Un punto al interior de la cuenca cordillerana o naciente.
- Un punto en la depresión intermedia, que puede coincidir con un centro urbano de importancia.
- Un punto en la desembocadura, para identificar en tiempo real el caudal saliente por la cuenca.

-

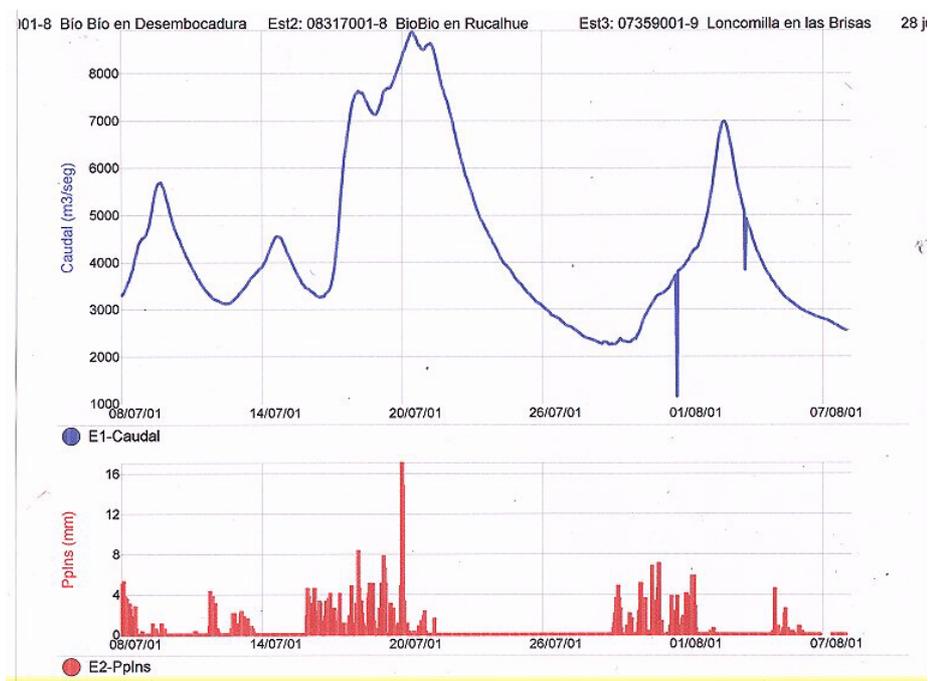
Para el caso de las Cuencas del Río Copiapó y Huasco, solo se considera la implementación de dos estaciones con Plataforma Satelital:

- La primera se encuentra ubicada en el sector donde confluyen los afluentes de importancia para el río principal (termino de la naciente del río, comienzo de la depresión intermedia). Esta estación tiene por

objetivo medir en tiempo real posibles crecidas que provienen de los afluentes de importancia, y así alertar posibles desbordamiento en ciudades densamente pobladas (Vallenar y Copiapó).

- La segunda estación corresponde su ubicación en la desembocadura de la cuenca en estudio. Para el caso de la Cuenca del Río Copiapó, la estación Copiapó en Angostura. Para la Cuenca del Río Huasco, la estación Huasco en Nicolasa. Su objetivo principal es medir en tiempo real el agua saliente de la cuenca y así determinar empíricamente períodos de retorno para grandes crecidas. Otro fundamento es la existencia de centros urbanos en la desembocadura de las cuencas, generando un sistema de alerta de posibles crecidas en dicha zona.

A continuación, a modo de ejemplo, se presenta el gráfico resultante para el control de grandes crecidas que ocurran en la Cuenca del Río Bio-Bio en tiempo



real .

Figura N°8.1. Gráfico en Tiempo real de la Estación Bio-Bio en Desembocadura. Caudal v/s Precipitaciones.

*El presente gráfico describe la relación existente entre precipitaciones y caudal, para la cuenca del Bio-Bio en su desembocadura. El gráfico de barras señala la cantidad de precipitación caídas, señalando la cantidad en mm y la fecha. El gráfico de caudales se representa con un gráfico de líneas, indicando el caudal en  $m^3/s$  en las ordenadas y en su eje de abscisas la fecha que ocurre el evento.*

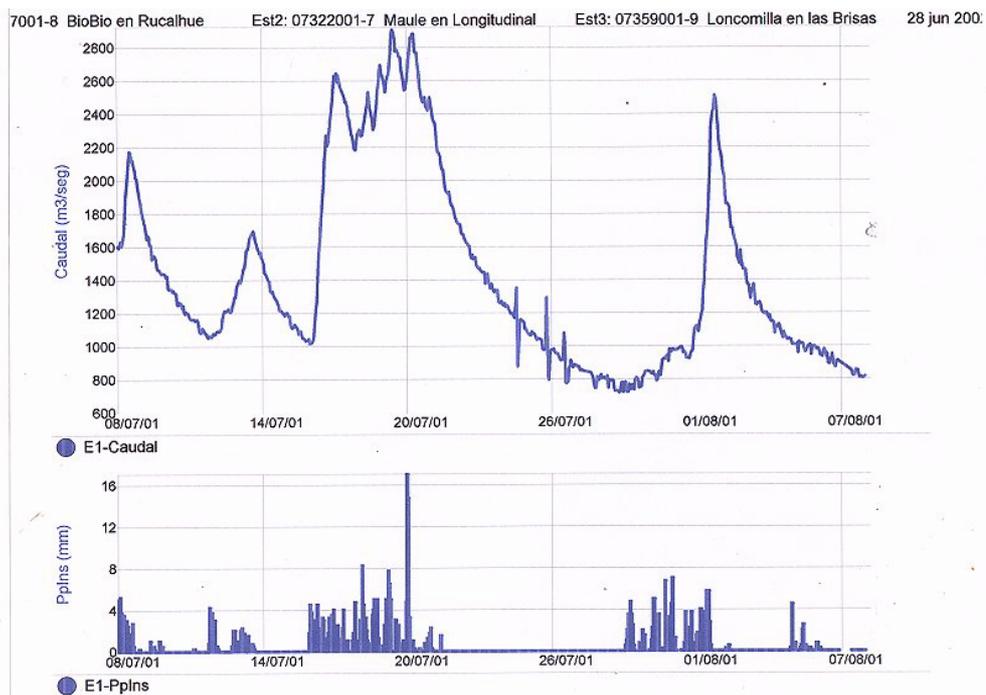


Figura N°8.2. Gráfico en Tiempo real de la Estación Bio-Bio en Rucalhue, comparando variables precipitaciones v/s caudal.

A continuación podemos observar el gráfico resultante de un evento crítico producido en la Cuenca del Bio-Bio, el cual realiza una superposición de los gráficos antes vistos. Dichos parámetros se pueden evaluar mensualmente, semanalmente y diariamente. En anexos se encuentra una figura en la cual se visualiza, la pagina en su conjunto entregada por la Estación Receptora de la Satelital.

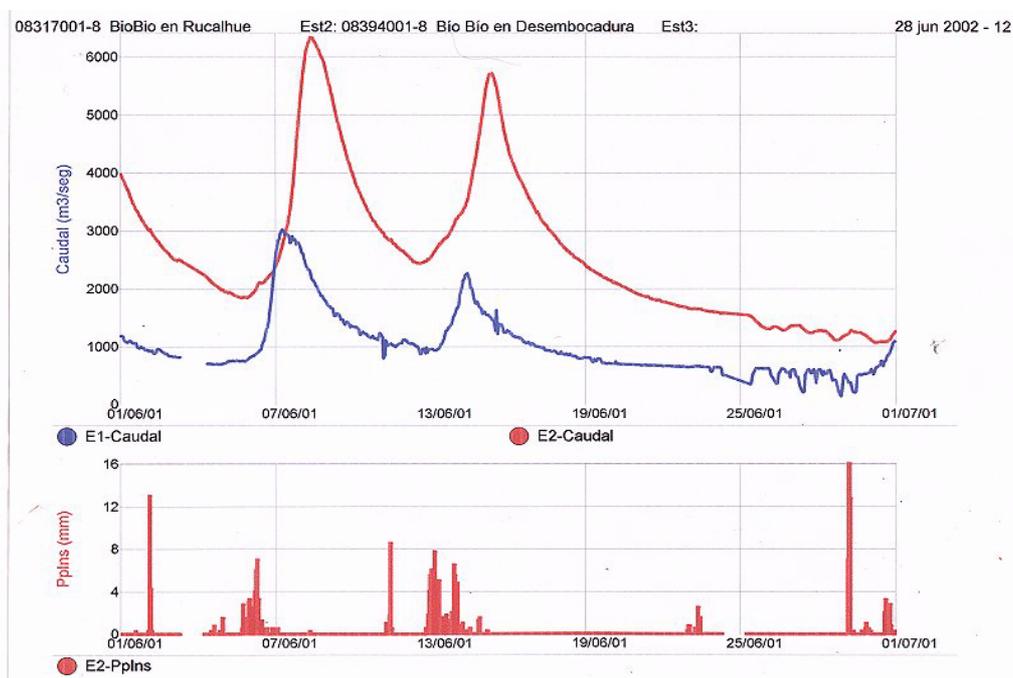


Figura N°8.3. Gráfico Resultante de la comparación de un evento crítico para la Cuenca del Bio-Bio.

### **8.3 Utilización de un Modelo Matemático.**

Cuando se plantea el problema de la localización de puntos de medición de la Red Fluviométrica de la III<sup>a</sup> Región, el fin es optimizar su ubicación. Entonces, dado que uno de los objetivos de la red fluviométrica es poder controlar la mayor cantidad de escorrentía superficial, la situación óptima sería localizar un instrumento de medición en cada uno de los afluentes, canales y drenajes que existen en la región, para así lograr una excelente cobertura de control.

Obviamente, instalar un instrumento en cada punto en el que se generan altos niveles de flujos, sería infactible, ya que se necesitarían cientos de equipos. Se presenta así, una restricción relacionada a la cantidad de instrumentos a instalar, además está el problema de que no todos los tramos del río cumplen con la condición de ser recto, considerando una restricción a los parámetros.

De esta manera surge la interrogante ¿Cómo lograr una medición representativa de la cuenca, utilizando un número reducido de instrumentos y que sea confiable?.

Para intentar dar respuestas a esta pregunta, es necesario tener en cuenta una serie de variables que están involucradas en el trabajo a realizar, flujos de caudal de las Cuencas del Río Copiapó y Huasco, relaciones con sistemas de alerta de crecidas y regadíos, etc.

Es en este punto donde la Investigación Operativa (IO) surge como una herramienta de planificación que ayuda a relacionar de manera armónica, los distintos componentes de los sistemas, obteniéndose diversos beneficios de su aplicación, entre ellos:

- Incrementa las posibilidades de tomar mejores decisiones. La utilización de la IO aumenta las posibilidades de interrelaciones que puedan llegar a existir que puedan llegar a existir entre los componentes del sistema en general. Evidentemente , pueden existir en el sistema cientos de componentes aumentando las interrelaciones a miles.

- Mejora el control del sistema al instituir procedimientos sistemáticos que supervisan por un lado, las operaciones que se llevan a cabo en el sistema principal y así evitar el regreso a un sistema peor. Evita la pérdida

### *8.3.1 Programación Lineal.-*

Un caso particular de la investigación de operaciones es la Programación Lineal. Abarca el problema de asignar recursos limitados entre actividades competitivas de la mejor manera posible, es decir, en forma óptima. Con más precisión, este problema incluye elegir el nivel de ciertas actividades que compiten por los recursos escasos necesarios para realizarlas. Los niveles de actividad elegidos determinan la cantidad de recursos que consumirá cada una de ellas.

Para lograr su objetivo, la Programación Lineal utiliza un modelo matemático para describir el problema. El adjetivo “lineal”, significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. La palabra “programación”, tiene un significado sinónimo de ordenación.

Los problemas de Programación Lineal se presentan con una función objetivo que hay que maximizar o minimizar, junto a una serie de restricciones a que están sujetas las variables de la función objetivo. Para resolver un problema de Programación Lineal con dos variables, es posible usar el método gráfico; sin embargo, la mayoría de los problemas de la vida real contienen más de dos

variables, es por ello que existen métodos para resolver dichos problemas, entre éstos se encuentra el popular “Método Simplex”.

### 8.3.2 Planteamiento de un Problema de Programación Lineal.

La forma estándar de plantear matemáticamente un problema de Programación Lineal en forma general, es la siguiente:

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (8.1)$$

La función  $Z$ , descrita en la fórmula (7.1) es la llamada *Función Objetivo*, ésta responde a la motivación de maximizar los beneficios, que dependen de las *variables de decisión*  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Los recursos o valores de las variables de decisión, siempre están acotados; por tanto, al plantear un problema de Programación Lineal, es necesario definir ciertas restricciones:

$$\begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 + \dots + a_{1n} x_n &\leq b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + a_{23} x_3 + \dots + a_{2n} x_n &\leq b_2 \end{aligned} \quad (8.2)$$

$$\begin{aligned} a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + a_{m3} x_3 + \dots + a_{mn} x_n &\leq b_m \\ x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \quad \dots \quad x_n &\geq 0 \end{aligned} \quad (8.3)$$

Donde las inecuaciones (8.2), son las *Restricciones Funcionales*; y las (8.3) son las *Restricciones de no negatividad*.

Cabe destacar que no todos los problemas se enmarcan dentro de esta estructura general, por ello es que se consideran algunas variantes:

- Minimizar en lugar de maximizar la función objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

- Algunas restricciones funcionales con desigualdad en el sentido mayor o igual:

$$a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + a_{i3} x_3 + \dots + a_{in} x_n < b_i, \text{ para algunos valores de } i.$$

- Algunas restricciones funcionales en forma de ecuación:

$$a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + a_{i3} x_3 + \dots + a_{in} x_n = b_i, \text{ para algunos valores de } i.$$

- Las variables de decisión sin la restrcción de no negatividad:

$x_j$  no restringida en signo, para algunos valores de  $i$ .

Para el modelo de Programación Lineal presentado se definen: *Solución*, a cualquier conjunto de valores específicos para las variables de decisión ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ). *Solución Factible*, a la solución para la que todas las restricciones se satisfacen y *Solución Óptima*, a aquella solución factible que lleva al valor más favorable de la función objetivo. Por último, se define la *Región Factible* como el conjunto de soluciones factibles.

### 8.3.3 Suposiciones de la Programación Lineal.

- Proporcionalidad:

*La suposición de Proporcionalidad define que, la contribución de cada actividad al valor de la función objetivo Z es proporcional al nivel de actividad  $x_j$  como lo representa el término  $c_jx_j$  en la función objetivo (8.1). de manera similar, la contribución de cada actividad al lado izquierdo de cada restricción funcional es proporcional al nivel de la actividad  $x_j$ , en la forma en que lo representa el término*

$a_{ij}$  en la restricción (8.2). En consecuencia, esta suposición elimina cualquier exponente diferente a 1 para las variables en cualquier término de las funciones, ya sea la función objetivo o el lado izquierdo de las restricciones funcionales, en un modelo de Programación Lineal.

- Actividad:

La suposición de Aditividad define que, *cada función* en un modelo de Programación Lineal, ya sea función objetivo o el lado izquierdo de las restricciones funcionales, es la suma de las *contribuciones individuales* de las actividades respectivas.

- Divisibilidad:

La suposición de Divisibilidad define que, las variables de decisión en un modelo de Programación Lineal pueden tomar *cualquier valor*, incluyendo *no enteros*, que satisfagan las restricciones funcionales y de no negatividad. Así, estas variables no están restringidas a sólo valores enteros. Como cada variable de decisión representa el nivel de alguna actividad, se supondrá que las actividades pueden realizarse a *niveles fraccionales*.

- Certidumbre:

La suposición de Certidumbre define que, los valores asignados a cada parámetro de un modelo de Programación Lineal son *Constantes conocidas*.

#### 8.3.4 Programación Entera

La principal limitación a la aplicación de la Programación Lineal en los problemas de la realidad, es la suposición de *divisibilidad*, que dice que las variables de decisión pueden tomar valores reales continuos. En muchos problemas prácticos, las variables de decisión pueden tomar valores reales o continuos. En muchos problemas prácticos, las variables de decisión sólo tienen un sentido real si su valor es entero. Por ejemplo, con frecuencia es necesario asignar personas, máquinas o vehículos a las actividades, en cantidades

enteras. Cuando las variables de decisión toman sólo valores enteros el problema es de *Programación Entera Pura*; por otra parte, cuando es necesario que sólo algunas de las variables tengan valores enteros ( y la suposición de divisibilidad se cumpla para el resto), es un caso de *Programación Entera Mixta*.

El modelo matemático para Programación Entera es sencillamente el modelo de Programación Lineal con la restricción adicional de que las variables deben tener valores enteros.

#### 8.3.4.1 *Programación Entera Binaria*

Se han desarrollado numerosas aplicaciones de Programación Entera, en las cuales existe una extensión directa de Programación Lineal, donde se debe sustituir la suposición de divisibilidad por la de integridad (valores enteros). Sin embargo existe otra área de aplicación que puede ser de mayor importancia e incluye un cierto número de decisiones binarias interrelacionales. En las decisiones de este tipo, las únicas dos elecciones posibles son sí o no. A estos problemas se les llama problemas de *Programación Entera Binaria*. Un ejemplo tipo de problema podría ser el de resolver la pregunta ¿Se debe localizar un servidor de demanda en un sitio particular? Con sólo dos posibilidades, este tipo de decisiones se puede representar mediante variables de decisión restringidas a dos valores, por ejemplo cero y uno. Así, las  $j$ -ésima decisión de sí o no se puede expresar por  $x_j$ , tal que:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{si la decisión } j \text{ es sí.} \\ 0, & \text{si la decisión } j \text{ es no.} \end{cases} \quad (8.4)$$

Las variables de este tipo se llaman variables binarias o variables 0 – 1.

#### 8.3.4.2 Aplicaciones o Propiedades de la Programación Entera Binaria.

En los Problemas de Programación Entera Binaria, muchas veces los grupos de decisiones sí o no, constituyen *grupos de Alternativas mutuamente excluyentes*, tales que sólo una decisión de ese grupo puede ser sí. Este problema se resuelve incluyendo una restricción donde la suma de las variables excluyentes sea menor o igual a 1. Otro problema se presenta cuando las decisiones son *contingentes*, esto es, si se permite que una decisión sea sí, solo si otra es sí. Este problema se resuelve incluyendo una restricción, donde la resta de las variables contingentes sea menor o igual a 0.

Otra aplicación, surge de la necesidad de cumplir una de dos restricciones, o bien k de N restricciones (con  $k < N$ ). Estos problemas se resuelven incluyendo variables enteras auxiliares en las restricciones, que se ponderan por un número positivo M muy grande, en consecuencia, si una de estas variables auxiliares adquiere el valor 1, la restricción se elimina, ya que cualquier solución que satisfaga las otras restricciones del problema automáticamente cumplirá ésta. En el caso de que se deban cumplir una de dos restricciones, se incluye una restricción donde la suma de las dos variables auxiliares sea igual a 1. En el caso de que se deban cumplir k de N restricciones, se incluye una restricción donde la suma de las N variables auxiliares sea igual a N – k.

A veces se requiere que una función adquiera cualquiera de  $N$  valores dados. Entonces cada uno de estos valores se multiplica por una variable entera auxiliar, y se incluye una restricción donde la suma de estas variables auxiliares sea igual a 1.

#### 8.3.4.3 *Limitaciones de la Programación Entera.*

Principalmente, existen dos limitaciones al momento de resolver los problemas de Programación Entera:

- Una de estas limitaciones, afecta a los problemas de Programación Entera Binaria. En éstos, existe un crecimiento exponencial de la dificultad del problema. Para  $n$  variables, existen  $2^n$  soluciones posibles. Si por ejemplo  $n$  toma el valor de 20, existe más de un millón de soluciones.
- La segunda limitación es que, a simple vista pareciera que para resolver un problema de Programación entera, sería más fácil considerarlo como un problema de Programación Lineal y luego eliminar las soluciones no enteras de éste. Pero sucede todo lo contrario, sólo cuando todas estas soluciones factibles están ahí, se puede garantizar que existe una solución básica factible en el vértice, que es óptima para el problema completo. Esta garantía es la clave del Método Simplex. Como resultado, en general, es mucho más sencillo resolver los problemas de Programación Lineal que los problemas de Programación Entera.

## 8.4 PROBLEMAS DE LOCALIZACIÓN

Para localizar uno o más servidores nuevos, en la mayoría de los modelos de optimización se involucra una función objetivo de costo, que se minimiza. Dicha función es representativa de la distancia y/o el tiempo necesario para hacer fluir bienes o servicios de la nueva instalación existentes o similares, las

instalaciones existentes o similares son aquellas que van a interactuar con la o las nuevas.

En muchos casos el beneficio (o el costo) asociado con Instalaciones de servicio – Nodo de demanda crece o decrece con relación a la distancia entre el nodo y la instalación más cercana. Si bien. La relación Costo – Distancia puede ser tanto lineal como no lineal, la relación de la distancia entre instalaciones y nodos de demanda, con el costo asociado al par de instalaciones de servicio – Nodo de demanda, es usualmente lineal.

Existen diversos enfoques para plantear los problemas de localización, los cuales responden a distintas inquietudes, algunas de ellas se refieren a:

- Lo que se quiere localizar.
- Las características de la nuevas instalaciones o de las instalaciones existentes.
- La interacción de diversas instalaciones.
- El espacio.
- El objetivo.
- La distancia.

#### *8.4.1 Modelos De Localización.*

Dentro de los problemas de localización se analizará cuatro modelos que servirán de base para el desarrollo de un modelo de localización óptima. El primero es un modelo de Cobertura, el cual tiene como objetivo minimizar los costos de instalación, asegurando que la demanda sea cubierta. El siguiente modelo es el de Máxima Cobertura, el objetivo de este modelo es maximizar el número de demanda cubierta. También se incluye el problema P- Median, el que minimiza el costo total de la localización. Por último se analizará el modelo

de costo fijo, cuyo objetivo es minimizar los costos de instalación y los costos de asignación.

#### 8.4.1.1 *Modelo De Cobertura (Set- Covering problem)*

El concepto de cobertura en términos de distribución espacial, se asocia al de Área de influencia. Se define Servicio Adecuado como el que cubre a clientes que se encuentran dentro de una distancia (Distancia de Cobertura) dada a la instalación abastecedora, mientras que el Servicio Inadecuado es el que cubre a clientes que se encuentran fuera de esta distancia. En el caso de no existir recursos para cubrir toda la demanda, se pretende maximizar la demanda cubierta.

El Modelo de cobertura tiene por objetivo minimizar los costos de instalación, asegurando la totalidad de la demanda cubierta.

El planteamiento matemático del Modelo de Cobertura es el siguiente:

$$\text{Min} \quad \sum_j f_j * x_j \quad (8.8)$$

Sujeto a:

$$\sum_j a_{ij} * x_j \geq 1 \quad \forall i \quad (8.9)$$

$$x_j = 0,1 \quad \forall j$$

Donde:

i : Nodos de Demanda.

j : Nodos Candidatos a las Instalaciones.

- $N_i$  : El Set de nodos candidatos  $j$  que pueden cubrir la demanda de  $i$ .
- $a_{ij}$  : 1, si el candidato al sitio  $j$  que puede cubrir la demanda de  $i$ .  
0, de otra manera.
- $F_j$  : Costo de Localización.
- $x_j$  : 1, si localizamos al candidato en el sitio  $j$ .  
0, de otra manera.

La fórmula (7.8) minimiza los costos de instalación, las restricciones (8.9) aseguran que todas las demandas son cubiertas y que  $x_j$  es una variable binaria.

Suponiendo que todos los costos  $F_j$  son iguales y que,  $N_i$  es el set de candidatos  $j$  que puede cubrir la demanda de  $i$ . El problema se puede plantear

$$\text{Min } \sum_j x_j$$

de la siguiente manera:

(8.10)

sujeto a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i$$

$$x_j = 0 . 1 \quad \forall j$$

(8.11)

Para resolver estos problemas de cobertura es necesario definir la Distancia de Cobertura  $D_c$ , como a la distancia máxima que debe recorrer un cliente hasta el lugar de abastecimiento para obtener un servicio adecuado. En

$$a_{ij} = 1 \dots \text{si} \dots d_{ij} \leq D_c$$

términos matemáticos:

$$N_i = \{j \mid d_{ij} \leq D_c\} \quad \text{ó} \quad (8.12)$$

El problema de Cobertura se resuelve por cualquier de las tres Técnicas de Solución a Problemas de Programación Entera.

#### 8.4.1.2 Modelo de Máxima Cobertura

El modelo de Máxima Cobertura busca el número de instalaciones para cubrir toda la demanda de los nodos, trata a los nodos de demanda de igual manera, es decir no distingue prioridades. En el caso de no existir recursos para cubrir toda la demanda, se busca maximizar la demanda cubierta.

Entonces, la formulación del modelo es:

$$\text{Max} \quad \sum_i h_i * z_i \quad (8.13)$$

Sujeto a:

$$z_i \leq \sum_j a_{ij} * x_j \quad \forall_i$$

$$\sum_j x_j \leq P \quad \forall_j$$

$$x_j = 0 . 1 \quad \forall_j$$

$$z_i = 0 . 1$$

(8.14)

Donde:

$h_i$  : Demanda del nodo  $i$ .

$P$  : Número de Instalaciones a localizar.

$z_i$  : 1, si el nodo  $i$  es cubierto  
0, de otra manera.

$a_{ij}$  : 1, si el candidato al sitio  $j$  puede cubrir la demanda  $i$ .  
0, de otra manera.

De acuerdo a la formulación, el objetivo es maximizar el número de demanda cubierta donde, la demanda del nodo  $i$  no puede ser cubierta, a menos que un mínimo de sitios de instalaciones que cubra el nodo  $i$  sea seleccionado y no se puede localizar más de  $P$  instalaciones.

Las restricciones (8.14) aseguran que, para que un nodo pueda servir a otro, se debe localizar un servidor en él; que el número de instalaciones no puede exceder del valor de  $P$ ; y que las variables  $x_j$  y  $z_i$  son binarias.

#### 8.4.1.3 *Modelo P-Median*

El modelo P-Median minimiza el costo total de la localización de  $P$  instalaciones en una red. El costo de servir la demanda del nodo  $i$  es dado por el producto de la demanda del nodo  $i$  ( $h_i$ ) y la distancia entre el nodo de demanda  $i$  y la instalación  $k$  más cercana al nodo  $i$ ,  $D_{ik}$ .

El planteamiento del problema P-Median es:

$$\text{Min } \sum_i \sum_j h_i * D_{ij} * y_{ij}$$

$$\sum_j y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (8.15)$$

$$(8.16)$$

Sujeto a:

$$\sum_j y_j = P$$

Donde:

$$x_j = 0.1$$

$\forall j$

$$y_{ij} = 0.1$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \Leftrightarrow \sum_i (y_{ij} - I * x_j) \leq 0 \quad \forall i, j$$

$h_i$  : Demanda del nodo i.

$D_{ij}$  : Distancia entre el nodo de demanda i y el candidato al sitio j.

$P$  : Número de instalaciones para localizar.

$I$  : Número de nodos de demanda.

$x_j$  : 1, si se localiza al candidato en j.

0, de otra manera.

$y_{ij}$  : 1, si el nodo de demanda i es servido por la instalación del nodo j.

0, de otra manera.

La ecuación (8.15) minimiza los costos de satisfacción de la demanda, que son proporcionales a la distancia entre el nodo de demanda  $i$  y el servidor  $j$ . Mientras que las restricciones (8.16) aseguran que, todos los nodos de demanda  $i$  son cubiertos por algún servidor  $j$ , se localizan  $P$  servidores,  $x_j$  e  $y_{ij}$  son binarias y que, si el nodo  $i$  es servido por  $j$ , necesariamente hay un servidor instalado en el nodo  $j$ .

#### 8.4.1.4 Modelo de Costo Fijo.

En el modelo de Costo fijo, los costos totales del sistema corresponden a los costos de instalación y de transporte. Entrega como resultado final, el número adecuado de servidores a localizar para minimizar el costo combinado de satisfacción de la demanda (transporte) y de instalación.

El objetivo es minimizar los costos de instalación y los costos de transporte, de la fracción de la demanda para los nodos. El problema se plantea de la siguiente manera:

$$\text{Min } \sum_j f_j * x_j + \alpha \sum_i \sum_j h_i * D_{ij} * y_{ij} \quad (8.17)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned}
\sum_j y_{ij} &= 1 && \forall i \\
y_{ij} &\leq x_j && \forall i, j \\
x_j &= 0 \text{ ó } 1 && \forall j \\
y_{ij} &= 0 \text{ ó } 1 && \forall i, j
\end{aligned}
\tag{8.18}$$

Donde:

- $h_i$  : Demanda del nodo  $i$ .
- $D_{ij}$  : Distancia entre el nodo de la demanda  $i$  y el candidato al sitio  $j$ .
- $F_j$  : Costo de localizar el candidato en el sitio  $j$ .
- $A$  : Costo por unidad de distancia, para cada unidad de demanda.

### 8.5 Modelo de Localización-Asignación de Estaciones para la Red Fluviométrica III Región de Atacama.

El Objetivo principal que debe cumplir el Modelo de Localización es, instalar estaciones fluviométricas a un costo mínimo y máxima eficiencia, de acuerdo a los siguientes criterios hidrológicos básicos para la instalación de una estación.

1. Debe existir una estación de medición de caudal antes que la cuenca entregue sus aguas al mar (sector desembocadura).
2. Los afluentes de gran aporte, deben ser medidos durante y antes de la entrega su caudal al río principal.

3. Debe instalarse una estación de registró continuo a la salida de un embalse, para corroborar el caudal saliente de dicho embalse.
4. En las Subcuencas Cordilleranas que superen los 800 km<sup>2</sup> de área significativa, debe instalarse una estación de registró continuo.
5. El aporte entregado por afluentes de importancia debe ser medido por una estación de registró continuo.
6. Debe ser medido el caudal entregado a una zona de regadío (antes de Bocatoma), para registrar el caudal entregado a la zona.
7. A la salida de una zona de regadío debe medirse el caudal recuperado (entrega de caudal del canal al río).
8. Es importante para efecto de alerta de crecidas medir el caudal que pasa por un sector densamente poblado.
9. En Subcuencas de la depresión intermedia que superen los 2000 km<sup>2</sup> de superficie aportante a la cuenca principal.

Los criterios antes señalados identifican características que deben cumplirse para la instalación de una estación. Existen también restricciones que deben ser cumplidas por la sección para realizar una correcta medición.

- La sección donde se sitúa la estación debe ser recta evitando distorsiones en la velocidad y así generar una correcta medición.
- La estación debe ubicarse en secciones donde el caudal se mantenga fluido, evitando posibles remansos y embancamientos, generados por bocatomas y desembocaduras.
- Evitar la posible existencia de vegetación antes, durante y después de la sección.

Considerando estos criterios y restricciones, se evalúa la posibilidad de realizar un modelo de localización para la instalación de una Red Fluviométrica a las Cuencas del Río Copiapó y Cuenca del Río Huasco, cuya finalidad es

obtener una red optima maximizando el caudal a medir con un número limitado de estaciones fluviométricas.

La implementación disponible para la Red Fluviométrica corresponde a:

- Limnógrafo Digital (Data Logger). Instrumento utilizado en el registro continuo de niveles de agua.
- Plataforma Satelital (PS). Registro continuo en tiempo real de niveles de agua.

De acuerdo a la implementación señalada, se indican los criterios considerados para cada equipo.

- *Estación con Plataforma Satelital (PS).*

Al termino de la naciente de la cuenca y la confluencia de aguas importantes para el cauce principal, debe existir un estación con Plataforma Satelital (PS), para efectos de crecidas.

En la desembocadura de una cuenca, para tener conocimiento en tiempo real de la cantidad de agua saliente de la cuenca.

- *Estación con Limnógrafo Digital (DL).*

Los afluentes de gran aporte de caudal al río principal, antes de su entrega.

A la salida de un embalse.

Subcuencas cordilleranas.

A la salida de una zona de regadío.

Antes de entregar caudal a una zona de regadío.

Identificando los criterios y restricciones necesarios par la instalación de una estación Fluviométrica, se considera utilizar el *Modelo de Máxima Cobertura* el cual, busca el número de instalaciones para cubrir toda la demanda de los nodos, no distinguiendo prioridades.

La Función Objetivo a utilizar es:

$$\boxed{MAX \sum_i Q_i (f_{v1} * x_i^1 + f_{v2} x_i^2)}$$

(8.19)

donde:

$i$  : indicador del tramo

$Q_i$ : caudal del tramo  $i$ .

$F_{v1}$ : velocidad de recepción de registros con plataforma satelital (1.2).

$F_{v2}$ : velocidad de recepción de registros con Data Logger (0.5).

$X_i^1$ : estación con Plataforma Satelital para el tramo  $i$ .

$X_i^2$ : estación con limnógrafo digital para el tramo  $i$ .

Con las restricciones siguientes:

$$x_i^1 + x_i^2 \leq 1 \dots \forall i$$

En una estación solo debe haber una asignación de equipo

$$\sum_i x_i^1 = N^1 \dots \forall i$$

(8.20).

Estación PS y DL no deben exceder de un número máximo establecido.

$$\sum_i x_i^2 = N^2 \dots \forall i$$

Los tramos deben cumplir ciertas condiciones para la instalación de la

$$x_i^1 \leq C_k \dots \forall i, \forall k$$

$$x_i^2 \leq C_k \dots \forall i, \forall k$$

estación de medición.

donde:

$x_i^1$ : estación plataforma satelital para el tramo i.

$x_i^2$ : estación con limnógrafo digital para el tramo i.

$N^1$ : número de estaciones con plataforma satelital.

$N^2$ : número de estaciones con limnógrafo digital.

$C_k$ : condiciones a cumplir para la postura de una estación.

Dicha función maximiza el caudal medido en el río, localizando estaciones fluviométricas estratégicamente según las condiciones establecidas por criterios de localización de estaciones.

#### 8.5.1. Metodología Utilizada.

Para la identificación de los tramos a considerar y su ubicación en los ríos, se considera utilizar una base digitalizada de la región a escala 1:250000, identificando cuencas, subcuencas, ríos y drenajes.

Dichos tramos tuvieron una longitud aproximada de 10 km. Se subdividieron los siguientes ríos:

- Río Carmen, afluente del Río Huasco.
- Río Tránsito, afluente del Río Huasco.
- Río Huasco, cauce principal de la cuenca del mismo nombre.
- Río Jorquera, afluente del Río Copiapó.
- Río Manflas, afluente del Río Copiapó.
- Río Pulido, afluente del Río Copiapó.
- Río Copiapó, cauce principal de la cuenca del mismo nombre.

El primer paso es aplicar filtros para la reducción de tramos a analizar por el modelo de localización.

Al subdividir los ríos antes mencionados, resultan 44 tramos en total. Aplicando la restricción de colocar solo estaciones en tramos rectos, se disminuyen dichos tramos a 26. Luego se aplica la restricción de evitar los remansos producidos por desembocaduras y entrega de afluente, reduciendo dichos tramos a 22.

Considerando un mejor resultado, se aplica el modelo por separado a las dos cuencas de importancia para la región Cuenca del Copiapó y Huasco.

La base digitalizada que identifica los ríos y la separación de sus tramos no permite visualizar ciertas condiciones expresadas anteriormente, luego se considera tomar ciertas condiciones para ingresarla al modelo en cuestión, las cuales son:

Condición 1 (C1): desembocadura de una cuenca principal al mar.

Condición 2 (C2): después de la confluencia de afluentes de importancia.

Condición 3 (C3): antes o en la ciudad de importancia de la cuenca.

Condición 4 (C4): afluentes de gran aporte al río principal.

Condición 5 (C5): antes de una bocatoma o canal de importancia (zona de riego).

Condición 6 (C6): a la salida de un embalse.

Condición 7 (C7): un afluente de importancia debe ser medido antes de entregar su caudal al río principal.

Los dos equipos propuestos para el desarrollo del siguiente modelo, corresponden a: estación de medición en tiempo real (PS) y estación de medición de registró continuo de niveles de agua (DL).

De acuerdo al modelo propuesto la estación con plataforma satelital debe cumplir solo las condiciones 1 a 3. La estación Data Logger está condicionada por las restricciones 4 a la 7.

La condicionante de la cantidad de estaciones por cuenca se observa en la siguiente tabla.

*Tabla N°8.5. Descripción de Equipos por Cuencas.*

CUENCA	ESTACIONES		
	PS	DL	TOTAL
COPIAPÓ	2	6	8
HUASCO	2	7	9

Tabla N°8.6. Tramos considerados para el ingreso al Modelo de

<b>ESTACIÓN Y SECCIÓN TRAMO CUENCA DEL RÍO COPIAPO</b>			
	<b>FLUJO</b>	<b>TRAMO</b>	<b>CANT. TRAMOS</b>
Río Jorquera en Vertedero.	8,52	IV	IV
Río Pulido en Vertedero.	21,2	VII	III
Río Manflas en Vertedero.	6,47	VIII	I
Río Copiapo en Lautaro.	13	X	XIII
Río Copiapo en San Antonio.	28,2		
Río Copiapo en Pastillo.	18,7	IX	
Río Copiapo en la Puerta.	31,3	XII	
Río Copiapo en Mal Paso Aguas Arriba del Canal.	9,45	XV	
Canal Mal Paso despues de Bocatoma	8,68	XVI	
Río Copiapo en Mal paso Aguas Abajo del Canal.	5,08	XVI	
Río Copiapo en Ciudad de Copiapo.	29,7	XVII	
Río Copiapo en Angostura.	22	XX	
<b>CUENCA DEL RÍO HUASCO</b>			
SUBCUENCA DEL RÍO TRANSITO			
Río conay en las Losas	17,7	X	IV
Río Transito enAngostura de Pinte.	31,04	XII	III
Río Transito antes junta Río Carmen.	41,4	XIV	
SUBCUENCA DEL RÍO CARMEN			
Río Carmen en San Felix.	27,3	V	VII
Río Carmen en Corral.	18,1	IV	
Río Carmen en Ramadillas.	46,6	VII	
Río Carmen en Pte. La Majada.	36	VI	
Río Huasco en Algodones	95	XV	VIII
Río Huasco en Santa Juana.	82,2	XVII	
Río Huasco En Pte. Nicolasa.	63,4	(XXI)	
Río Huasco en Huasco Bajo.	123,30*	XXII	

*Localización*

*Donde:*

*Flujo: Cantidad de caudal registrado en ese tramo (registros obtenidos de VAX.DGA)*

*Tramo: Subdivisión de(l) río(s) donde se presentan las condiciones apropiadas para la implementación de un estación fluviométrica.*

*Tramos: Cantidad de tramos que existen en los Ríos de las Subcuencas en estudio.*

Para cada tramo descrito en la tabla 7.6, se identifican las condiciones que satisface. El modelo de localización discriminará por los tramos más aportantes de medición de caudales, limitado por si cumple o no con las condiciones expuestas anteriormente.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por el Modelo de Localización para la ubicación de estaciones para la Cuenca del Copiapó y Cuenca del Huasco.

*Tramos Propuestos por el Modelo de Localización para la Cuenca del Huasco*

- Río Conay en las Losas (DL).
- Río Carmen en Puente La majada (DL).
- Río Carmen en Ramadillas (DL).
- Río Carmen en corral (DL).
- Río Tránsito en angostura de Pinte.(DL)
- Río Tránsito antes de junta Río Carmen.(DL)
- Río Huasco en algodones.(PS)
- Río Huasco en Santa Juana (DL)
- Río Huasco en Huasco bajo (PS).

Comparando los resultados obtenidos por el modelo de localización y la red propuesta hidrológicamente, se identifican dos diferencias: Río Huasco en Algodones y Huasco en Huasco Bajo. Estas dos estaciones fueron cambiadas por criterios evaluados visualmente en terreno, quedando fuera de alcance cualquier parámetro visual para el modelo de localización.

La capacidad medida por los tramos estimados por el modelo, se considera suficiente al comparar con estimaciones máximas de la cuenca. (95 m<sup>3</sup>/s medidos).

*Tramos Propuestos por el Modelo de Localización para la Cuenca del Copiapó.*

- Río Jorquera en Vertedero.(DL)
- Río Pulido en Vertedero.(DL)
- Río Copiapó en Pastillo.(PS)
- Río Copiapó en Lautaro.(DL)
- Río Copiapó en mal paso aguas arriba del canal.(DL)
- Río Copiapó en la Puerta.(DL)
- Río Copiapó en Angostura.(PS).

Donde:

DI: Estación con equipo Data Logger.

PS: Estación con equipo Plataforma Satelital.

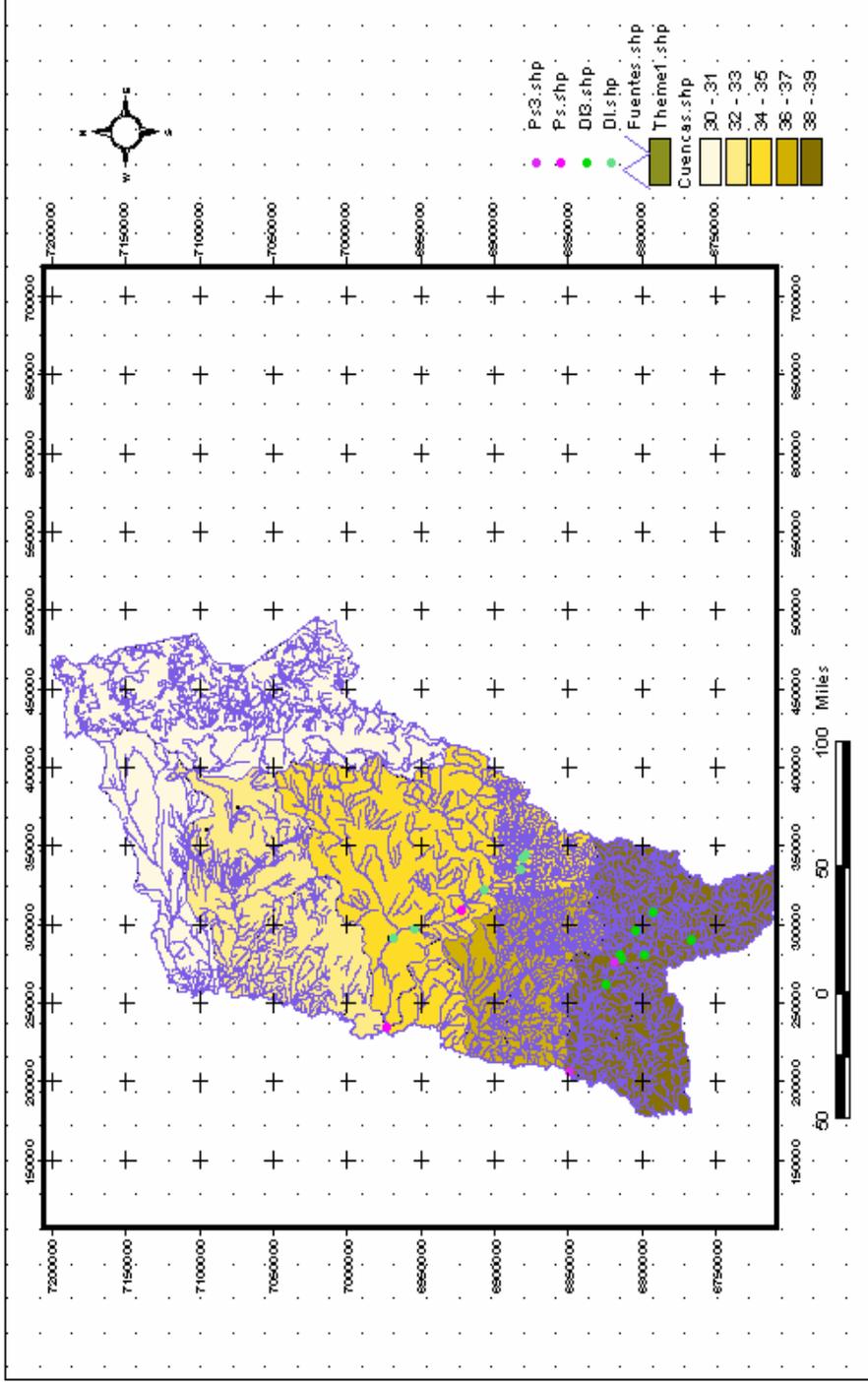
Las estaciones propuestas por el modelo de localización para la cuenca del Copiapó, difiere de la propuesta hidrológica, considerada como básica. Se debe resaltar que ciertas condiciones de proposición no contribuyeron en esta cuenca, para la condición de generar una estación fluviométrica.

Es el caso de Copiapó en Ciudad de Copiapó, dicha estación según condiciones se debe equipar con sistema satelital, pero según la restricción de colocar un máximo de dos estaciones satelitales por cuenca, se excede de ese número.

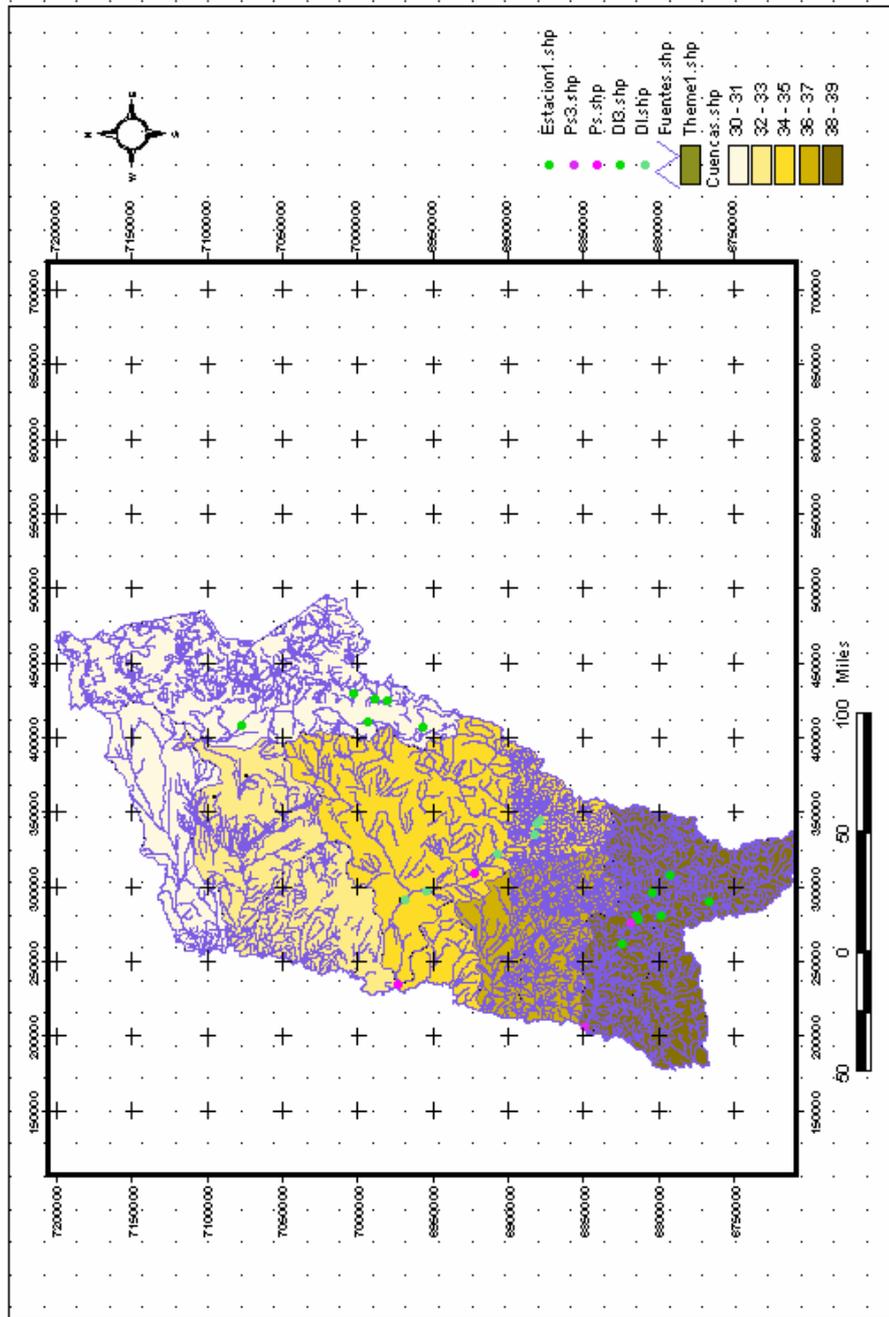
La estación Copiapó en Pastillo, es ideal para proponer estación satelital (según condiciones), pero de acuerdo a los recursos económicos para una optimización de la red fluviométrica, no se puede exceder de dos estaciones

satelitales, en consecuencia se mantiene la estación Copiapó en la Puerta como estación satelital, cumpliendo doble función, antes de una ciudad de importancia y después de la confluencia de dos afluentes de importancia. La solución sería modificar ciertas condiciones para un acercamiento del modelo de localización y la propuesta hidrológica.

# RED PROPUESTA POR EL MODELO DE LOCALIZACION



# RED PROPUESTA PARA LA TERCERA REGION



## **8.6 Análisis de los Resultados del modelo de Localización y la Red Propuesta para la Tercera Región de Atacama.**

La Red Propuesta hidrológicamente para la Región de Atacama, no representa grandes diferencias con la Red Existente de la región de acuerdo a la variable localización, sus grandes diferencias resaltan en la asignación y distribución de equipamiento de alta tecnología para generar una correcta medición del recurso hídrico superficial. La implementación de estaciones en tiempo real a la desembocadura de las cuencas representa ventajas significativas en el estudio hidrológico instantáneo de eventos críticos que puedan existir, considerando que los registros actuales que mantiene la Dirección General de Aguas de grandes crecidas, son medidos después de haber ocurrido el evento de importancia (horas después).

La Red Propuesta genera un registró continuo y homogéneo, de acuerdo a los parámetros establecidos por Organizaciones Mundiales, adaptados por la Dirección General de Aguas a la realidad del territorio nacional.

Las estaciones que se encuentran en las Cuencas Endorreicas R/Fronteras, son analizadas en este estudio de acuerdo a su importancia y relevancia por las distintas actividades económicas de la región, recomendando un estudio minucioso de las características de equipos y localización de estaciones para generar una correcta medición del recurso superficial existente en esta área.

Los resultados obtenidos por el Modelo de Localización y Asignación, generado de acuerdo a los parámetros establecidos por la Dirección General de Aguas para la localización de estaciones fluviométricas, no escapan de la realidad, considerando dicho modelo rígido, generando ubicación de estaciones

en la región a gran escala, escapándose algunas variables que se observan en terreno.

Para finalizar se considera que dicho modelo representa un modelo de asignación de nuevos equipos digitales para la medición del recurso hídrico superficial, no variando en gran escala la localización de estaciones fluviométricas de la región.

## **CAPITULO IX. CONCLUSIONES**

De acuerdo a los modelos de caudales máximos instantáneos para episodios críticos se concluye que, las cuencas más representativas de acuerdo al aporte del Recurso Hídrico Superficial son: Cuenca del Río Copiapó y Cuenca del Río Huasco. Las Cuencas Endorreicas R/Fronteras no fueron analizadas de acuerdo a los modelos expresados en el estudio, siendo su aporte significativo para las actividades mineras de la región, según los registros de la Dirección General de Aguas. Las Cuencas Costeras de la región aportan el Recurso Hídrico de características subterráneo limitado, no generando recurso hídrico superficial, por lo tanto se excluyen nuevas estaciones hidrométricas dentro de sus áreas. Se recomienda para la Cuenca del Salvador un estudio de calidad de agua sedimentación periódicamente, producto de la gran cantidad de sedimentos que trae la Quebrada del Salado, la instalación de una estación hidrométrica es poco probable producto de que su escorrentía superficial no es constante.

De acuerdo a los tres modelos analizados (DGA-AC, Verni y King y Racional), no existe ninguno representativo para las Cuencas de la Tercera Región, considerando el promedio de ellos como el valor estimado que se acerca a los registros reales de episodios críticos (grandes crecidas) +/- 14% aproximado de error. Esta variación de los modelos hidrológicos se debe a la heterogeneidad de parámetros al interior de las cuencas, tales como: precipitaciones extremas, tipo de suelos y tiempo de concentración de precipitaciones. Por consiguiente, se recomienda para estudios posteriores hidrológicos considerar una escala menor (subcuencas) y así poder apreciar si existe mayor ajuste de los modelos hidrológicos expuestos en este estudio.

La modernización de los equipos almacenadores de datos y los medios de transportes de dichos registros, han disminuido notablemente el tiempo de entrega de base datos a nivel Regional y Central, motivando la creación de nuevos

estudios hidrológicos, generando un mejor aprovechamiento del Recurso Hídrico Regional.

La implementación del nuevo Banco Nacional de Aguas (BNA 2000), con mecanismo de comunicación íntranet (directa), independiza las oficinas regionales de la oficina central, dejando a ésta última como un mecanismo de supervisión y control del manejo de información en el ámbito regional.

El nuevo Banco Nacional de Aguas, entrega herramientas gráficas, visualizando efectos críticos determinantes para la región, como: crecidas estivales en determinadas épocas del año. Pudiendo almacenar dichos registros y tener una estadística más completa y dinámica.

La Red Propuesta para la Tercera Región de Atacama, corresponde a la siguiente tabla.

<i>CUENCA</i>	<i>ESTACIÓN EXISTENTE</i>	<i>ESTACIÓN PROPUESTA</i>	<i>ESTACIÓN SUPRIMIDA</i>	<i>TOTAL DE ESTACIONES</i>
COPIAPO	10	8	2	10
HUASCO	10	9*	1	10
ENDORRE.	7	6	1	7

La Red Propuesta para la Tercera Región de Atacama, considera un mínimo costo de implementación de equipos y estaciones nuevas, considerando la sección de estaciones antiguas estables y conforme de acuerdo a los criterios utilizados por la D.G.A.

El Modelo de Localización de Estaciones Fluviométricas entrega una visión general del problema de localización (vista preliminar), por lo tanto se puede considerar como un mecanismo relevante en la proyección de Redes

Fluviométricas a nivel nacional, siendo necesaria una visita a terreno, para realizar una inspección visual de la sección encontrada apta por el modelo.

El Modelo de Localización para Estaciones Fluviométricas no solo cumple con localizar dichas estaciones, sino que Asigna equipos de alta tecnología de acuerdo a parámetros exigidos en el ámbito mundial y adaptados por la Dirección General de Aguas a la realidad nacional.

Dicho modelo no se limita a parámetros de medición del recurso hídrico superficial, sus características permiten integrar variables de importancia de dicho recurso, tales como: sedimentación, precipitaciones y temperatura, generando redes unificadas a un solo modelo de comportamiento y así poder relacionar eventos críticos de importancia (Predicción).

Al contar con una Red Fluviométrica óptima, confiable y en tiempo real, da apoyo tanto a la gestión de planificación regional y nacional, como también contar con información real en los eventos críticos naturales como: sequías, crecidas y aluviones.

## BIBLIOGRAFÍA.

- *A. Tilrem.* Mediciones de Nivel y Descarga en Condiciones Difíciles.19
- *Organización Metereologica Mundial.* Reglamento Técnico. Volumen III Hidrología. 1988.
- *McGRaw-Hill.* Hidrología Aplicada1987. Capitulo 1 y 6.
- *AC. Ingenieros.D.G.A.* Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información.1999. Capitulo 2 – 3.
- *Instituto Geográfico Militar.* Geografía III Región de Atacama. Capítulo 2, pp 44-80.
- *Reg Ingenieros Consultores.* Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional (Regiones Metropolitana y VI).1983.
- *C. Bustos y Y. Stein.* Localización Optima de Puntos de Fiscalización en vía Pública, para el Sistema de Control de Emisiones vehiculares RSD en la ciudad de Santiago.  
Pp 45 – 70. 2001.
- *Cesar Videla D.* Normas y Procedimientos Hidrometricos pp 1- 20.1991.

# ANEXOS

- ANEXO I.1: TABLAS DE ANÁLISIS HIDROLÓGICOS TERCERA REGIÓN
- ANEXO I.2: RESULTADOS DE MODELOS PARA EPISODIOS CRÍTICOS

***NOTA: “LOS ANEXOS MENCIONADOS SE ENCUENTRAN EN TESIS IMPRESA”***