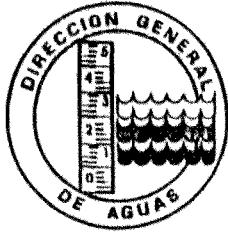
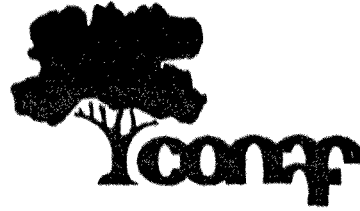


REPUBLICA DE CHILE

MAN-2441.  
C 1



MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
CORPORACION NACIONAL FORESTAL

---

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD  
PROGRAMA MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

PROYECTO DE DISEÑO  
SISTEMA ALERTA DE CRECIDAS

PROYECTO CC5-11

CUENCA RIO IMPERIAL

Diciembre de 1995



EN ASOCIACION CON



**bf ingenieros civiles**

# PROYECTO ALERTA DE CRECIDAS

## CUENCA RIO IMPERIAL

### I N D I C E

1.-	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	1
2.-	ANTECEDENTES RELEVANTES Y DEFINICION DEL PROBLEMA.....	1
3.-	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	2
4.-	DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	3
4.1.-	Descripción General del Sistema de Alerta de Crecidas.	3
4.2.-	Puntos Amagados y Relaciones de Pronóstico.....	4
4.3.-	Análisis, Descripción y Selección de Alternativas de Equipamiento.....	8
4.4.-	Sistema operativo.....	11
4.5.-	Factibilidad del Proyecto.....	13
5.-	EVALUACION ECONOMICA PRIVADA Y SOCIAL.....	14

### ANEXOS

Anexo N°1:	Gráfico de Verificación de Relaciones de Pronóstico
Anexo N°2:	Detalle de Equipamiento
Anexo N°3:	Análisis de Costos
Anexo N°4:	Esquema General del Sistema de Alerta
Anexo N°5:	Esquema de Sectores Amagados y Estaciones de Control

## 1.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

Periódicamente las crecidas en la cuenca del río Imperial inundan sectores poblados de Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue, produciendo pérdidas de vidas humanas, enseres y deterioro de la salud física y psicológica de la población.

Los efectos antes indicados hacen necesario tomar medidas tendientes a minimizarlos. Entre las alternativas técnicas de costo reducido y que han mostrado su eficacia en otros países, están los sistemas de alertas de crecidas.

El sistema de alerta de crecidas previsto para la cuenca del río Imperial, se encuentra destinado a proteger a la población ribereña de las ciudades de Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue.

Estos sistemas, consistentes en una combinación de equipamiento electromecánico y el trabajo de personal entrenado, permiten mediante medición de caudales y precipitación en la cuenca y el proceso computacional de los datos, determinar la magnitud de las crecidas con antelación, lo que posibilita alertar y, si procede, evacuar la población afectada.

De acuerdo a lo detallado más adelante, la inversión de este sistema para la cuenca del río Imperial, asciende a US\$ 122.434; por otra parte los costos de mantención y operación del sistema, se han estimado en US\$ 5.188 y US\$ 4.380 respectivamente. En relación a los beneficios de este proyecto, debe considerarse en forma importante las externalidades positivas, las cuales dicen relación con las menores pérdidas de vidas humanas, enseres, etc., lo que hace muy importante su materialización al más breve plazo.

## 2.- ANTECEDENTES RELEVANTES Y DEFINICION DEL PROBLEMA

Las inundaciones que producen las crecidas de los ríos Cautín, Chol-Chol e Imperial en los sectores poblados de Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue, con sus daños asociados, que afectan a la población debido a la pérdidas de vidas humanas, pérdidas de enseres y deterioro de la salud de las personas, hacen necesario el estudio de alternativas de solución.

El alto costo de los sistemas de defensas fluviales no permite en el corto y mediano plazo, la construcción de todas las obras de defensas fluviales necesarias en los

sectores poblados; por otra parte, aún en los sectores con defensas, podrían producirse eventos con períodos de retorno superiores al de diseño que superasen las defensas, lo que afectaría seriamente a la población. Esto ha llevado a buscar otras alternativas que ayuden a mitigar el problema y permitan proteger a la población aún en el caso de sectores con defensas, si ocurren crecidas con períodos de retornos mayores al de diseño.

En cuanto a los beneficiarios de este sistema, éstos se han estimado del orden de 15.000 personas, las cuales podrán ser protegidas o evacuadas, estimándose en M\$ 300 por casa, la disminución de los daños con un beneficio anual total esperado de M\$ 83.844.

### 3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

Una alternativa atractiva es la posibilidad de contar con un sistema que permita predecir y alertar a la población posibilitando tomar medidas apropiadas, las que podrían llegar a la evacuación de la población en casos de crecidas de gran magnitud, permitiendo reducir en forma importante las pérdidas de vidas humanas, el deterioro de la salud de las personas y disminuir en algún grado la pérdida de enseres, reduciendo el impacto psicológico sobre las personas.

El objetivo del proyecto es permitir la predicción con una antelación de 10 horas, de las crecidas del río Chol-Chol en Chol-Chol y con 14 horas en el sector de Nueva Imperial, 8 horas para el río Cautín en Temuco y con 6 horas para el río Imperial en Carahue, lo que posibilitaría por parte de la autoridad la adopción de medidas tanto de prevención y emergencia ante las inundaciones, como en casos extremos, de evacuación de la población.

En relación a los beneficios esperados de este sistema, estos van en directa relación con el desarrollo por parte del gobierno regional de un adecuado plan de medidas y disposición de los recursos necesarios para su materialización. Estas medidas como ya se ha indicado pueden incluso considerar la evacuación total de la población, en crecidas de gran magnitud, para lo cual debe contarse con los recursos físicos en forma oportuna para su implementación.

En cuanto a los beneficios del sistema de alerta, son de gran relevancia las externalidades positivas, ya que si bien es posible evaluar los enseres rescatados y los gastos en salud de las personas, no es posible valorizar las vidas humanas que pueden salvarse y el efecto psicológico sobre las personas, principales motivadores del establecimiento de este

tipo de sistemas.

#### 4.- DESCRIPCION DEL PROYECTO

##### 4.1.- Descripción General del Sistema de Alerta de Crecidas

Un sistema de alerta de crecidas está compuesto básicamente por una serie de estaciones fluviométricas y pluviométricas, ubicadas en puntos estratégicos, en las cuales las mediciones de caudal y precipitaciones son capturadas en su origen y transmitidas por alguna vía a un centro de operaciones, lugar en que se realiza, mediante ecuaciones predeterminadas, una predicción del caudal que escurrirá horas más tarde en tramos críticos del cauce, en cuyas riberas existen sectores poblados, permitiendo de este modo tomar medidas de prevención e incluso, en casos extremos, evacuar a los habitantes y salvar parte de sus enseres, reduciendo las pérdidas de vidas y los daños que las crecidas provocan.

En nuestro caso, a fin de reducir el costo de este sistema de alerta de crecidas, se ha elegido como puntos de control de las crecidas, estaciones existentes en la cuenca; las cuales corresponden a:

- Estaciones Fluviométricas
  - \* Lumaco en Lumaco
  - \* Chufquen en Chufquen
  - \* Chol-Chol en Chol-Chol
  - \* Cautín en Rari-Ruca
  - \* Cautín en Cajón
  - \* Quepe en Quepe
- Estación Pluviométrica
  - \* Pueblo Nuevo

En estos puntos se leerá el nivel del río o la lluvia acumulada periódicamente y será transmitido al centro de operaciones ubicado en Temuco, lugar donde será procesado computacionalmente para determinar con anticipación los caudales en Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue.

Más adelante se analiza tanto el personal, el equipamiento mecánico y electrónico propuesto, como también las ecuaciones que permiten la predicción de las crecidas.

#### **4.2.- Puntos Amagados y Relaciones de Pronóstico**

En el caso específico de la cuenca del río Imperial, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas contrató a la consultora bf Ingenieros Ltda. el año 1987 para desarrollar un estudio denominado "Investigación de un Sistema de Alerta de Crecidas Fluviales", estudio en el cual en su segunda etapa se aborda la IX Región, que desarrolla estos sistemas para la cuenca del río Imperial.

De acuerdo a lo indicado en la metodología presentada por esta Consultora, el desarrollo dentro de la componente de control de crecidas y manejo del cauce, considera en todo lo relativo a alertas de crecidas, sólo una actualización del mencionado estudio; por tanto en los puntos siguientes se abordan los aspectos hidráulicos, y de equipamiento analizados en el estudio antes mencionado.

##### **4.2.1.- Puntos Amagados**

Se efectuó una revisión del análisis hidráulico de los puntos en que se requiere establecer el sistema de alerta de crecidas, analizando la validez, en los casos que es posible, del sistema básico de pronóstico y los umbrales o niveles críticos de alerta.

En el desarrollo del estudio de bf, se seleccionaron como puntos amagados para el desarrollo del sistema de alerta, las ciudades o localidades de Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue. Durante el desarrollo de las etapas anteriores del estudio, pudo determinarse que dicha selección es acertada, ya que corresponden a sectores poblados donde se han producido crecidas que han afectado a la población y donde se han diseñado obras con un período de retorno de 100 años en estos últimos casos aumentando los umbrales del alerta. Se ha optado por lo tanto en mantener como definitivos los puntos amagados en los sectores indicados.

##### **4.2.2.- Puntos de Control y Relaciones de Pronóstico**

A continuación se presenta, para cada río y sector, las estaciones de control seleccionadas, las respectivas ecuaciones de pronóstico y las precipitaciones y caudales umbrales para activar la pre-

alerta y alerta respectivamente.

- **Río Chol-Chol en Chol-Chol**

Para este sector puede obtenerse un pronóstico con 10 hrs de antelación mediante la ecuación:

$$\begin{aligned}
 Q_{CH}(t+10) = & 3,985 \cdot Q_{CH}(t) - 3,046 \cdot Q_{CH}(t-2) + \\
 & 0,204 \cdot E(t) + 0,183 \cdot E(t-2) + \\
 & 0,163 \cdot E(t-4) + 0,146 \cdot E(t-6) + \\
 & 0,131 \cdot E(t-8) - 0,695 \cdot E(t-10) \quad (1)
 \end{aligned}$$

en que:

$$E(t) = Q_{CH}(t) + Q_{LU}(t-4)$$

$Q_{CH}(t)$ : Caudal de estación Chol-Chol en Chol-Chol en el instante t.

$Q_{LU}(t)$ : caudal de estación Lumaco en Lumaco en el instante t.

- **Río Chol-Chol en Nueva Imperial**

En este caso puede obtenerse un pronóstico con 14 horas de antelación, mediante la ecuación:

$$Q_{NI}(t+14) = 1,06 \cdot Q_{CH}(t) \quad (2)$$

en que:

$Q_{NI}(t)$ : Caudal estación río Chol-Chol en Nueva Imperial en el instante t.

$Q_{CH}(t)$ : Caudal estación río Chol-Chol en Chol-Chol en el instante t.

- **Río Cautín en Temuco**

El máximo adelanto con que se puede hacer el pronóstico es de 8 horas, para lo cual se utiliza el siguiente modelo:

$$\begin{aligned}
 Q_{CC}(t+8) = & 0,620 \cdot Q_{CC}(t) + 0,167 \cdot Q_{CC}(t-2) + \\
 & 1,742 \cdot Q_{CRR}(t) - 0,44 \cdot Q_{CRR}(t-2) + \\
 & 0,152 \cdot Q_{CRR}(t-4) - 0,011 \cdot Q_{CRR}(t-6) \\
 & - 1,049 Q_{CRR}(t-8)
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$Q_{CT}(t+3) = Q_{CC}(t+2) \tag{4}$$

en que:

$Q_{CC}(t)$  : Caudal de estación Cautín en Cajón en el instante  $t$ .

$Q_{CRR}(t)$  : Caudal de estación Cautín en Rari-Ruca en el instante  $t$ .

$Q_{CT}(t)$  : Caudal de estación río Cautín en Temuco en el instante  $t$ .

- **Río Imperial en Carahue**

En este caso aplicando ecuaciones de transferencia, se obtiene el siguiente modelo con 6 horas de antelación:

$$\begin{aligned}
 Q_{IC}(t) = & 1,215 \cdot Q_{CC}(t) + 1,268 \cdot Q_Q(t) + \\
 & 1,155 Q_{CH}(t)
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{IC}(t+2) = & 1,978 \cdot Q_{IC}(t) - 0,974 \cdot Q_{IC}(t-2) + \\
 & 0,987 \cdot P_B(t-4) - 0,438 \cdot P_B(t-6)
 \end{aligned} \tag{6}$$

Los pronósticos para Carahue se obtienen a través de la aplicación recursiva de las ecuaciones (5) y (6); en las cuales se presentan los siguientes valores:



$Q_Q(t)$  : Caudal de la estación Quepe en Quepe en el instante  $t$ .

$Q_{IC}(t)$ : Caudal de Imperial en Carahue en el instante  $t$ .

$P_B(t)$  : Precipitación medida en Pueblo Nuevo en el intervalo de las dos horas anteriores al instante  $t$ .

En cuanto a los valores umbrales, se tiene la siguiente tabla resumen:

PUNTO AMAGADO	PRE-ALERTA	ALERTA SIN DEFENSAS m <sup>3</sup> /s	ALERTA CON DEFENSAS m <sup>3</sup> /s
Chol-Chol en Chol-Chol	60 mm en 72 horas, estación Lumaco	1.300	-
Chol-Chol en Nueva Imperial	60 mm en 72 horas, estación Lumaco	1.200	2.866
Cautín en Temuco	60 mm en 72 horas, estación Pueblo Nuevo	900	2.340
Imperial en Carahue	60 mm en 72 horas, estación Pueblo Nuevo o Lumaco	2.600	-

Dado que en algunos de los puntos amagados se proyecta la construcción de defensas, se han establecido dos caudales umbrales para dar la alerta, los que serán válidos antes y después de construidas las obras respectivamente.

A objeto de verificar las relaciones de pronóstico, se analizaron las crecidas posteriores a 1987 que fueron registradas en las distintas estaciones simultáneamente, las que fueron graficadas. En la tabla siguiente se presenta un detalle de las crecidas analizadas:

PUNTO AMAGADO	FECHA
Imperial en Carahue	24/06/89 - 07/07/89
	20/05/91 - 31/05/91
	15/05/93 - 23/05/93
	22/06/93 - 06/07/93
Chol-Chol en Chol-Chol	20/05/91 - 31/05/91
	22/06/93 - 07/07/93
Cautin en Cajón	24/06/89 - 07/07/89
	24/05/91 - 06/06/91

Del análisis de los gráficos que se presentan en el Anexo N°1, se desprende que todas las relaciones de pronóstico poseen un excelente ajuste, por lo que se decidió aceptar las ecuaciones descritas como totalmente válidas, las que deberán ser implementadas computacionalmente como parte de la puesta en práctica del sistema.

En el esquema de la cuenca que se incluye en el Anexo N°5, se presentan tanto los puntos amagados descritos como las estaciones de control y sus características.

#### 4.3.- Análisis y Descripción de Alternativas de Equipamiento

Establecidas las relaciones de pronóstico y los valores umbrales para dar pre-alertas y alertas de crecidas y poner en práctica las medidas de emergencia, se requiere establecer tanto la metodología como los sistemas que permitan recopilar la información que alimente el sistema y efectúe los cálculos necesarios de las relaciones de pronóstico.

Resulta conveniente, previo al análisis de las alternativas de equipamiento, establecer los requerimientos que deberían cumplir estos sistemas para ser aceptables.

A continuación se describen las principales características que debe tener un sistema de alerta de crecidas para garantizar su operatividad y que cumpla su objetivo convenientemente:

- a) Minimizar o anular falsas alertas y crecidas no alertadas.

- b) Que las alertas se prevengan con la máxima antelación, de modo de permitir la adopción oportuna de medidas de prevención y emergencia.
- c) Máxima seguridad de contar oportunamente con las predicciones necesarias, es decir sistema de recolección, transmisión, recepción y procesamiento seguro.

De estas tres características sólo la c) es atribuible a los equipos, siendo las otras dos dependientes de la exactitud de las relaciones de pronóstico.

Esta seguridad queda dada por :

- a) Que la crecida no dañe las obras civiles o secciones de control.
- b) Calidad de los equipos de medición en cuanto a su correcta instalación y resistencia a las condiciones climáticas.
- c) Seguridad de suministro de energía que estos equipos requieren.
- d) Seguridad de transmisión de los datos.
- e) Seguridad de recepción de los datos.

En este proyecto sólo utilizaremos alternativas que cumplan con los puntos b) a e); en cuanto al punto a), éste corresponde a una labor que desarrolla permanentemente la Dirección General de Aguas como organismo que administra la red de estaciones y el Banco Nacional de Aguas.

Desde el punto de vista de operación existen dos alternativas básicas de equipamiento, que son las siguientes:

#### I) **Manual**

Esta alternativa consiste en equipar con equipos de radio y capacitar al personal, para que realice la función de leer los instrumentos e informar por radio a la central de operaciones, donde mediante un computador personal se ingresen los datos y se procesen a fin de determinar el pronóstico y decidir las acciones a tomar.

Para el correcto funcionamiento de esta alternativa debe considerarse que el observador viva a una corta distancia de la estación y cuente con una vía expedita para llegar a ella.

## II) Radio Automática

Esta segunda alternativa consiste en dotar a las estaciones de equipamiento totalmente automático de alta tecnología que capture la información en el origen mediante sensores, la transmita vía radio, teléfono o satélite hasta la central de operaciones donde se procesa en forma automática y se toman las acciones pertinentes.

## III) Radio Manual-Automática

Esta alternativa corresponde a una mezcla de las dos anteriores, en que algunas estaciones de difícil acceso son automáticas y otras en que el observador vive cerca, son manuales.

En este caso algunos datos son captados directamente por equipos automáticos en el origen y transmitidos al computador y el resto leídos por el observador e ingresados manualmente al equipo por el operador del centro de operaciones.

De las alternativas antes descritas, de acuerdo con el Mandante, se ha seleccionado la Alternativa II (radio automática), único sistema que permite asegurar contar con la información en forma oportuna ya que se independiza del factor humano.

Por otra parte, considerando la información proporcionada tanto por la DGA, como por empresas proveedoras de plataformas colectoras de datos, existen convenios de conexiones satelitales de costo muy reducido que transforman esta alternativa en la más conveniente, debido a su menor costo de inversión, menos mantención y alta seguridad, aún en las condiciones atmosféricas más adversas.

Por lo tanto este proyecto se ha desarrollado en base a plataformas colectoras de datos con conexión satelital.

Esta alternativa permite dar una seguridad adecuada de correcto funcionamiento, que un sistema de esta importancia requiere.

#### - Descripción de la Alternativa Seleccionada

El sistema Radio Automático para alerta de crecidas en la cuenca del río Imperial, ha sido concebido considerando la operación de las estaciones siguientes:

##### - Estaciones Fluviométricas:

Lumaco en Lumaco	: Radio Automática
Chufquen en Chufquen	: Radio Automática
Chol-Chol en Chol-Chol	: Radio Automática
Cautín en Rari-Ruca	: Radio Automática
Cautín en Cajón	: Radio Automática
Quepe en Quepe	: Radio Automática

##### - Estación Pluviométrica

Pueblo Nuevo	: Radio Automática
Lumaco	: Radio Automática

En cuanto a la base de operaciones, se ha considerado en conjunto con la I.T.O. como la alternativa más conveniente, la instalación de una base única en el edificio del M.O.P., en Santiago, la que permitirá recibir y administrar los sistemas de alerta de crecidas satelital de todo el país.

En el Anexo N°2 se presenta el detalle de los equipos que se instalarán en cada una de las estaciones. Adicionalmente se entrega el presupuesto que corresponde al detalle valorizado agrupando los equipos similares.

El monto total de la inversión asciende a la suma de US\$ 122.434, valor que incluye el impuesto al valor agregado I.V.A.

#### 4.4.- Sistema Operativo

Una vez definidas las estaciones que serán parte del sistema de alerta de crecidas y el equipamiento

que debe disponerse en las distintas estaciones, es necesario definir el procedimiento que deberá utilizarse para la operación.

Tal como se ha indicado anteriormente, la mayor parte del año el sistema de alerta se encontrará inactivo, ya que la inexistencia de tormentas en cuencas pluviales permite asegurar la inexistencia de crecidas en el futuro inmediato.

Durante este período de inactividad, es necesario realizar pruebas periódicas del buen funcionamiento del sistema, las que deben consistir en un ensaye de la medición, transmisión y captura en la central de operaciones; como también una prueba del computador central. Esta operación puede realizarse una vez al mes, en período de verano y cada 15 días en período de invierno.

Durante todo el año, en los períodos de lluvia, debe haber una persona responsable de verificar en forma diaria la precipitación acumulada en las últimas 72 horas en las estaciones de control del sistema. En esta cuenca dicha precipitación no deberá superar los 60 mm, medidos en la estación Lumaco o Pueblo Nuevo.

Cuando la precipitación umbral antes indicada es superada, se debe activar el estado denominado de pre-alerta, situación que debe ser comunicada a los operadores del centro de operaciones. Este estado de pre-alerta significa que el sistema entra en funcionamiento continuo, en el cual en forma sistemática, cada 1 ó 2 horas como máximo, deben capturarse los valores de caudales y precipitación, procediéndose en el computador central a procesar estos datos y calcular un pronóstico del caudal en los puntos amagados con la anticipación siguiente:

Chol-Chol	: 10 hrs de anticipación
Nueva Imperial	: 14 hrs de anticipación
Temuco	: 8 hrs de anticipación
Carahue	: 6 hrs de anticipación

Este caudal determinado por el proceso antes descrito, debe ser comparado con los caudales umbrales antes indicados es decir:

PUNTO AMAGADO	PRE-ALERTA	ALERTA SIN DEFENSAS m3/s	ALERTA CON DEFENSAS m3/s
Chol-Chol en Chol-Chol	60 mm en 72 horas, estación Lumaco	1.300	-
Chol-Chol en Nueva Imperial	60 mm en 72 horas, estación Lumaco	1.200	2.866
Cautín en Temuco	60 mm en 72 horas, estación Pueblo Nuevo	900	2.340
Imperial en Carahue	60 mm en 72 horas, estación Pueblo Nuevo o Lumaco	2.600	-

Si estos caudales umbrales son superados, significa que existe probabilidad de inundación en los sectores poblados identificados como amagados, por lo que el operador responsable del sistema debe proceder a comunicar a la autoridad competente, quien deberá proceder de acuerdo a un plan pre-establecido.

La situación de alerta se mantiene mientras no se detengan las precipitaciones y si éstas se han detenido, mientras los caudales no disminuyan bajo los umbrales.

Terminada la situación de alerta, el sistema vuelve a su condición normal de operación, es decir una condición de inactividad hasta la ocurrencia de la próxima prueba o siguiente pre-alerta.

#### 4.5.- Factibilidad del Proyecto

El sistema de alerta proyectado corresponde a un sistema radio automático, en el cual existe una vasta experiencia, lo que hace esperar que no se presenten problemas relevantes en su implementación. En cuanto a la factibilidad técnica, ésta depende fundamentalmente de la disponibilidad de los equipos, denominados en forma genérica "Plataformas Colectoras de Datos", los cuales se encuentran en variadas marcas y modelos; siendo importados por sus representantes en Chile, por lo que no existen dificultades para su adquisición y mantención.

En cuanto a la factibilidad institucional, este proyecto se enmarca dentro de las atribuciones de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras

Públicas. Dicho organismo deberá por tanto actuar como unidad ejecutora, contratando la adquisición e implementación del proyecto con otras entidades.

## 5.- EVALUACION ECONOMICA PRIVADA Y SOCIAL

### Inversión y Costos Anuales

ITEM	PRECIO PRIVADO US\$	INSUMOS INS/T:1,06	OTROS	FACTOR	PRECIO SOCIAL US\$
Inversión	122.434	100%	0%	1,060	129.780
Costos Anuales					
Operación Anual	4.380		100%	1,000	4.380
Mantención Anual	5.188	50%	50%	1,030	5.344
Total Costos Anuales	9.568				9.724

### Beneficios Anuales

Para un período de retorno de 25 años, se ha estimado en las evaluaciones sociales de los sectores amagados de los ríos Cautín (Temuco y El Rulo), Chol-Chol (Nueva Imperial) e Imperial (Lisahue, Carahue y Nehuentué) un total de 3.400 casas afectadas.

Estimando en M\$ 300 los daños evitables promedio por casa y que sólo un 50% de los afectados alcanza a salvar sus pertenencias, se tiene una cantidad total Bc = M\$ 510.000 en daños evitables en la crecida con período de retorno de 25 años.

Aplicando la metodología descrita en el Plan de Ordenamiento, se obtiene el beneficio anual esperado (BAE) de:

$$\text{BAE} = 0,1644 \text{ Bc} = \text{M\$ } 83.844 = \text{US\$ } 199.819$$

Considerando una vida útil de las obras de 100 años se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{VAN Privado} : \text{M\$ } 746.920 = \text{US\$ } 1.780.076$$

$$\text{VAN Social} : \text{M\$ } 610.243 = \text{US\$ } 1.454.345$$



Otra forma de evaluar este proyecto consiste en determinar cuál sería el valor mínimo del daño evitado promedio que lo haría ser rentable, dado que éste es el supuesto básico detrás del cálculo anterior. Siguiendo este procedimiento, se determinó que el proyecto sería rentable con un daño evitado promedio por casa de al menos \$ 32.747 (Privado) y \$ 37.981 (Social).

**A N E X O S**

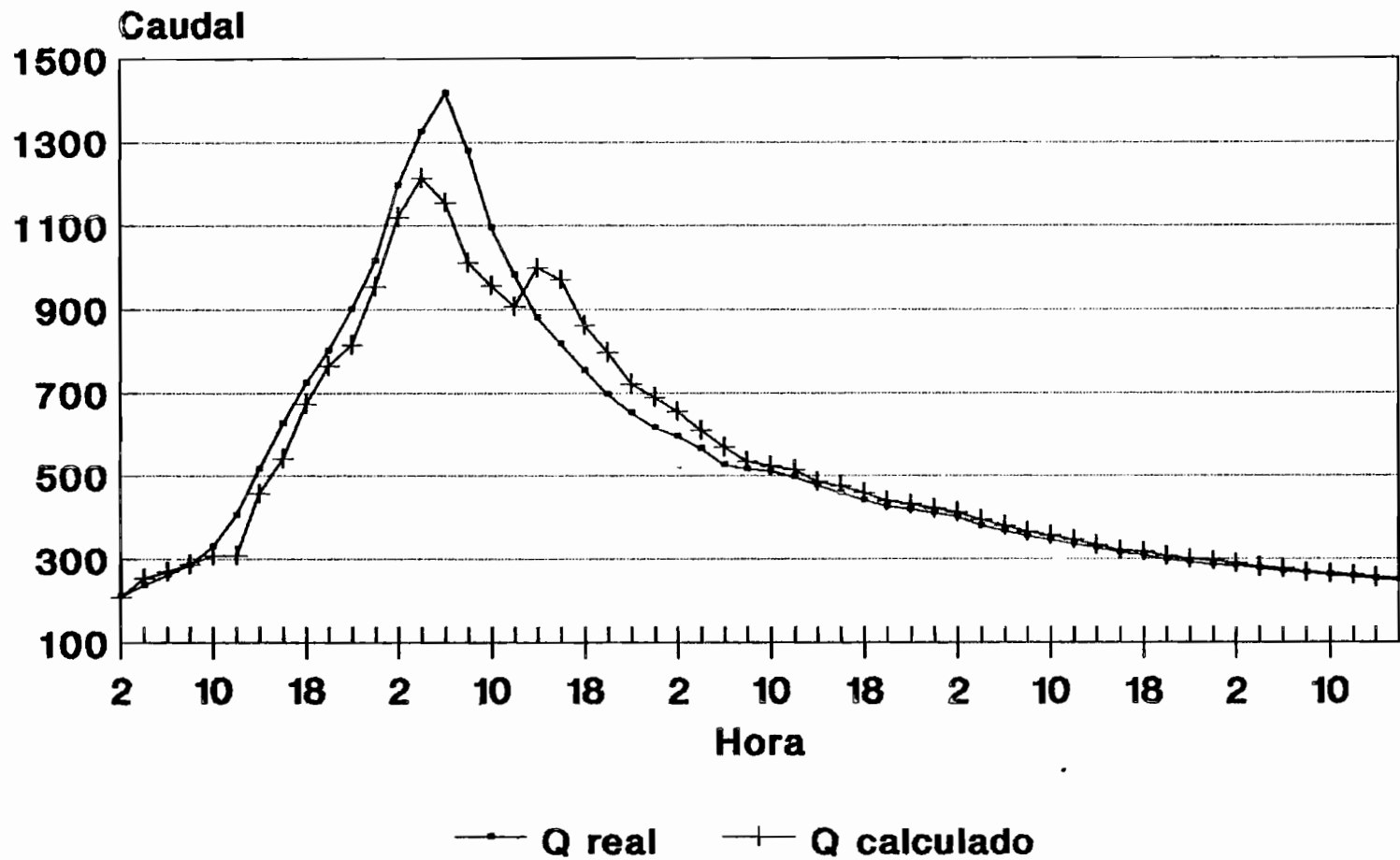
**ANEXO N° 1**

**GRAFICOS DE VERIFICACION**

**DE RELACIONES DE PRONOSTICO**

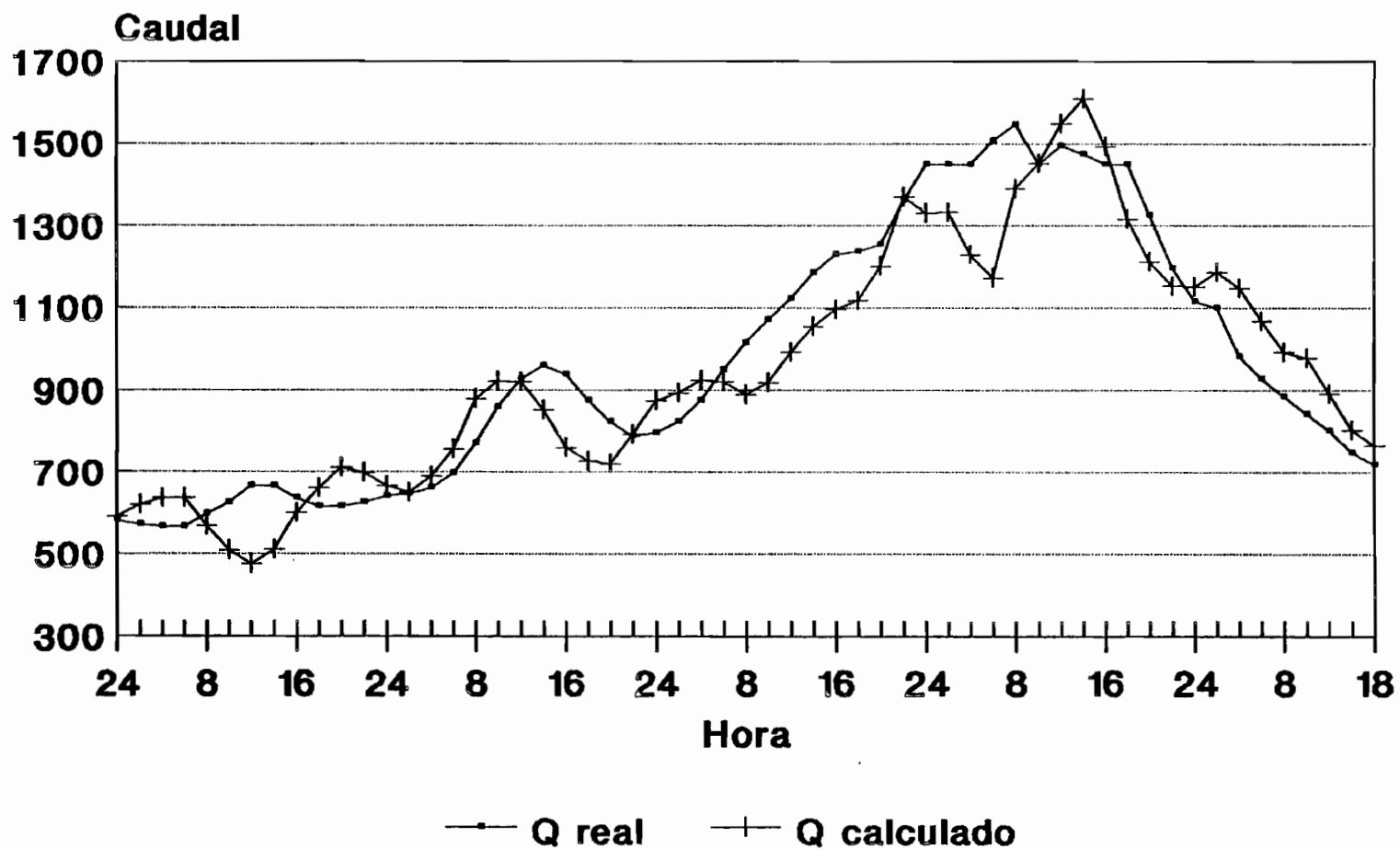
# CAUTIN EN CAJON

## CRECIDA 24/06/89 AL 07/07/89



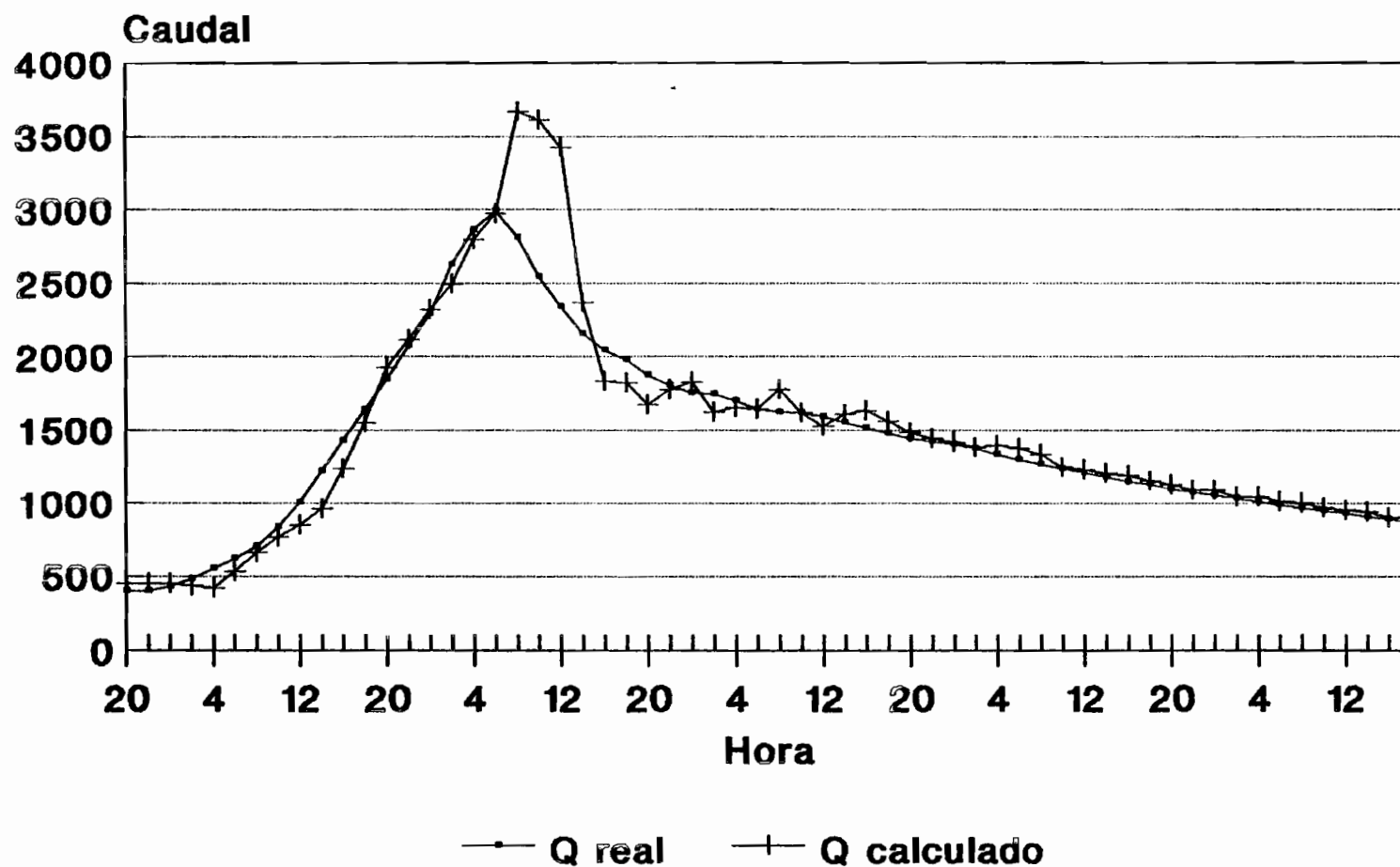
# CAUTIN EN CAJON

## CRECIDA 24/05/91 AL 06/06/91



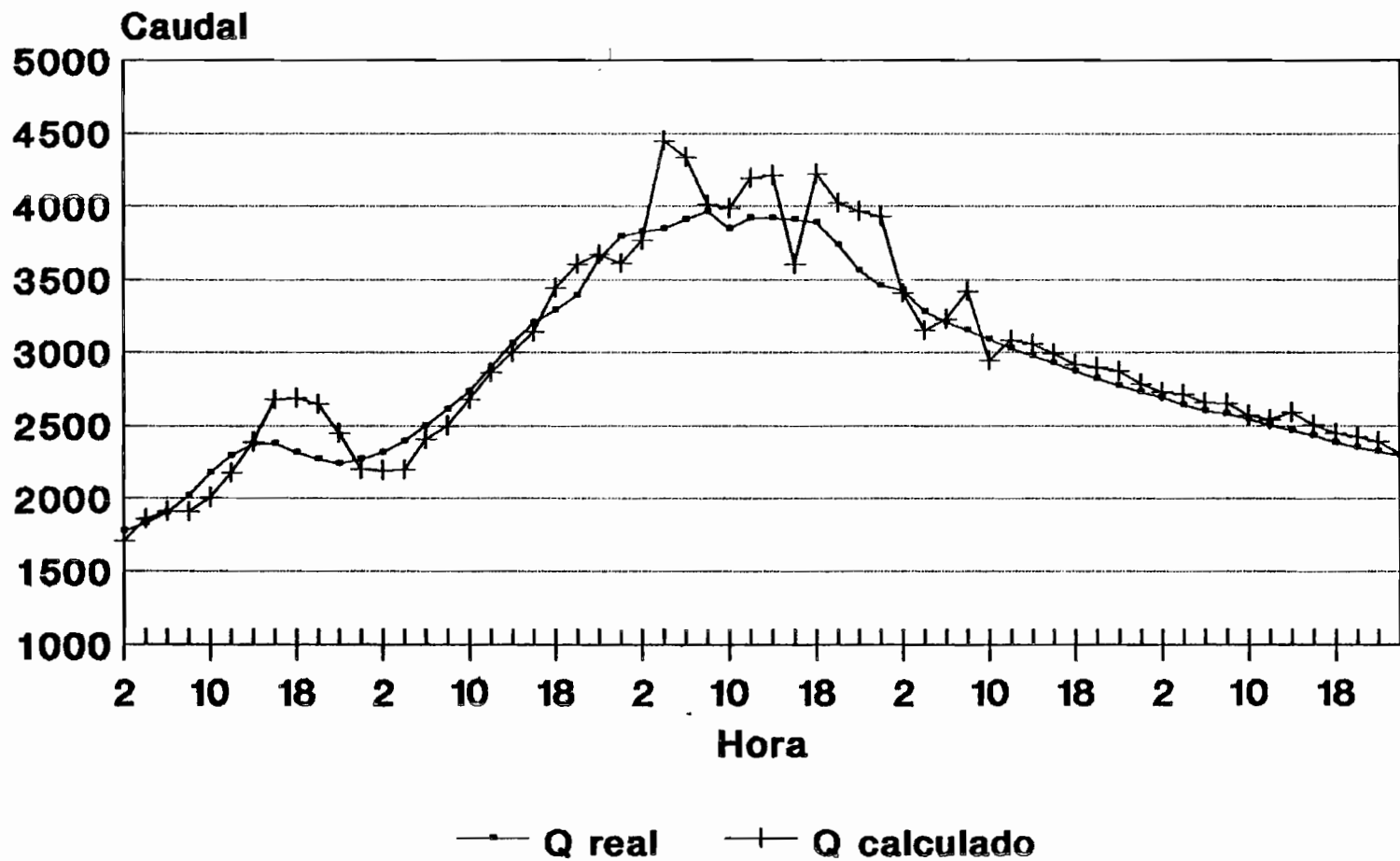
# IMPERIAL EN CARAHUE

## CRECIDA 24/06/89 AL 07/07/89



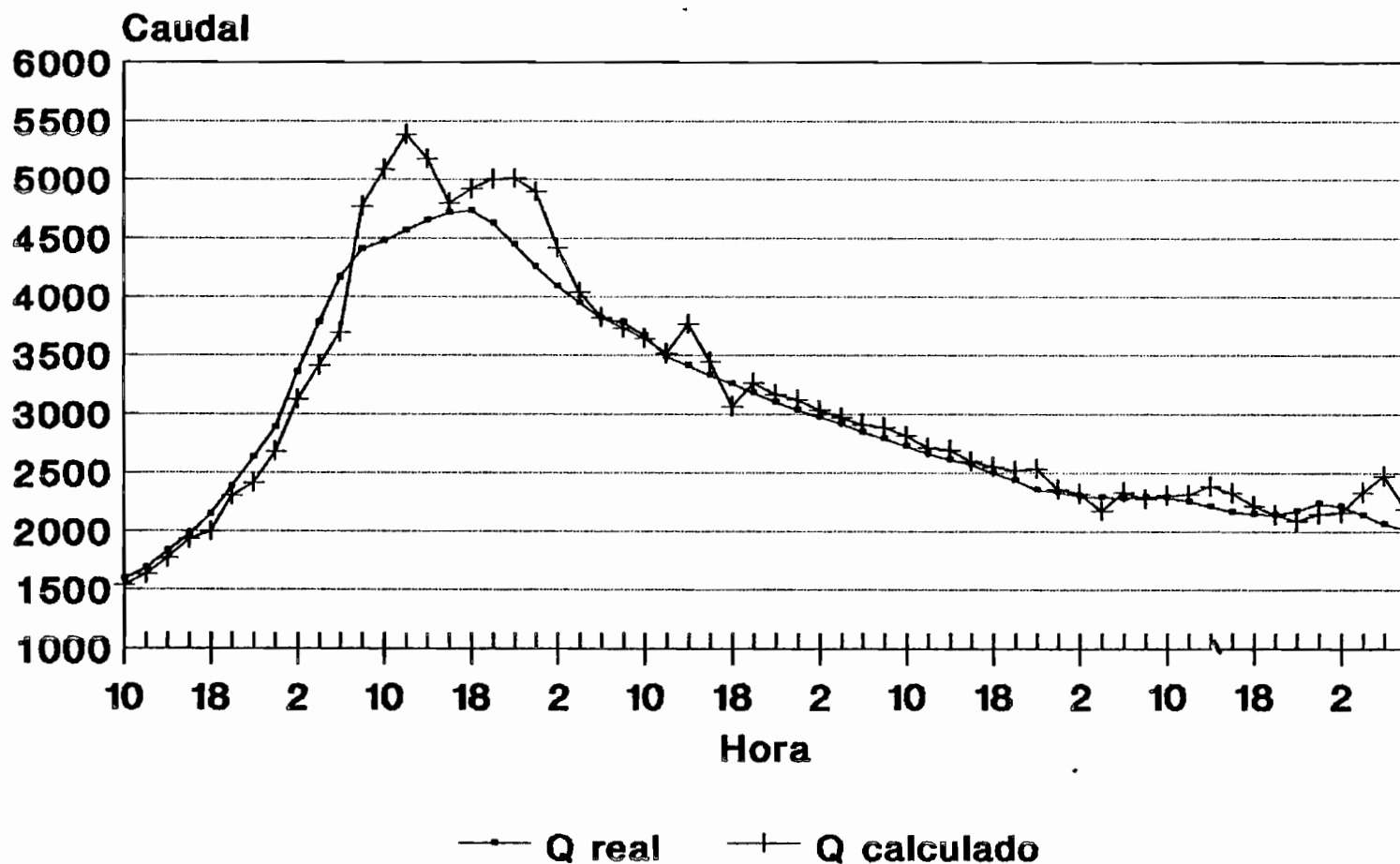
# IMPERIAL EN CARAHUE

## CRECIDA 20/05/91 AL 31/05/91



# IMPERIAL EN CARAHUE

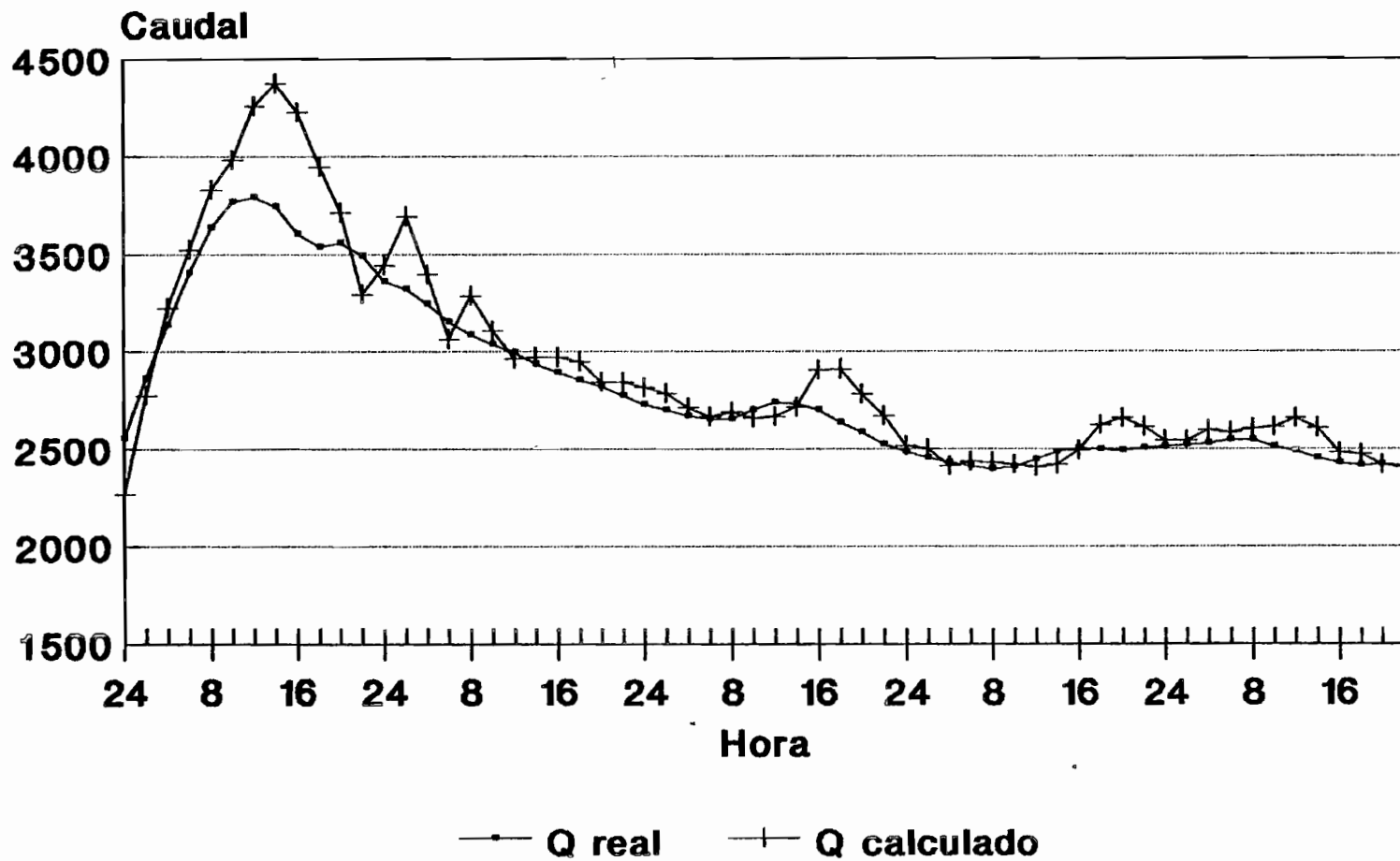
## CRECIDA 11/05/93 AL 23/05/93





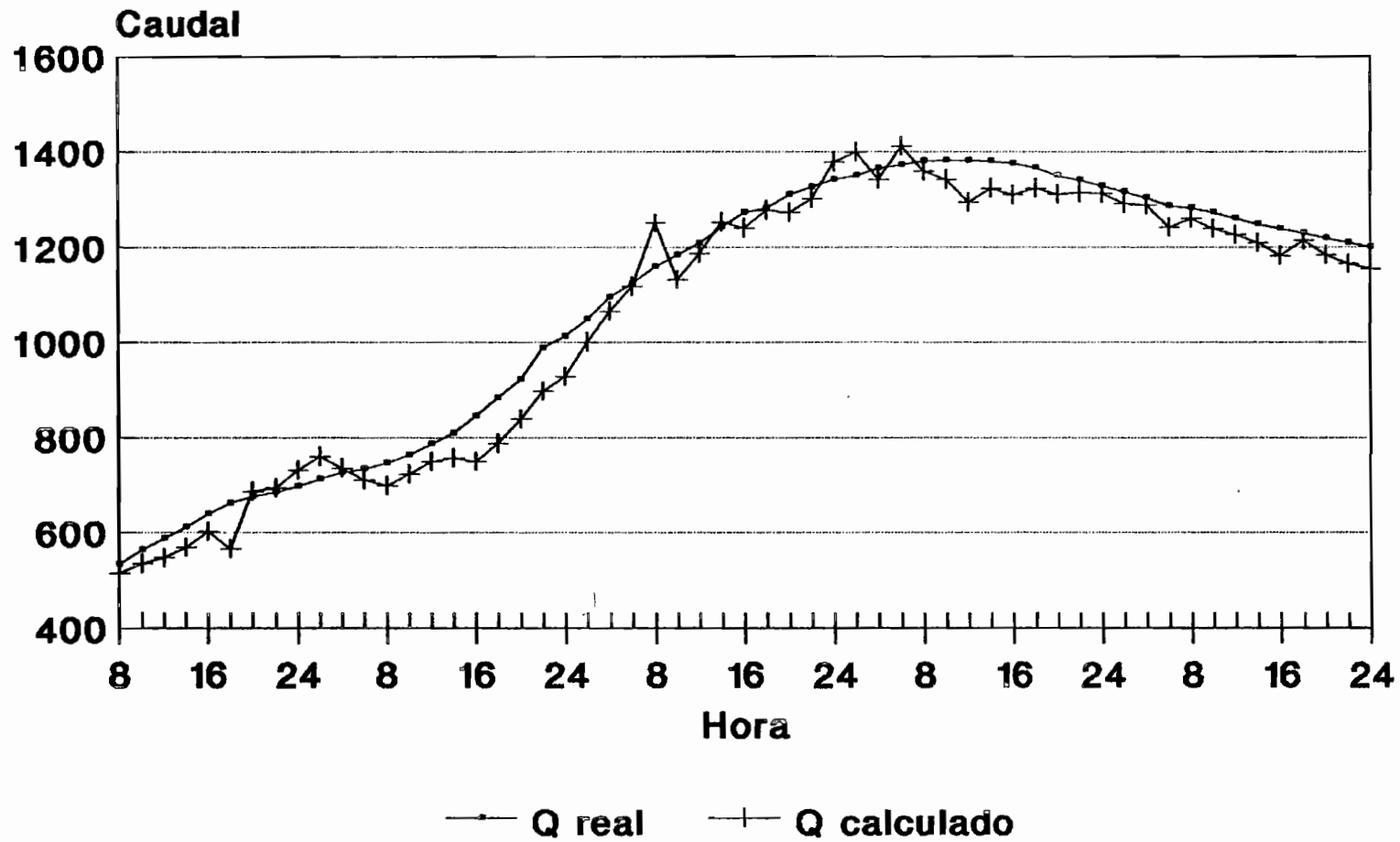
# IMPERIAL EN CARAHUE

## CRECIDA 22/06/93 AL 06/07/93



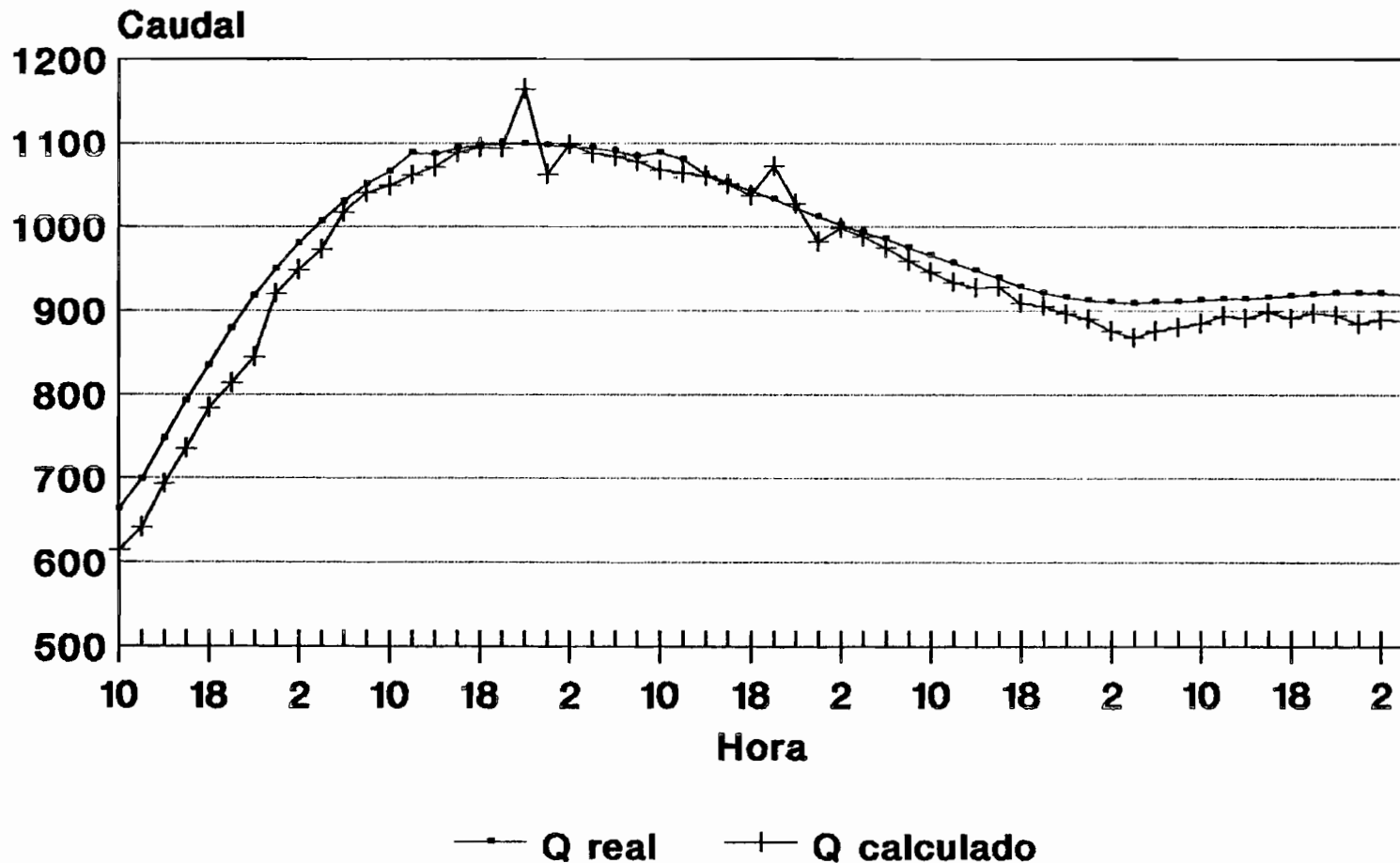
# CHOL-CHOL EN CHOL-CHOL

## CRECIDA 20/05/91 AL 31/05/91



# CHOL-CHOL EN CHOL-CHOL

## CRECIDA 22/06/93 AL 07/07/93



**ANEXO N° 2**

**DETALLE DE EQUIPAMIENTO**

El equipamiento necesario de cada estación, es el siguiente:

**LUMACO EN LUMACO**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**CHUFQUEN EN CHUFQUEN**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**CHOL-CHOL EN CHOL-CHOL**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**QUEPE EN QUEPE**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**CAUTIN EN CAJON**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**CAUTIN EN RARI-RUCA**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**PUEBLO NUEVO**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de precipitación Marca Handar Modelo 444A precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

**CENTRO DE OPERACION**

**CENTRO DE OPERACION (DGA - SANTIAGO)**

CANTIDAD	DETALLE
1	Sistema de recepción satelital Marca VITEL Modelo GR 3000
1	Computador Pentium 75 MHZ, Disco Duro 840 MB, 8 MB-RAM, UVGA .28, Fax/Modem 14,4 Kbaudios
1	Impresora chorro de tinta 200 cps, con alimentador automático de hojas
1	UPS para PC con autonomía de 12 horas
2	Respaldo de batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Software de Alerta de Crecidas

Notas:

- Se considera, de acuerdo con la I.T.O., el 50% del costo de los equipos del centro de operaciones en el proyecto de Alerta de Crecidas de Imperial y el 50% en el proyecto de Alerta de Crecidas de Aconcagua.
- El proveedor del sistema de recepción satelital deberá garantizar que sus equipos funcionarán sin interferencias.

**ANEXO N° 3**

**ANALISIS DE COSTOS**



## I.- COSTOS DE INVERSION

CANTIDAD	DETALLE	PRECIO UNITARIO US\$/Un	PRECIO TOTAL US\$
1	Sistema de recepción satelital Marca VITEL Modelo GR 3000 (**)	59.200	29.600
7	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)	3.840	3.840
6	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)	1.920	-
1	Sensor de precipitación Marca Handar Modelo 444A	1.320	1.320
16	Batería 12 V-17 Amp/Hr	180	2.880
7	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031	3.936	27.552
7	Antena satelital marca Handar modelo 443A x YAGI/10 DBgain	928	6.496
1	Computador Pentium 75 MHZ, Disco Duro 840 MB, 8 MB-RAM, UVGA .28, Fax/Modem 14,4 Kbaudios	2.280	1.140
1	Impresora chorro de tinta 200 cps, con alimentador automático de hojas	360	180
1	UPS para PC con 12 Hrs de autonomía	1.613	806
1	Software de Alerta de Crecidas	6.000	6.000
-	Instalación (30%)	-	23.944
Sub-total			103.758
18% de I.V.A.			18.676
Total Inversión			122.434

(\*): Se han excluido equipos que forman parte de Proyecto GC5-7, pero no se han sumado sus costos.

(\*\*): Se considera, de acuerdo con la I.T.O., un 50% del costo en Imperial y un 50% del costo en Aconcagua.

## II.- COSTOS DE OPERACION Y MANTENCION

### II.1.- Operación del Sistema

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	
			UNITARIO US\$	TOTAL US\$/AÑO
Promedio de días activados al año=12	Hombre-día/año	36	80	2.880
Gastos generales y directos	G1	1	1.500	1.500
TOTAL				4.380

**II.2.- Mantención del Sistema**

DESCRIPCION	COSTO US\$
Se considera una mantención del sistema de un 5% del costo de los equipos al año	5.188

**II.3.- Resumen**

II.1.- OPERACION DEL SISTEMA	4.380
II.2.- MANTENCION DEL SISTEMA	5.188
TOTAL OPERACION Y MANTENCION (US\$/AÑO)	9.568

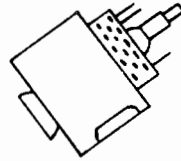
**ANEXO N° 4**

**ESQUEMA GENERAL**

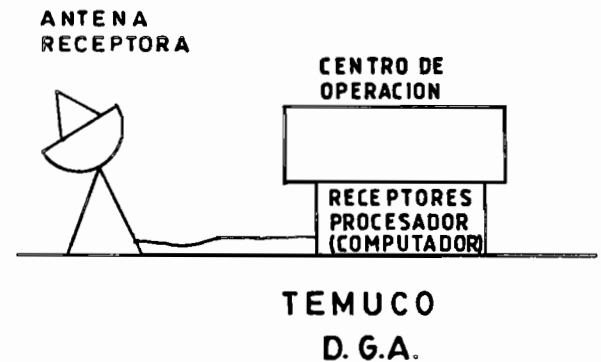
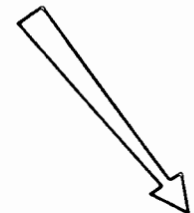
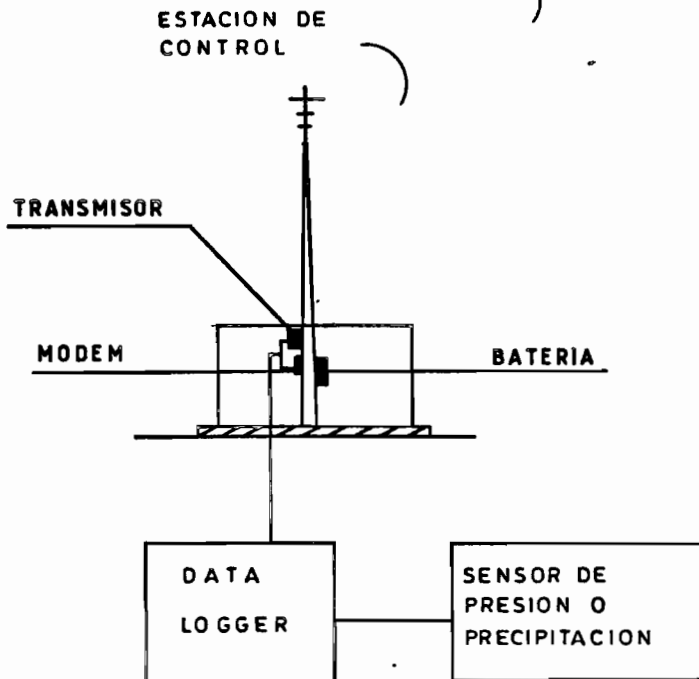
**DEL SISTEMA DE ALERTA**

**ESQUEMA INSTALACION EQUIPOS AUTOMATICOS  
SISTEMA ALERTA DE CRECIDAS  
CUENCA IMPERIAL**

SATELITE  
GEOESTACIONARIO



ESQUEMA ESTACIONES	
LUMACO EN LUMACO	FLUVIOMETRICA
CHUFQUEN EN CHUFQUEN	FLUVIOMETRICA
QUEPE EN QUEPE	FLUVIOMETRICA
CHOLCHOL EN CHOLCHOL	FLUVIOMETRICA
CAUTIN EN CAJON	FLUVIOMETRICA
CAUTIN EN RARI RUCA	FLUVIOMETRICA
PUEBLO NUEVO	PLUVIOMETRICA

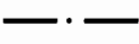



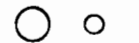



**ANEXO N° 5**

**ESQUEMA DE SECTORES AMAGADOS**

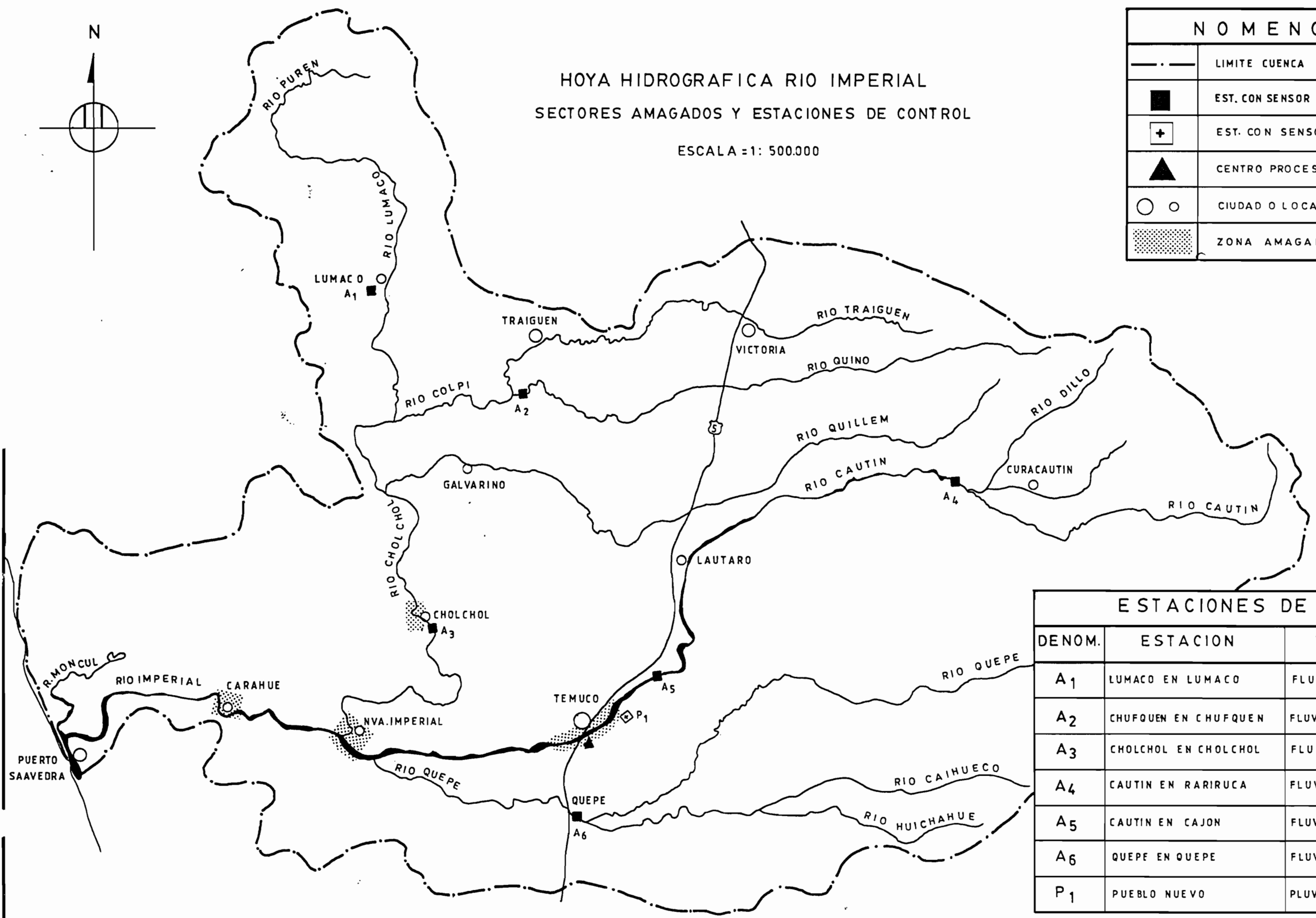
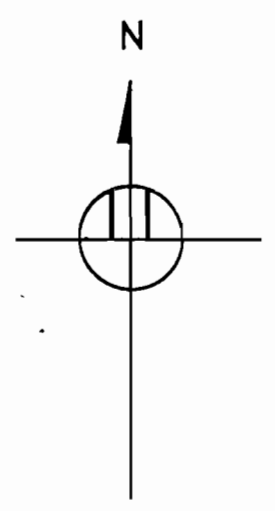
**Y ESTACIONES DE CONTROL**

## NOMENCLATURA

	LIMITE CUENCA
	EST. CON SENSOR FLUVIOMETRICO
	EST. CON SENSOR PLUVIOMETRICO
	CENTRO PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION
	CIUDAD O LOCALIDAD
	ZONA AMAGADA

### HOYA HIDROGRAFICA RIO IMPERIAL SECTORES AMAGADOS Y ESTACIONES DE CONTROL

ESCALA = 1: 500.000



### ESTACIONES DE CONTROL

DENOM.	ESTACION	TIPO	MODALIDAD
A <sub>1</sub>	LUMACO EN LUMACO	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A <sub>2</sub>	CHUFQUEN EN CHUFQUEN	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A <sub>3</sub>	CHOLCHOL EN CHOLCHOL	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A <sub>4</sub>	CAUTIN EN RARIRUCA	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A <sub>5</sub>	CAUTIN EN CAJON	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A <sub>6</sub>	QUEPE EN QUEPE	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
P <sub>1</sub>	PUEBLO NUEVO	PLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA

REPUBLICA DE CHILE



MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
CORPORACION NACIONAL FORESTAL

---

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD  
PROGRAMA MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

**PROYECTO DE DISEÑO**  
**SISTEMA ALERTA DE CRECIDAS**

PROYECTO CC5-11

CUENCA RIO IMPERIAL

Diciembre de 1995



EN ASOCIACION CON

**INFOR**  
INSTITUTO FORESTAL

INGENIEROS  
**ICSA**  
CONSULTORES

**bf ingenieros civiles**

# PROYECTO ALERTA DE CRECIDAS

## CUENCA RIO IMPERIAL

### I N D I C E

1.-	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	1
2.-	ANTECEDENTES RELEVANTES Y DEFINICION DEL PROBLEMA.....	1
3.-	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	2
4.-	DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	3
4.1.-	Descripción General del Sistema de Alerta de Crecidas.	3
4.2.-	Puntos Amagados y Relaciones de Pronóstico.....	4
4.3.-	Análisis, Descripción y Selección de Alternativas de Equipamiento.....	8
4.4.-	Sistema operativo.....	11
4.5.-	Factibilidad del Proyecto.....	13
5.-	EVALUACION ECONOMICA PRIVADA Y SOCIAL.....	14

### ANEXOS

Anexo N°1:	Gráfico de Verificación de Relaciones de Pronóstico
Anexo N°2:	Detalle de Equipamiento
Anexo N°3:	Análisis de Costos
Anexo N°4:	Esquema General del Sistema de Alerta
Anexo N°5:	Esquema de Sectores Amagados y Estaciones de Control



## 1.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

Periódicamente las crecidas en la cuenca del río Imperial inundan sectores poblados de Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue, produciendo pérdidas de vidas humanas, enseres y deterioro de la salud física y psicológica de la población.

Los efectos antes indicados hacen necesario tomar medidas tendientes a minimizarlos. Entre las alternativas técnicas de costo reducido y que han mostrado su eficacia en otros países, están los sistemas de alertas de crecidas.

El sistema de alerta de crecidas previsto para la cuenca del río Imperial, se encuentra destinado a proteger a la población ribereña de las ciudades de Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue.

Estos sistemas, consistentes en una combinación de equipamiento electromecánico y el trabajo de personal entrenado, permiten mediante medición de caudales y precipitación en la cuenca y el proceso computacional de los datos, determinar la magnitud de las crecidas con antelación, lo que posibilita alertar y, si procede, evacuar la población afectada.

De acuerdo a lo detallado más adelante, la inversión de este sistema para la cuenca del río Imperial, asciende a US\$ 122.434; por otra parte los costos de mantención y operación del sistema, se han estimado en US\$ 5.188 y US\$ 4.380 respectivamente. En relación a los beneficios de este proyecto, debe considerarse en forma importante las externalidades positivas, las cuales dicen relación con las menores pérdidas de vidas humanas, enseres, etc., lo que hace muy importante su materialización al más breve plazo.

## 2.- ANTECEDENTES RELEVANTES Y DEFINICION DEL PROBLEMA

Las inundaciones que producen las crecidas de los ríos Cautín, Chol-Chol e Imperial en los sectores poblados de Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue, con sus daños asociados, que afectan a la población debido a la pérdidas de vidas humanas, pérdidas de enseres y deterioro de la salud de las personas, hacen necesario el estudio de alternativas de solución.

El alto costo de los sistemas de defensas fluviales no permite en el corto y mediano plazo, la construcción de todas las obras de defensas fluviales necesarias en los

sectores poblados; por otra parte, aún en los sectores con defensas, podrían producirse eventos con períodos de retorno superiores al de diseño que superasen las defensas, lo que afectaría seriamente a la población. Esto ha llevado a buscar otras alternativas que ayuden a mitigar el problema y permitan proteger a la población aún en el caso de sectores con defensas, si ocurren crecidas con períodos de retornos mayores al de diseño.

En cuanto a los beneficiarios de este sistema, éstos se han estimado del orden de 15.000 personas, las cuales podrán ser protegidas o evacuadas, estimándose en M\$ 300 por casa, la disminución de los daños con un beneficio anual total esperado de M\$ 83.844.

### 3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

Una alternativa atractiva es la posibilidad de contar con un sistema que permita predecir y alertar a la población posibilitando tomar medidas apropiadas, las que podrían llegar a la evacuación de la población en casos de crecidas de gran magnitud, permitiendo reducir en forma importante las pérdidas de vidas humanas, el deterioro de la salud de las personas y disminuir en algún grado la pérdida de enseres, reduciendo el impacto psicológico sobre las personas.

El objetivo del proyecto es permitir la predicción con una antelación de 10 horas, de las crecidas del río Chol-Chol en Chol-Chol y con 14 horas en el sector de Nueva Imperial, 8 horas para el río Cautín en Temuco y con 6 horas para el río Imperial en Carahue, lo que posibilitaría por parte de la autoridad la adopción de medidas tanto de prevención y emergencia ante las inundaciones, como en casos extremos, de evacuación de la población.

En relación a los beneficios esperados de este sistema, estos van en directa relación con el desarrollo por parte del gobierno regional de un adecuado plan de medidas y disposición de los recursos necesarios para su materialización. Estas medidas como ya se ha indicado pueden incluso considerar la evacuación total de la población, en crecidas de gran magnitud, para lo cual debe contarse con los recursos físicos en forma oportuna para su implementación.

En cuanto a los beneficios del sistema de alerta, son de gran relevancia las externalidades positivas, ya que si bien es posible evaluar los enseres rescatados y los gastos en salud de las personas, no es posible valorizar las vidas humanas que pueden salvarse y el efecto psicológico sobre las personas, principales motivadores del establecimiento de este

tipo de sistemas.

#### 4.- DESCRIPCION DEL PROYECTO

##### 4.1.- Descripción General del Sistema de Alerta de Crecidas

Un sistema de alerta de crecidas está compuesto básicamente por una serie de estaciones fluviométricas y pluviométricas, ubicadas en puntos estratégicos, en las cuales las mediciones de caudal y precipitaciones son capturadas en su origen y transmitidas por alguna vía a un centro de operaciones, lugar en que se realiza, mediante ecuaciones predeterminadas, una predicción del caudal que escurrirá horas más tarde en tramos críticos del cauce, en cuyas riberas existen sectores poblados, permitiendo de este modo tomar medidas de prevención e incluso, en casos extremos, evacuar a los habitantes y salvar parte de sus enseres, reduciendo las pérdidas de vidas y los daños que las crecidas provocan.

En nuestro caso, a fin de reducir el costo de este sistema de alerta de crecidas, se ha elegido como puntos de control de las crecidas, estaciones existentes en la cuenca; las cuales corresponden a:

- Estaciones Fluviométricas
  - \* Lumaco en Lumaco
  - \* Chufquen en Chufquen
  - \* Chol-Chol en Chol-Chol
  - \* Cautín en Rari-Ruca
  - \* Cautín en Cajón
  - \* Quepe en Quepe
  
- Estación Pluviométrica
  - \* Pueblo Nuevo

En estos puntos se leerá el nivel del río o la lluvia acumulada periódicamente y será transmitido al centro de operaciones ubicado en Temuco, lugar donde será procesado computacionalmente para determinar con anticipación los caudales en Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue.

Más adelante se analiza tanto el personal, el equipamiento mecánico y electrónico propuesto, como también las ecuaciones que permiten la predicción de las crecidas.

#### **4.2.- Puntos Amagados y Relaciones de Pronóstico**

En el caso específico de la cuenca del río Imperial, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas contrató a la consultora bf Ingenieros Ltda. el año 1987 para desarrollar un estudio denominado "Investigación de un Sistema de Alerta de Crecidas Fluviales", estudio en el cual en su segunda etapa se aborda la IX Región, que desarrolla estos sistemas para la cuenca del río Imperial.

De acuerdo a lo indicado en la metodología presentada por esta Consultora, el desarrollo dentro de la componente de control de crecidas y manejo del cauce, considera en todo lo relativo a alertas de crecidas, sólo una actualización del mencionado estudio; por tanto en los puntos siguientes se abordan los aspectos hidráulicos, y de equipamiento analizados en el estudio antes mencionado.

##### **4.2.1.- Puntos Amagados**

Se efectuó una revisión del análisis hidráulico de los puntos en que se requiere establecer el sistema de alerta de crecidas, analizando la validez, en los casos que es posible, del sistema básico de pronóstico y los umbrales o niveles críticos de alerta.

En el desarrollo del estudio de bf, se seleccionaron como puntos amagados para el desarrollo del sistema de alerta, las ciudades o localidades de Temuco, Chol-Chol, Nueva Imperial y Carahue. Durante el desarrollo de las etapas anteriores del estudio, pudo determinarse que dicha selección es acertada, ya que corresponden a sectores poblados donde se han producido crecidas que han afectado a la población y donde se han diseñado obras con un período de retorno de 100 años en estos últimos casos aumentando los umbrales del alerta. Se ha optado por lo tanto en mantener como definitivos los puntos amagados en los sectores indicados.

##### **4.2.2.- Puntos de Control y Relaciones de Pronóstico**

A continuación se presenta, para cada río y sector, las estaciones de control seleccionadas, las respectivas ecuaciones de pronóstico y las precipitaciones y caudales umbrales para activar la pre-

alerta y alerta respectivamente.

- **Río Chol-Chol en Chol-Chol**

Para este sector puede obtenerse un pronóstico con 10 hrs de antelación mediante la ecuación:

$$\begin{aligned}
 Q_{CH}(t+10) = & 3,985 \cdot Q_{CH}(t) - 3,046 \cdot Q_{CH}(t-2) + \\
 & 0,204 \cdot E(t) + 0,183 \cdot E(t-2) + \\
 & 0,163 \cdot E(t-4) + 0,146 \cdot E(t-6) + \\
 & 0,131 \cdot E(t-8) - 0,695 \cdot E(t-10) \quad (1)
 \end{aligned}$$

en que:

$$E(t) = Q_{CH}(t) + Q_{LU}(t-4)$$

$Q_{CH}(t)$ : Caudal de estación Chol-Chol en Chol-Chol en el instante t.

$Q_{LU}(t)$ : caudal de estación Lumaco en Lumaco en el instante t.

- **Río Chol-Chol en Nueva Imperial**

En este caso puede obtenerse un pronóstico con 14 horas de antelación, mediante la ecuación:

$$Q_{NI}(t+14) = 1,06 \cdot Q_{CH}(t) \quad (2)$$

en que:

$Q_{NI}(t)$ : Caudal estación río Chol-Chol en Nueva Imperial en el instante t.

$Q_{CH}(t)$ : Caudal estación río Chol-Chol en Chol-Chol en el instante t.

- **Río Cautín en Temuco**

El máximo adelanto con que se puede hacer el pronóstico es de 8 horas, para lo cual se utiliza el siguiente modelo:

$$\begin{aligned}
 Q_{CC}(t+8) = & 0,620 \cdot Q_{CC}(t) + 0,167 \cdot Q_{CC}(t-2) + \\
 & 1,742 \cdot Q_{CRR}(t) - 0,44 \cdot Q_{CRR}(t-2) + \\
 & 0,152 \cdot Q_{CRR}(t-4) - 0,011 \cdot Q_{CRR}(t-6) \\
 & - 1,049 Q_{CRR}(t-8)
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$Q_{CT}(t+3) = Q_{CC}(t+2) \tag{4}$$

en que:

$Q_{CC}(t)$  : Caudal de estación Cautín en Cajón en el instante t.

$Q_{CRR}(t)$  : Caudal de estación Cautín en Rari-Ruca en el instante t.

$Q_{CT}(t)$  : Caudal de estación río Cautín en Temuco en el instante t.

- **Río Imperial en Carahue**

En este caso aplicando ecuaciones de transferencia, se obtiene el siguiente modelo con 6 horas de antelación:

$$\begin{aligned}
 Q_{IC}(t) = & 1,215 \cdot Q_{CC}(t) + 1,268 \cdot Q_Q(t) + \\
 & 1,155 Q_{CH}(t)
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{IC}(t+2) = & 1,978 \cdot Q_{IC}(t) - 0,974 \cdot Q_{IC}(t-2) + \\
 & 0,987 \cdot P_B(t-4) - 0,438 \cdot P_B(t-6)
 \end{aligned} \tag{6}$$

Los pronósticos para Carahue se obtienen a través de la aplicación recursiva de las ecuaciones (5) y (6); en las cuales se presentan los siguientes valores:

- $Q_0(t)$  : Caudal de la estación Quepe en Quepe en el instante t.
- $Q_{IC}(t)$  : Caudal de Imperial en Carahue en el instante t.
- $P_B(t)$  : Precipitación medida en Pueblo Nuevo en el intervalo de las dos horas anteriores al instante t.

En cuanto a los valores umbrales, se tiene la siguiente tabla resumen:

PUNTO AMAGADO	PRE-ALERTA	ALERTA SIN DEFENSAS m <sup>3</sup> /s	ALERTA CON DEFENSAS m <sup>3</sup> /s
Chol-Chol en Chol-Chol	60 mm en 72 horas, estación Lumaco	1.300	-
Chol-Chol en Nueva Imperial	60 mm en 72 horas, estación Lumaco	1.200	2.866
Cautín en Temuco	60 mm en 72 horas, estación Pueblo Nuevo	900	2.340
Imperial en Carahue	60 mm en 72 horas, estación Pueblo Nuevo o Lumaco	2.600	-

Dado que en algunos de los puntos amagados se proyecta la construcción de defensas, se han establecido dos caudales umbrales para dar la alerta, los que serán válidos antes y después de construidas las obras respectivamente.

A objeto de verificar las relaciones de pronóstico, se analizaron las crecidas posteriores a 1987 que fueron registradas en las distintas estaciones simultáneamente, las que fueron graficadas. En la tabla siguiente se presenta un detalle de las crecidas analizadas:

PUNTO AMAGADO	FECHA
Imperial en Carahue	24/06/89 - 07/07/89
	20/05/91 - 31/05/91
	15/05/93 - 23/05/93
	22/06/93 - 06/07/93
Chol-Chol en Chol-Chol	20/05/91 - 31/05/91
	22/06/93 - 07/07/93
Cautin en Cajón	24/06/89 - 07/07/89
	24/05/91 - 06/06/91

Del análisis de los gráficos que se presentan en el Anexo N°1, se desprende que todas las relaciones de pronóstico poseen un excelente ajuste, por lo que se decidió aceptar las ecuaciones descritas como totalmente válidas, las que deberán ser implementadas computacionalmente como parte de la puesta en práctica del sistema.

En el esquema de la cuenca que se incluye en el Anexo N°5, se presentan tanto los puntos amagados descritos como las estaciones de control y sus características.

#### **4.3.- Análisis y Descripción de Alternativas de Equipamiento**

Establecidas las relaciones de pronóstico y los valores umbrales para dar pre-alertas y alertas de crecidas y poner en práctica las medidas de emergencia, se requiere establecer tanto la metodología como los sistemas que permitan recopilar la información que alimente el sistema y efectúe los cálculos necesarios de las relaciones de pronóstico.

Resulta conveniente, previo al análisis de las alternativas de equipamiento, establecer los requerimientos que deberían cumplir estos sistemas para ser aceptables.

A continuación se describen las principales características que debe tener un sistema de alerta de crecidas para garantizar su operatividad y que cumpla su objetivo convenientemente:

- a) Minimizar o anular falsas alertas y crecidas no alertadas.



- b) Que las alertas se prevengan con la máxima antelación, de modo de permitir la adopción oportuna de medidas de prevención y emergencia.
- c) Máxima seguridad de contar oportunamente con las predicciones necesarias, es decir sistema de recolección, transmisión, recepción y procesamiento seguro.

De estas tres características sólo la c) es atribuible a los equipos, siendo las otras dos dependientes de la exactitud de las relaciones de pronóstico.

Esta seguridad queda dada por :

- a) Que la crecida no dañe las obras civiles o secciones de control.
- b) Calidad de los equipos de medición en cuanto a su correcta instalación y resistencia a las condiciones climáticas.
- c) Seguridad de suministro de energía que estos equipos requieren.
- d) Seguridad de transmisión de los datos.
- e) Seguridad de recepción de los datos.

En este proyecto sólo utilizaremos alternativas que cumplan con los puntos b) a e); en cuanto al punto a), éste corresponde a una labor que desarrolla permanentemente la Dirección General de Aguas como organismo que administra la red de estaciones y el Banco Nacional de Aguas.

Desde el punto de vista de operación existen dos alternativas básicas de equipamiento, que son las siguientes:

#### **I) Manual**

Esta alternativa consiste en equipar con equipos de radio y capacitar al personal, para que realice la función de leer los instrumentos e informar por radio a la central de operaciones, donde mediante un computador personal se ingresen los datos y se procesen a fin de determinar el pronóstico y decidir las acciones a tomar.

Para el correcto funcionamiento de esta alternativa debe considerarse que el observador viva a una corta distancia de la estación y cuente con una vía expedita para llegar a ella.

## **II) Radio Automática**

Esta segunda alternativa consiste en dotar a las estaciones de equipamiento totalmente automático de alta tecnología que capture la información en el origen mediante sensores, la transmita vía radio, teléfono o satélite hasta la central de operaciones donde se procesa en forma automática y se toman las acciones pertinentes.

## **III) Radio Manual-Automática**

Esta alternativa corresponde a una mezcla de las dos anteriores, en que algunas estaciones de difícil acceso son automáticas y otras en que el observador vive cerca, son manuales.

En este caso algunos datos son captados directamente por equipos automáticos en el origen y transmitidos al computador y el resto leídos por el observador e ingresados manualmente al equipo por el operador del centro de operaciones.

De las alternativas antes descritas, de acuerdo con el Mandante, se ha seleccionado la Alternativa II (radio automática), único sistema que permite asegurar contar con la información en forma oportuna ya que se independiza del factor humano.

Por otra parte, considerando la información proporcionada tanto por la DGA, como por empresas proveedoras de plataformas colectoras de datos, existen convenios de conexiones satelitales de costo muy reducido que transforman esta alternativa en la más conveniente, debido a su menor costo de inversión, menos mantención y alta seguridad, aún en las condiciones atmosféricas más adversas.

Por lo tanto este proyecto se ha desarrollado en base a plataformas colectoras de datos con conexión satelital.

Esta alternativa permite dar una seguridad adecuada de correcto funcionamiento, que un sistema de esta importancia requiere.

**- Descripción de la Alternativa Seleccionada**

El sistema Radio Automático para alerta de crecidas en la cuenca del río Imperial, ha sido concebido considerando la operación de las estaciones siguientes:

**- Estaciones Fluviométricas:**

Lumaco en Lumaco	: Radio Automática
Chufquen en Chufquen	: Radio Automática
Chol-Chol en Chol-Chol	: Radio Automática
Cautín en Rari-Ruca	: Radio Automática
Cautín en Cajón	: Radio Automática
Quepe en Quepe	: Radio Automática

**- Estación Pluviométrica**

Pueblo Nuevo	: Radio Automática
Lumaco	: Radio Automática

En cuanto a la base de operaciones, se ha considerado en conjunto con la I.T.O. como la alternativa más conveniente, la instalación de una base única en el edificio del M.O.P., en Santiago, la que permitirá recibir y administrar los sistemas de alerta de crecidas satelital de todo el país.

En el Anexo N°2 se presenta el detalle de los equipos que se instalarán en cada una de las estaciones. Adicionalmente se entrega el presupuesto que corresponde al detalle valorizado agrupando los equipos similares.

El monto total de la inversión asciende a la suma de US\$ 122.434, valor que incluye el impuesto al valor agregado I.V.A.

**4.4.- Sistema Operativo**

Una vez definidas las estaciones que serán parte del sistema de alerta de crecidas y el equipamiento

que debe disponerse en las distintas estaciones, es necesario definir el procedimiento que deberá utilizarse para la operación.

Tal como se ha indicado anteriormente, la mayor parte del año el sistema de alerta se encontrará inactivo, ya que la inexistencia de tormentas en cuencas pluviales permite asegurar la inexistencia de crecidas en el futuro inmediato.

Durante este período de inactividad, es necesario realizar pruebas periódicas del buen funcionamiento del sistema, las que deben consistir en un ensaye de la medición, transmisión y captura en la central de operaciones; como también una prueba del computador central. Esta operación puede realizarse una vez al mes, en período de verano y cada 15 días en período de invierno.

Durante todo el año, en los períodos de lluvia, debe haber una persona responsable de verificar en forma diaria la precipitación acumulada en las últimas 72 horas en las estaciones de control del sistema. En esta cuenca dicha precipitación no deberá superar los 60 mm, medidos en la estación Lumaco o Pueblo Nuevo.

Cuando la precipitación umbral antes indicada es superada, se debe activar el estado denominado de pre-alerta, situación que debe ser comunicada a los operadores del centro de operaciones. Este estado de pre-alerta significa que el sistema entra en funcionamiento continuo, en el cual en forma sistemática, cada 1 ó 2 horas como máximo, deben capturarse los valores de caudales y precipitación, procediéndose en el computador central a procesar estos datos y calcular un pronóstico del caudal en los puntos amagados con la anticipación siguiente:

Chol-Chol	: 10 hrs de anticipación
Nueva Imperial	: 14 hrs de anticipación
Temuco	: 8 hrs de anticipación
Carahue	: 6 hrs de anticipación

Este caudal determinado por el proceso antes descrito, debe ser comparado con los caudales umbrales antes indicados es decir:

PUNTO AMAGADO	PRE-ALERTA	ALERTA SIN DEFENSAS m <sup>3</sup> /s	ALERTA CON DEFENSAS m <sup>3</sup> /s
Chol-Chol en Chol-Chol	60 mm en 72 horas, estación Lumaco	1.300	-
Chol-Chol en Nueva Imperial	60 mm en 72 horas, estación Lumaco	1.200	2.866
Cautín en Temuco	60 mm en 72 horas, estación Pueblo Nuevo	900	2.340
Imperial en Carahue	60 mm en 72 horas, estación Pueblo Nuevo o Lumaco	2.600	-

Si estos caudales umbrales son superados, significa que existe probabilidad de inundación en los sectores poblados identificados como amagados, por lo que el operador responsable del sistema debe proceder a comunicar a la autoridad competente, quien deberá proceder de acuerdo a un plan pre-establecido.

La situación de alerta se mantiene mientras no se detengan las precipitaciones y si éstas se han detenido, mientras los caudales no disminuyan bajo los umbrales.

Terminada la situación de alerta, el sistema vuelve a su condición normal de operación, es decir una condición de inactividad hasta la ocurrencia de la próxima prueba o siguiente pre-alerta.

#### 4.5.- Factibilidad del Proyecto

El sistema de alerta proyectado corresponde a un sistema radio automático, en el cual existe una vasta experiencia, lo que hace esperar que no se presenten problemas relevantes en su implementación. En cuanto a la factibilidad técnica, ésta depende fundamentalmente de la disponibilidad de los equipos, denominados en forma genérica "Plataformas Colectoras de Datos", los cuales se encuentran en variadas marcas y modelos; siendo importados por sus representantes en Chile, por lo que no existen dificultades para su adquisición y mantención.

En cuanto a la factibilidad institucional, este proyecto se enmarca dentro de las atribuciones de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras

Públicas. Dicho organismo deberá por tanto actuar como unidad ejecutora, contratando la adquisición e implementación del proyecto con otras entidades.

## 5.- EVALUACION ECONOMICA PRIVADA Y SOCIAL

### Inversión y Costos Anuales

ITEM	PRECIO PRIVADO US\$	INSUMOS INS/T:1,06	OTROS	FACTOR	PRECIO SOCIAL US\$
Inversión	122.434	100%	0%	1,060	129.780
Costos Anuales					
Operación Anual	4.380		100%	1,000	4.380
Mantención Anual	5.188	50%	50%	1,030	5.344
Total Costos Anuales	9.568				9.724

### Beneficios Anuales

Para un período de retorno de 25 años, se ha estimado en las evaluaciones sociales de los sectores amagados de los ríos Cautín (Temuco y El Rulo), Chol-Chol (Nueva Imperial) e Imperial (Lisahue, Carahue y Nehuentué) un total de 3.400 casas afectadas.

Estimando en M\$ 300 los daños evitables promedio por casa y que sólo un 50% de los afectados alcanza a salvar sus pertenencias, se tiene una cantidad total Bc = M\$ 510.000 en daños evitables en la crecida con período de retorno de 25 años.

Aplicando la metodología descrita en el Plan de Ordenamiento, se obtiene el beneficio anual esperado (BAE) de:

$$BAE = 0,1644 Bc = M\$ 83.844 = US\$ 199.819$$

Considerando una vida útil de las obras de 100 años se obtuvieron los siguientes resultados:

$$VAN Privado : M\$ 746.920 = US\$ 1.780.076$$

$$VAN Social : M\$ 610.243 = US\$ 1.454.345$$

Otra forma de evaluar este proyecto consiste en determinar cuál sería el valor mínimo del daño evitado promedio que lo haría ser rentable, dado que éste es el supuesto básico detrás del cálculo anterior. Siguiendo este procedimiento, se determinó que el proyecto sería rentable con un daño evitado promedio por casa de al menos \$ 32.747 (Privado) y \$ 37.981 (Social).

A N E X O S



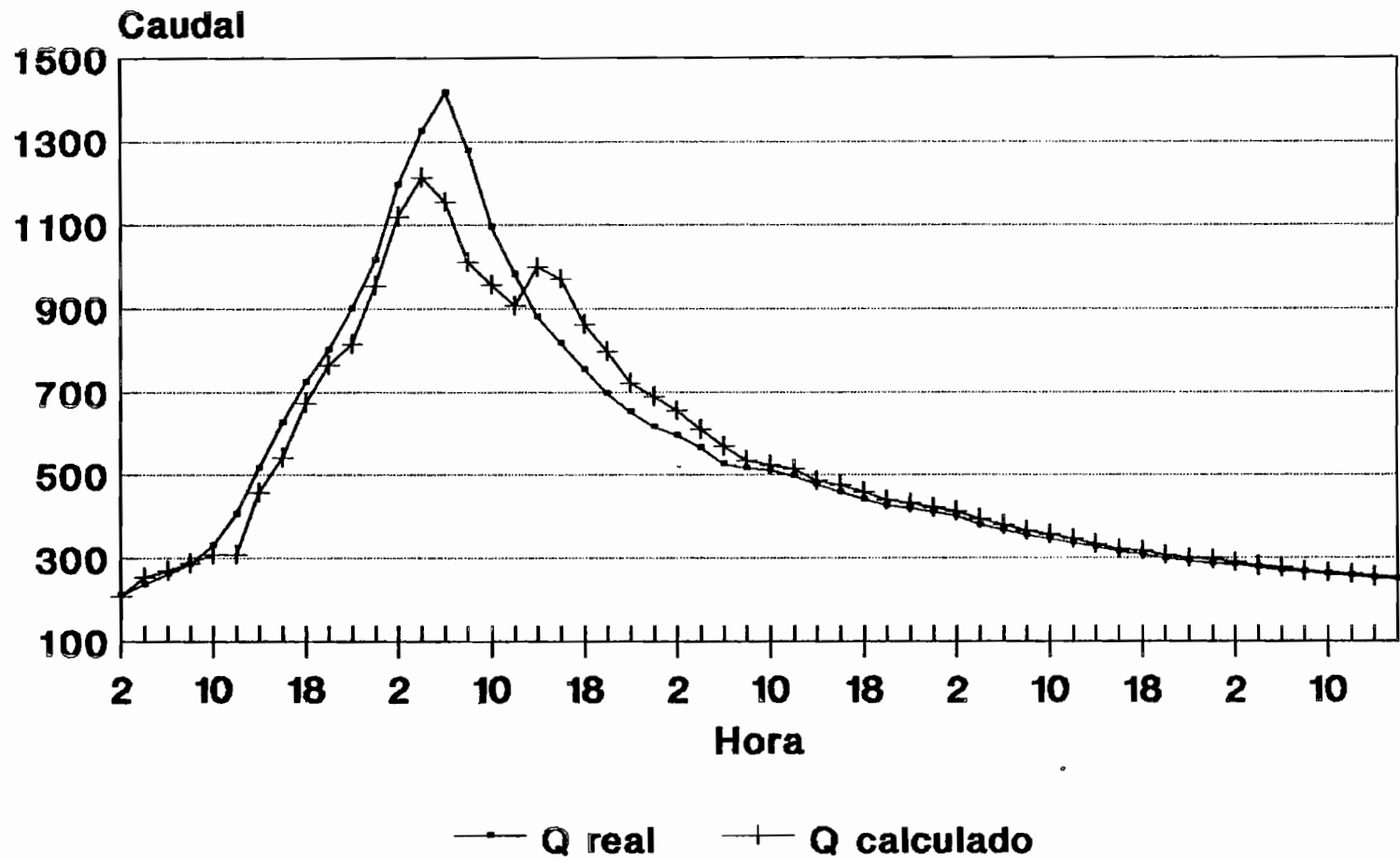
**ANEXO N° 1**

**GRAFICOS DE VERIFICACION**

**DE RELACIONES DE PRONOSTICO**

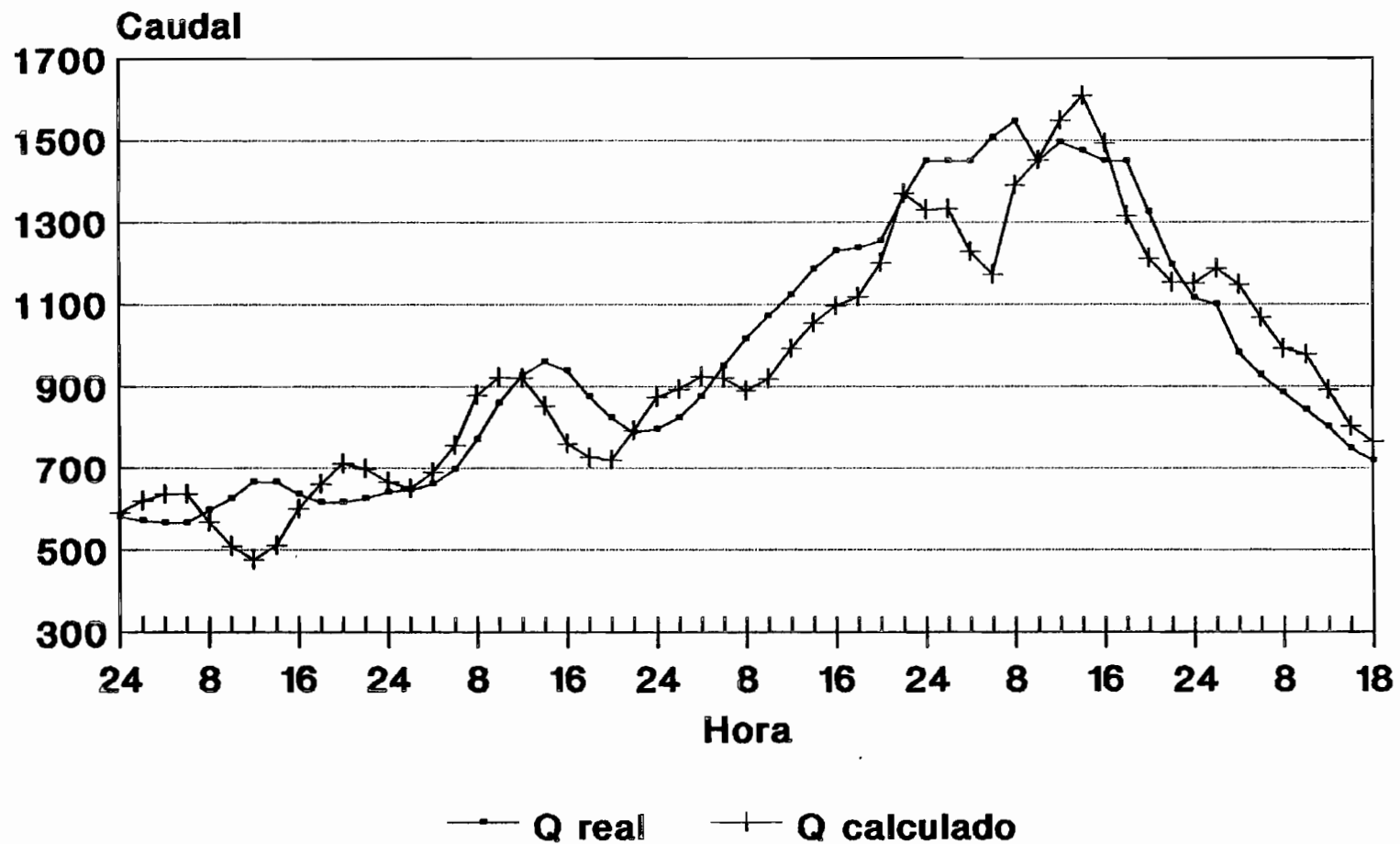
# CAUTIN EN CAJON

## CRECIDA 24/06/89 AL 07/07/89



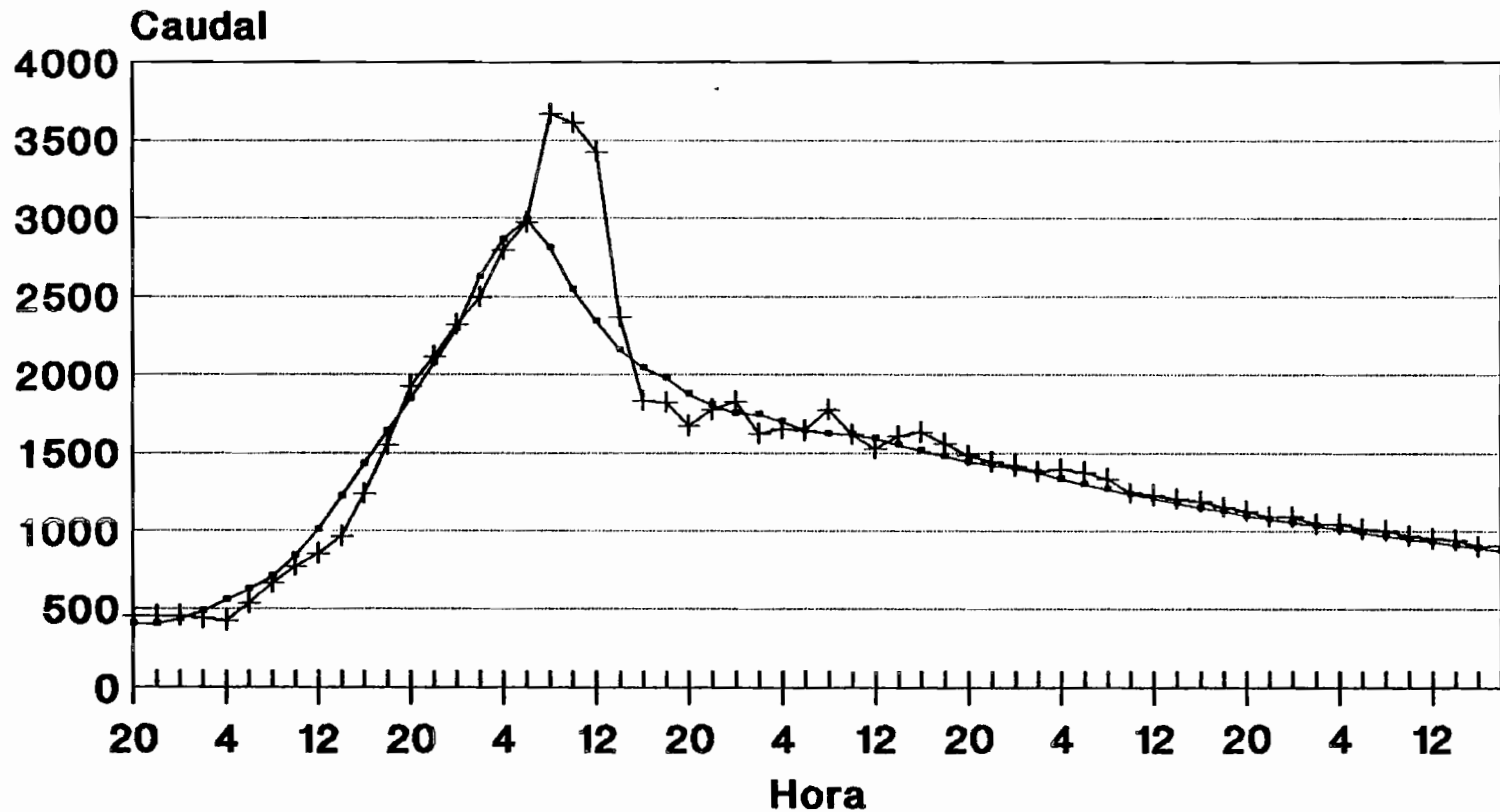
# CAUTIN EN CAJON

## CRECIDA 24/05/91 AL 06/06/91



# IMPERIAL EN CARAHUE

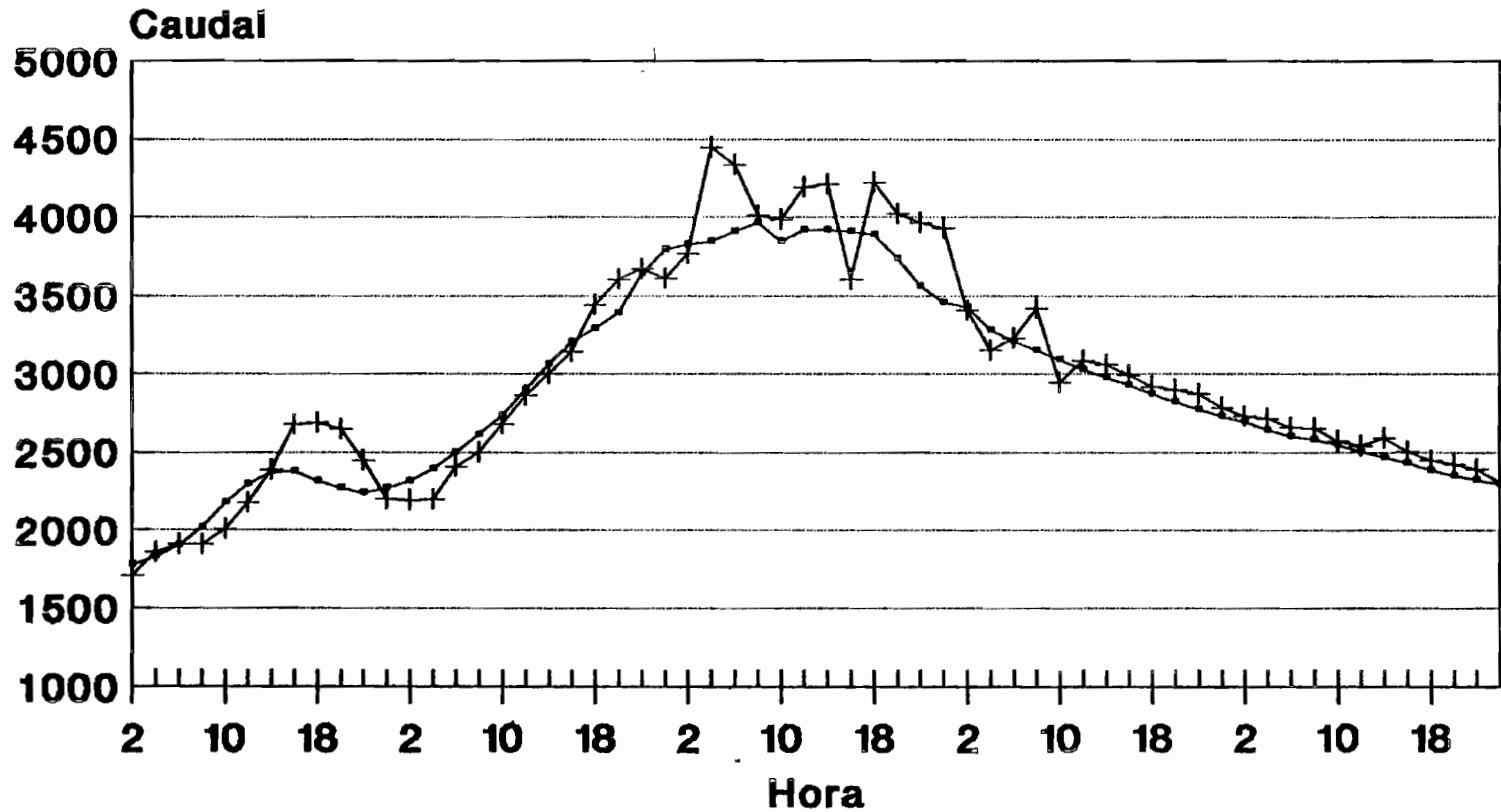
## CRECIDA 24/06/89 AL 07/07/89



—●— Q real    —+— Q calculado

# IMPERIAL EN CARAHUE

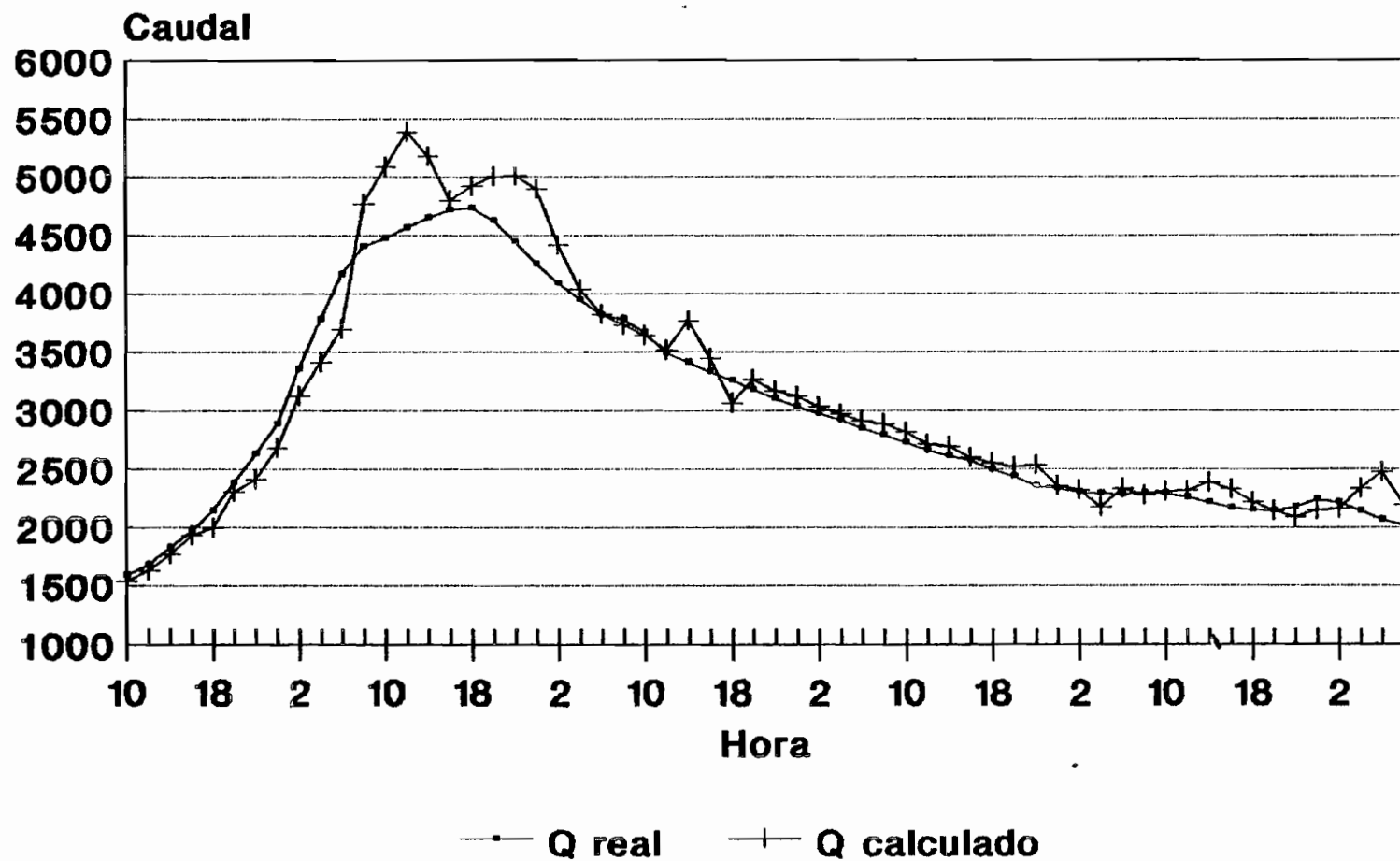
## CRECIDA 20/05/91 AL 31/05/91



—●— Q real    —+— Q calculado

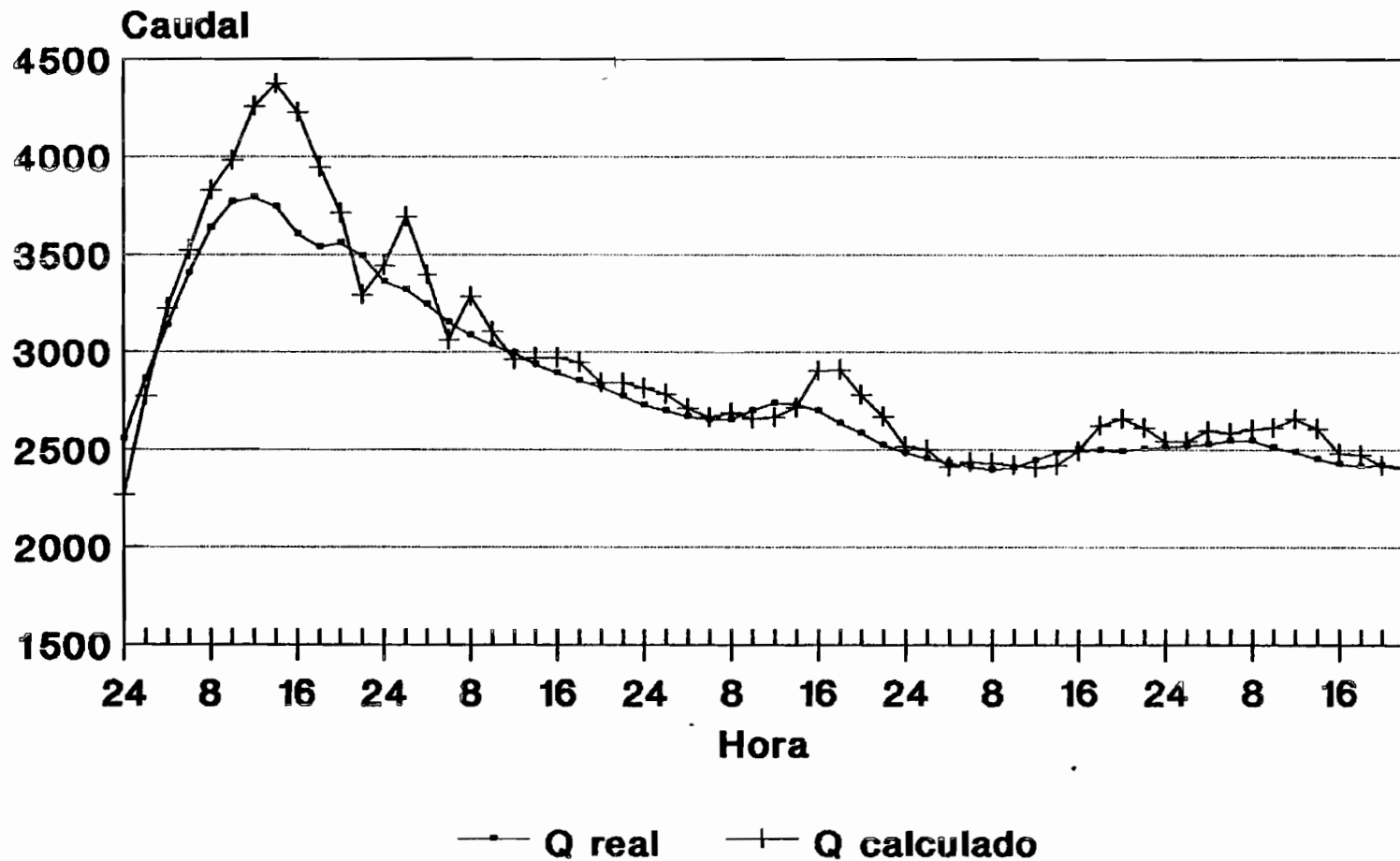
# IMPERIAL EN CARAHUE

## CRECIDA 11/05/93 AL 23/05/93



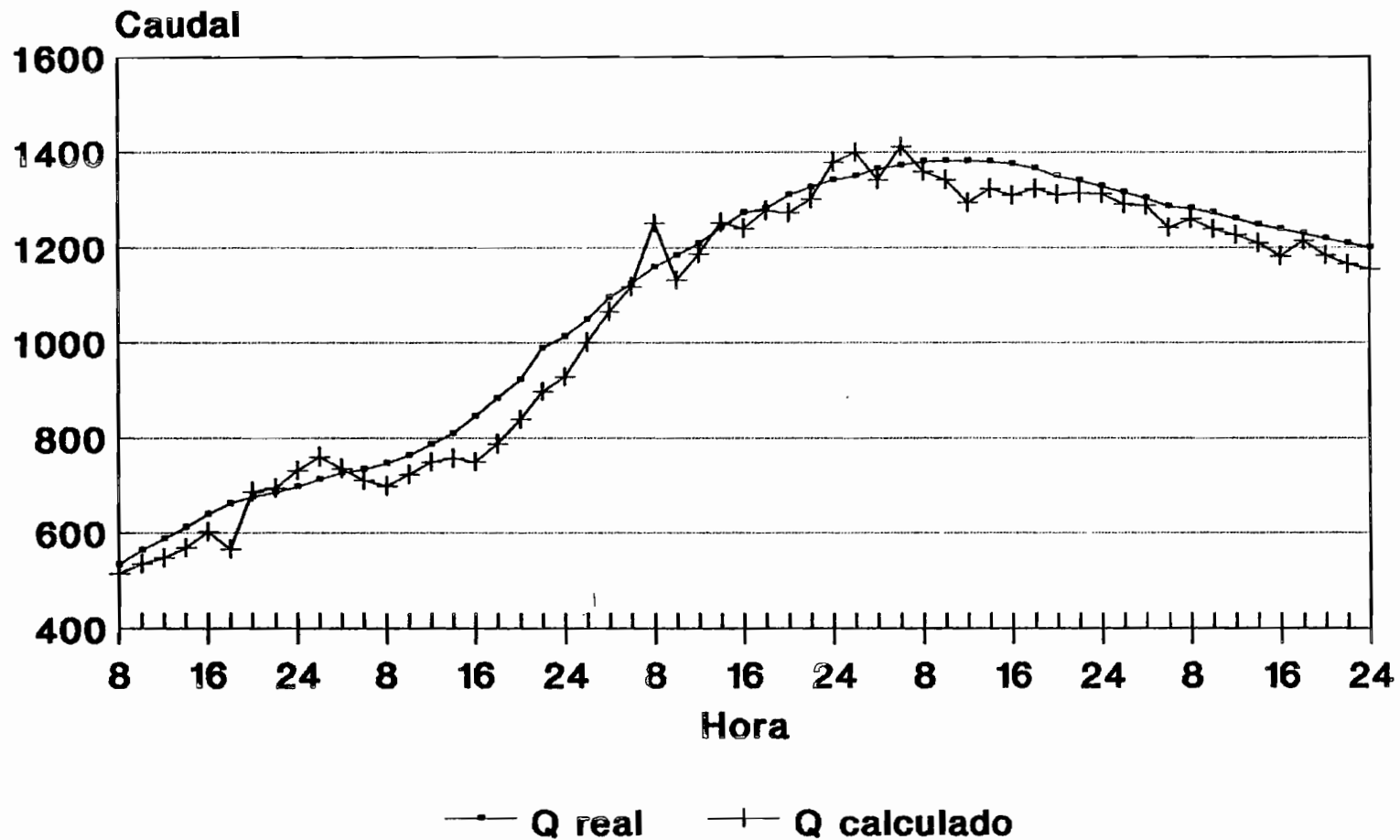
# IMPERIAL EN CARAHUE

## CRECIDA 22/06/93 AL 06/07/93



# CHOL-CHOL EN CHOL-CHOL

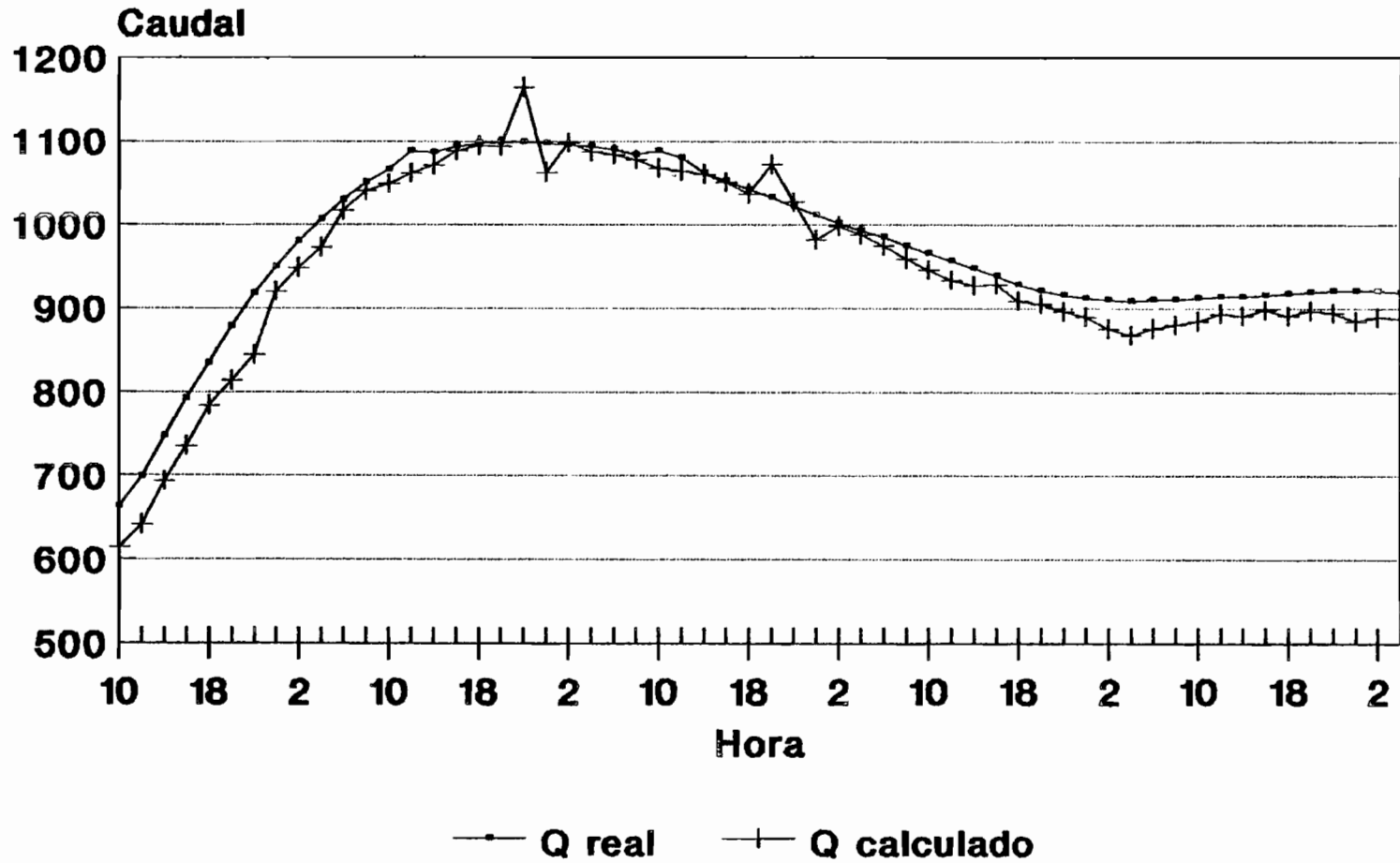
## CRECIDA 20/05/91 AL 31/05/91





# CHOL-CHOL EN CHOL-CHOL

## CRECIDA 22/06/93 AL 07/07/93



**ANEXO N° 2**

**DETALLE DE EQUIPAMIENTO**

El equipamiento necesario de cada estación, es el siguiente:

**LUMACO EN LUMACO**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**CHUFQUEN EN CHUFQUEN**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**CHOL-CHOL EN CHOL-CHOL**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**QUEPE EN QUEPE**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**CAUTIN EN CAJON**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**CAUTIN EN RARI-RUCA**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

(\*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo proyecto GC5-7.

**PUEBLO NUEVO**

CANTIDAD	DETALLE
1	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)
1	Sensor de precipitación Marca Handar Modelo 444A precisión 0,1% (*)
2	Batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031
1	Antena satelital Marca Handar Modelo 443A

**CENTRO DE OPERACION**

**CENTRO DE OPERACION (DGA - SANTIAGO)**

CANTIDAD	DETALLE
1	Sistema de recepción satelital Marca VITEL Modelo GR 3000
1	Computador Pentium 75 MHZ, Disco Duro 840 MB, 8 MB-RAM, UVGA .28, Fax/Modem 14,4 Kbaudios
1	Impresora chorro de tinta 200 cps, con alimentador automático de hojas
1	UPS para PC con autonomía de 12 horas
2	Respaldo de batería 12 V-17 Amp/Hr
1	Software de Alerta de Crecidas

Notas:

- Se considera, de acuerdo con la I.T.O., el 50% del costo de los equipos del centro de operaciones en el proyecto de Alerta de Crecidas de Imperial y el 50% en el proyecto de Alerta de Crecidas de Aconcagua.
- El proveedor del sistema de recepción satelital deberá garantizar que sus equipos funcionarán sin interferencias.

**ANEXO N° 3**

**ANALISIS DE COSTOS**

## I.- COSTOS DE INVERSION

CANTIDAD	DETALLE	PRECIO UNITARIO US\$/Un	PRECIO TOTAL US\$
1	Sistema de recepción satelital Marca VITEL Modelo GR 3000 (**)	59.200	29.600
7	Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*)	3.840	3.840
6	Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*)	1.920	-
1	Sensor de precipitación Marca Handar Modelo 444A	1.320	1.320
16	Batería 12 V-17 Amp/Hr	180	2.880
7	Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031	3.936	27.552
7	Antena satelital marca Handar modelo 443A x YAGI/10 DBgain	928	6.496
1	Computador Pentium 75 MHZ, Disco Duro 840 MB, 8 MB-RAM, UVGA .28, Fax/Modem 14,4 Kbaudios	2.280	1.140
1	Impresora chorro de tinta 200 cps, con alimentador automático de hojas	360	180
1	UPS para PC con 12 Hrs de autonomía	1.613	806
1	Software de Alerta de Crecidas	6.000	6.000
-	Instalación (30%)	-	23.944
Sub-total			103.758
18% de I.V.A.			18.676
Total Inversión			122.434

(\*): Se han excluido equipos que forman parte de Proyecto GC5-7, pero no se han sumado sus costos.

(\*\*): Se considera, de acuerdo con la I.T.O., un 50% del costo en Imperial y un 50% del costo en Aconcagua.

## II.- COSTOS DE OPERACION Y MANTENCION

### II.1.- Operación del Sistema

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	
			UNITARIO US\$	TOTAL US\$/AÑO
Promedio de días activados al año=12	Hombre-día/año	36	80	2.880
Gastos generales y directos	G1	1	1.500	1.500
TOTAL				4.380

**II.2.- Mantención del Sistema**

DESCRIPCION	COSTO US\$
Se considera una mantención del sistema de un 5% del costo de los equipos al año	5.188

**II.3.- Resumen**

II.1.- OPERACION DEL SISTEMA	4.380
II.2.- MANTENCION DEL SISTEMA	5.188
TOTAL OPERACION Y MANTENCION (US\$/AÑO)	9.568



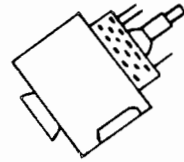
**ANEXO N° 4**

**ESQUEMA GENERAL**

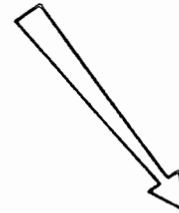
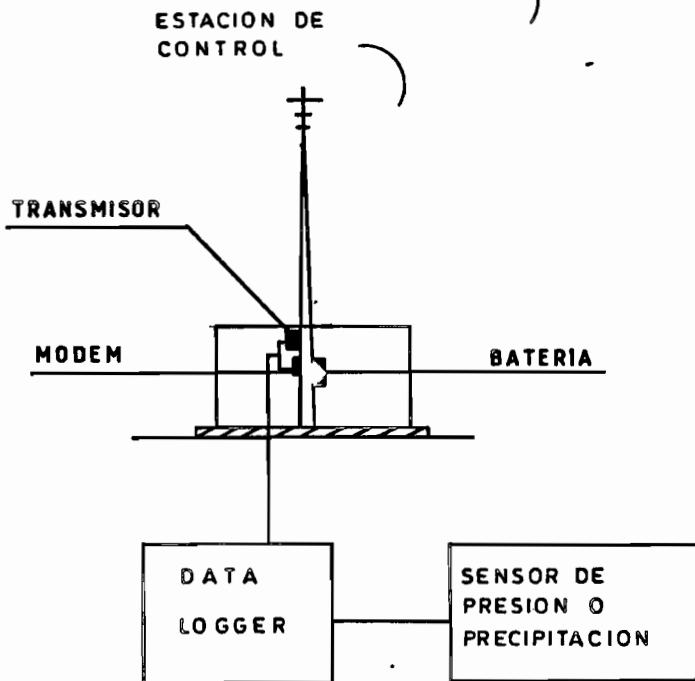
**DEL SISTEMA DE ALERTA**

**ESQUEMA INSTALACION EQUIPOS AUTOMATICOS  
SISTEMA ALERTA DE CRECIDAS  
CUENCA IMPERIAL**

SATELITE  
GEOESTACIONARIO



ESQUEMA ESTACIONES	
LUMACO EN LUMACO	FLUVIOMETRICA
CHUFQUEN EN CHUFQUEN	FLUVIOMETRICA
QUEPE EN QUEPE	FLUVIOMETRICA
CHOLCHOL EN CHOLCHOL	FLUVIOMETRICA
CAUTIN EN CAJON	FLUVIOMETRICA
CAUTIN EN RARI RUCA	FLUVIOMETRICA
PUEBLO NUEVO	PLUVIOMETRICA



ANTENA RECEPTORA



CENTRO DE OPERACION

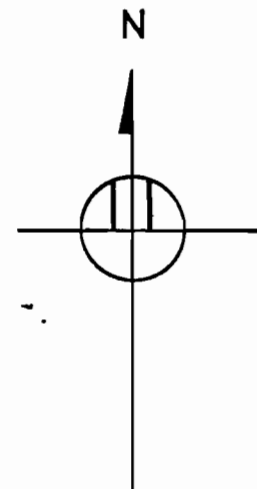


TEMUCO  
D. G.A.

**ANEXO N° 5**

**ESQUEMA DE SECTORES AMAGADOS**

**Y ESTACIONES DE CONTROL**

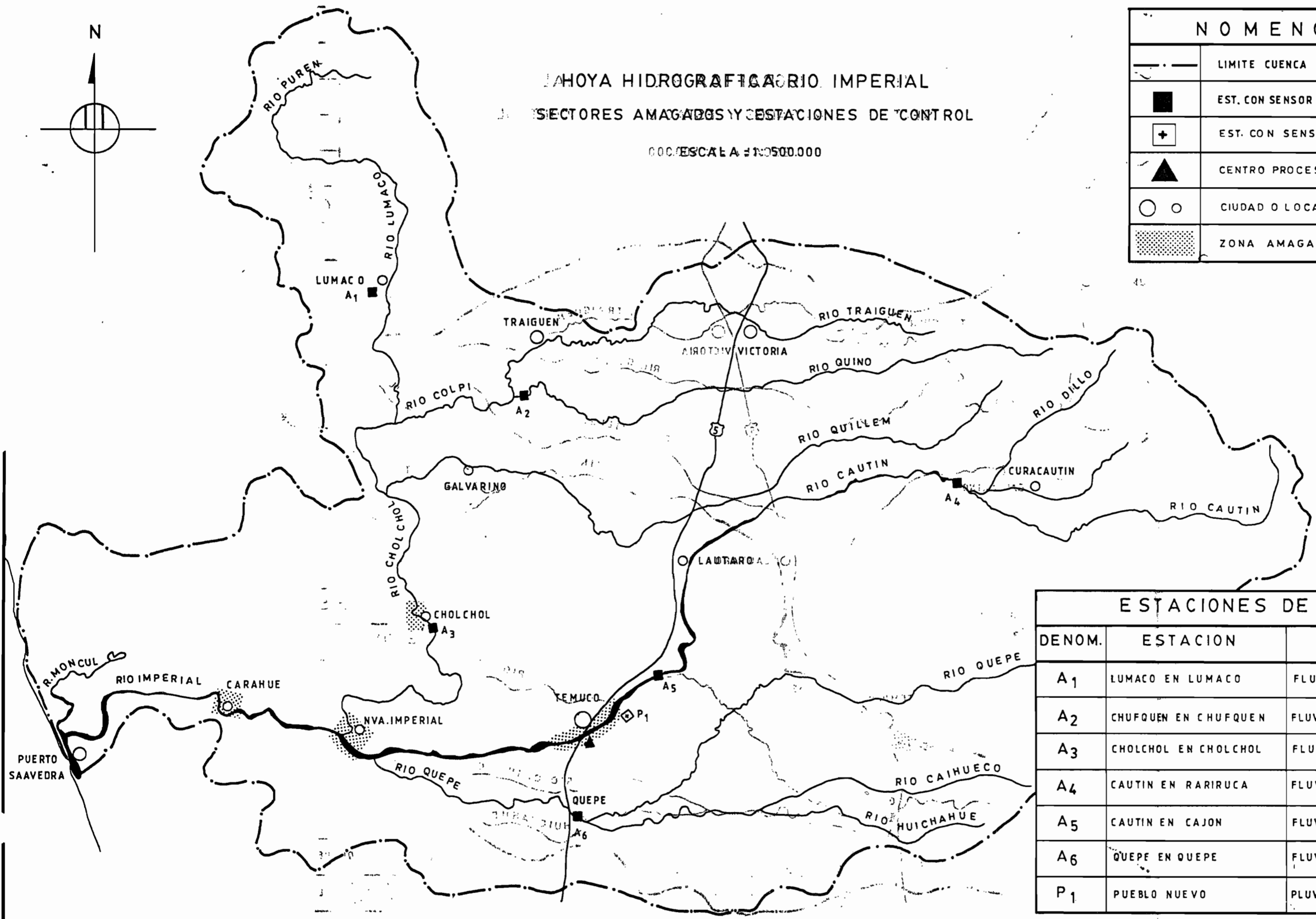


# LAHOYA HIDROGRAFICA RIO IMPERIAL

## SECTORES AMAGADOS Y ESTACIONES DE CONTROL

000/ESCALA 1:2500.000

NOMENCLATURA	
	LIMITE CUENCA
	EST. CON SENSOR FLUVIOMETRICO
	EST. CON SENSOR PLUVIOMETRICO
	CENTRO PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION
	CIUDAD O LOCALIDAD
	ZONA AMAGADA



ESTACIONES DE CONTROL			
DENOM.	ESTACION	TIPO	MODALIDAD
A1	LUMACO EN LUMACO	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A2	CHUFQUEN EN CHUFQUEN	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A3	CHOLCHOL EN CHOLCHOL	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A4	CAUTIN EN RARIRUCA	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A5	CAUTIN EN CAJON	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
A6	QUEPE EN QUEPE	FLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA
P1	PUEBLO NUEVO	PLUVIOMETRICA	RADIO AUTOMATICA

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00000 9803