MAN-2404
c.1

# 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 CC2-22

### CUENCA RIO ACONCAGUA-MARGA MARGA

Diciembre de 1995

INFOR
INSTITUTO FORESTAL

EN ASOCIACION CON

DHV CONSULTANTS

INGENIEROS ICSA CONSULTORES

bf ingenieros civiles

**PROYECTO ALERTA DE CRECIDAS**

**CUENCA RIO ACONCAGUA**

# 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..... 9

4.4.- Sistema operativo..... 12

4.5.- Factibilidad del Proyecto..... 14

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 del río Aconcagua inundan sectores poblados de San Felipe, La Calera y Quillota, produciendo pérdidas de vidas humanas, pérdidas de 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 medidas de costo reducido y que han mostrado su eficacia en otros países, están los sistemas de alertas de crecidas.

En la etapa de prefactibilidad del presente estudio se analizó y confirmó la factibilidad técnico-económica de implementar un sistema de alerta de crecidas en la cuenca del Aconcagua, destinado a proteger a la población ribereña de las ciudades de San Felipe, La Calera y Quillota.

Estos sistemas, consistentes en una combinación de equipamiento electromecánico y el trabajo de personal entrenado, permiten, mediante la 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, reduciendo las pérdidas de vidas humanas, la pérdida de enseres y protegiendo la salud de las personas.

De acuerdo a lo detallado más adelante, la inversión de este sistema, para la cuenca del río Aconcagua, asciende a US$ 80.378; por otra parte los costos de mantención y operación del sistema, se han estimado en US$ 3.406 y US$ 1.720 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 produce el río Aconcagua en los sectores poblados de las localidades de San Felipe, La Calera y Quillota, 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 (100 años) 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 a 100 años.

En cuanto a los beneficiarios de este sistema, éstos se han estimado del orden de 4.000 personas, las cuales podrán ser protegidas o evacuadas, estimándose en M$ 300 por casa, la disminución de los daños con un beneficio total anual esperado de M$ 17.622.

## 3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

En consideración al problema planteado, la solución identificada es contar con un sistema que permita predecir y alertar a la población, posibilitando tomar medidas apropiadas, las que podrían llegar a la evacuación de los habitantes de las zonas amagadas 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 y el impacto psicológico sobre las personas.

El objetivo general del proyecto es permitir la predicción con una antelación de 4 horas, de las crecidas del río Aconcagua en San Felipe y con 12 horas en el sector de La Calera-Quillota, lo que permitirá 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 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 menores 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 adecuadas 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 de control existentes en la cuenca; estas estaciones corresponden a:

- Estaciones Fluviométricas

  * Aconcagua en Chacabuquito
  * Aconcagua en San Felipe

- Estaciones Pluviométricas

  * San Felipe (Escuela Agrícola)
  * Quillota

En estos puntos se leerá el nivel del río o la lluvia acumulada periódicamente y será transmitido al centro de operaciones ubicado en Quillota, lugar donde será procesado computacionalmente para determinar con anticipación los caudales en San Felipe, La Calera y Quillota.

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 Aconcagua, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas contrató a la consultora bf (Brown y Ferrer) el año 1987 para desarrollar un estudio denominado "Investigación de un Sistema de Alerta de Crecidas Fluviales", estudio en el cual en su tercera etapa se aborda las regiones V y Metropolitana, que desarrolla estos sistemas para las cuencas del río Aconcagua y río Maipo/Mapocho.

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

En este acápite se procede a revisar el análisis hidráulico de los puntos en que se requiere establecer el sistema de alerta de crecidas, revisando 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 de San Felipe, La Calera y Quillota. 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 ha diseñado obras con un período de retorno de 100 años. Se ha optado por lo tanto en mantener como definitivos los puntos amagados en los sectores indicados.

### 4.2.2.- Puntos de Control

Entre un total de 4 estaciones analizadas aguas arriba de Los Andes se seleccionó Aconcagua en Chacabuquito, debido a la calidad de sus registros y

que desde su ubicación se controla un 88% de la cuenca aportante. Cabe destacar que esta estación tiene registros bastante completos, lo que facilita el desarrollo de los modelos de predicción de crecidas.

En cuanto a estaciones pluviométricas se seleccionó la estación de Liceo Agrícola San Felipe la cual funciona desde 1972 y cuyos registros son de buena calidad. Esta precipitación es de importancia en la evaluación de caudales ya que corresponde a la precipitación en la cuenca aportante entre Chacabuquito y San Felipe.

### 4.2.3.- Relaciones de Pronóstico

#### 4.2.3.1.- Aconcagua en San Felipe

De acuerdo a lo anterior, para la predicción de crecidas en San Felipe se seleccionaron las estaciones de Aconcagua en Chacabuquito y Liceo Agrícola San Felipe, lo que permitió establecer un modelo de pronóstico con 4 horas de antelación cuya ecuación es la siguiente:

$$Q_{SF}(t+4) = 0{,}59 \cdot Q_{SF}(t+2) + 1{,}48 \cdot Q_{CH}(t) - Q_{CH}(t-2) + 2{,}89 \cdot P_{SF}(t) + 0{,}49 \left[\frac{Q_{SF}(t+2) - Q_{SF}(t-2)}{2 \cdot Q_{SF}(t)}\right] \quad (1)$$

$$Q_{SF}(t+2) = 0{,}59 \cdot Q_{SF}(t) + 1{,}48 \cdot Q_{CH}(t-2) - 1 \cdot Q_{CH}(t-4) + 2{,}89 \cdot P_{SF}(t-2) + 0{,}49 \cdot \left[\frac{Q_{SF}(t) - Q_{SF}(t-4)}{2 \cdot Q_{SF}(t-2)}\right] \quad (2)$$

Donde:

$Q_{SF}(t)$: Caudal de Aconcagua en San Felipe en el instante t

$Q_{CH}(t)$: Caudal de Aconcagua en Chacabuquito en el instante t

$P_{SF}(t)$: Precipitación en San Felipe en el intervalo de 2 horas anteriores al instante t

En este sistema de ecuaciones se debe utilizar la ecuación **(2)** para determinar el $Q_{SF}(t+2)$ y posteriormente utilizando este valor se determina $Q_{SF}(t+4)$, mediante la ecuación **(1)**.

Por otra parte en el estudio de bf se determinó que la pre-alerta, para comenzar a operar el sistema, se debe activar cuando la precipitación acumulada supera los 30 mm en 24 horas o los 60 mm en 48 horas, medidos en la estación de San Felipe.

Por otra parte, dado que en el proyecto de Manejo de Cuencas se incluyen obras de defensas fluviales en San Felipe, se han determinado 2 caudales umbrales de alerta, uno válido en forma previa a la construcción de las defensas que alcanza a 380 m3/seg y un segundo caudal válido a partir de la fecha de terminación de la construcción de las obras de defensas en este sector, que alcanza a 500 m3/seg.

Para la calibración y establecimiento del modelo se utilizaron, en el estudio de bf, las siguientes crecidas:

| FECHA | ETAPA |
|---|---|
| 09-12/AGO/65 | Validación |
| 14-17/AGO/65 | Validación |
| 20-25/JUL/77 | Validación |
| 01-06/JUL/84 | Validación |
| 15-19/JUN/86 | Validación |
| 13-17/JUL/87 | Calibración |
| 11-18/AGO/87 | Validación |

A objeto de verificar las relaciones de pronósticos, se analizaron las crecidas posteriores a la de agosto de 1987, determinándose que sólo se ha registrado en forma simultánea en las estaciones de los puntos de control la crecida de mayo de 1993. Sin embargo, en esta crecida se dañaron las instalaciones de Aconcagua en Chacabuquito obteniéndose un registro incompleto de la misma en dicha estación, lo que permitió sólo una verificación parcial de la validez del modelo para dicha crecida, la que mostró un buen ajuste. Dicha verificación se presenta en el gráfico que se incluye en el Anexo N°1.

De acuerdo a lo anterior, se optó por aceptar las ecuaciones antes descritas como totalmente válidas, las que deberán ser implementadas computacionalmente como parte de la puesta en práctica del sistema.

### 4.2.3.2.- Aconcagua en Sector La Calera - Quillota

Al igual que para San Felipe, se seleccionó la estación fluviométrica Aconcagua en Chacabuquito, agregándose la estación fluviométrica Aconcagua en Romeral, que posee registros entre 1962 y 1978 año en que fue suprimida. De las estaciones pluviométricas se seleccionó la de Quillota.

En base a la información antes señalada se logró establecer un modelo de pronóstico recursivo cuyas ecuaciones son las siguientes:

$$Q_{AR}(t+2) = 0{,}58 \cdot Q_{AR}(t) + 0{,}21 \cdot Q_{AR}(t-2) + 2{,}57 \cdot Q_{CH}(t-8) - 2{,}17 \cdot Q_{CH}(t-10) + 6{,}89 \cdot P_Q(t-10) + 1{,}76 \cdot P_Q(t-12) + 8{,}89 \left[\frac{Q_{AR}(t) - Q_{AR}(t-4)}{2 \cdot Q_{AR}(t-2)}\right] \quad (3)$$

$$Q_{CQ}(t+2) = (1 + Pa) \cdot 0{,}153 \cdot Q_{CQ}(t) + (1 + Pa) \cdot 0{,}453 \cdot Q_{AR}(t) + 0{,}35 \cdot Q_{AR}(t+2) \quad (4)$$

Donde:

$Pa : 0{,}0075 \sum_{i=1}^{6} Pi$ (Precipitación acumulada en 6 días de la tormenta)

$Q_{CQ}(t)$: Caudal río Aconcagua en La Calera-Quillota en el instante t

$Q_{AR}(t)$: Caudal río Aconcagua en Romeral en el instante t

$Q_{CH}(t)$: Caudal río Aconcagua en Chacabuquito en el instante t

$P_Q(t)$ : Precipitación en Quillota en el intervalo de 2 hr anteriores al instante t

La ecuación **(3)** permite calcular el caudal de Aconcagua en Romeral con 10 hr de adelanto con respecto

a la precipitación medida en Quillota (en un intervalo de 2 hr); la ecuación **(4)** permite calcular el caudal en La Calera - Quillota con 2 hr de anticipación con respecto al caudal calculado en Aconcagua en Romeral. Por lo tanto, el caudal de Aconcagua en La Calera - Quillota puede estimarse con un tiempo de antelación de 12 hr con respecto al caudal de Aconcagua en Chacabuquito y 14 hr con respecto a la precipitación en Quillota.

Dado que la estación de Aconcagua en Romeral está suprimida, el caudal de dicha estación $Q_{AR}(t+2)$ debe estimarse utilizando la ecuación **(3)**, lo que se hace en forma recursiva, tomando como base un valor predeterminado; el resultado tiende a un valor válido al cabo de aproximadamente 10 iteraciones.

En cuanto a los valores umbrales, al igual que para San Felipe, la pre-alerta para comenzar a operar el sistema debe activarse para una precipitación acumulada mayor que 30 mm en 24 horas o 60 mm en 48 horas, medidos en la estación de San Felipe.

Al igual que en el caso anterior, dado que en el proyecto de Manejo de Cuencas, se incluyen obras de defensas fluviales en La Calera y Quillota, se han determinado 2 caudales umbrales de alerta, uno válido en forma previa a la construcción de las defensas que alcanza a 900 m3/s y un segundo caudal, válido a partir de la fecha de terminación de la construcción de las obras de defensas en este sector, que alcanza a 1.800 m3/s.

En el cuadro siguiente se presentan las crecidas utilizadas para la validación y calibración del modelo, en el estudio de bf:

| FECHA | ETAPA |
|---|---|
| 08-12/JUN/72 | Validación |
| 28/JUN-01/JUL/72 | Validación |
| 20-25/JUL/86 | Calibración |

A objeto de verificar las relaciones de pronóstico, se analizaron las crecidas posteriores a la de agosto de 1987, determinándose que no se han registrado en forma simultánea en las estaciones de los puntos de control nuevas crecidas, por lo que no fue posible realizar validaciones adicionales.

Basado en la información de que se dispone, al igual que en el caso de las ecuaciones de predicción de

San Felipe se optó por aceptar como plenamente válidas las ecuaciones derivadas en el estudio de bf para prever el caudal de La Calera y Quillota, las que se deberán implementar como parte del sistema de alerta de crecidas de la cuenca del río Aconcagua.

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, Descripción y Selección 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 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 Aconcagua, ha sido concebido considerando la operación de las estaciones siguientes:

- Estaciones Fluviométricas:

  Aconcagua en Chacabuquito : Radio Automática

  Aconcagua en San Felipe : Radio Automática

- Estaciones Pluviométricas:

  Quillota : Radio Automática (DGA - Quillota)

  Aconcagua en San Felipe : Radio Automática

En el Anexo N°2 se presenta el detalle de los equipos que se instalarán en cada una de las estaciones, de acuerdo al esquema general que se entrega en el Anexo N°4. Por otra parte, en el Anexo N°3, 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$ 80.378, valor que incluye el impuesto al valor agregado IVA.

## 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 24 y 48 horas en las estaciones de control del sistema. En esta cuenca dicha precipitación no deberá superar los 30 mm y 60 mm, medidos en la estación de San Felipe.

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:

- Aconcagua en San Felipe : 4 horas de anticipación

- La Calera-Quillota : 12 horas de anticipación

En cuanto a la base de operaciones, se ha considerado de acuerdo 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.

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

| ESTACION | | m3/s |
|---|---|---|
| San Felipe | Sin defensas<br>Con defensas | 380<br>500 |
| La Calera-Quillota | Sin defensas<br>Con defensas | 900<br>1.800 |

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 automáticos, 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 | 80.378 | 100% | 0% | 1,060 | 85.201 |
| Costos Anuales | | | | | |
| Operación Anual | 1.720 | | 100% | 1,000 | 1.720 |
| Mantención Anual | 3.406 | 50% | 50% | 1,030 | 3.508 |
| Total Costos Anuales | 5.126 | | | | 5.228 |

### Beneficios Anuales

Para un período de retorno de 25 años, se ha estimado en las evaluaciones sociales de los proyectos de defensas fluviales de La Calera, Quillota y San Felipe un

total de 979 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$ 146.850 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 = 0,12 Bc = M$ 17.622 = US$ 41.998

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

VAN Privado : M$ 120.988 = US$ 288.342

VAN Social : M$ 92.822 = US$ 211.216

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 $ 94.034 (Privado) y $ 110.380 (Social).

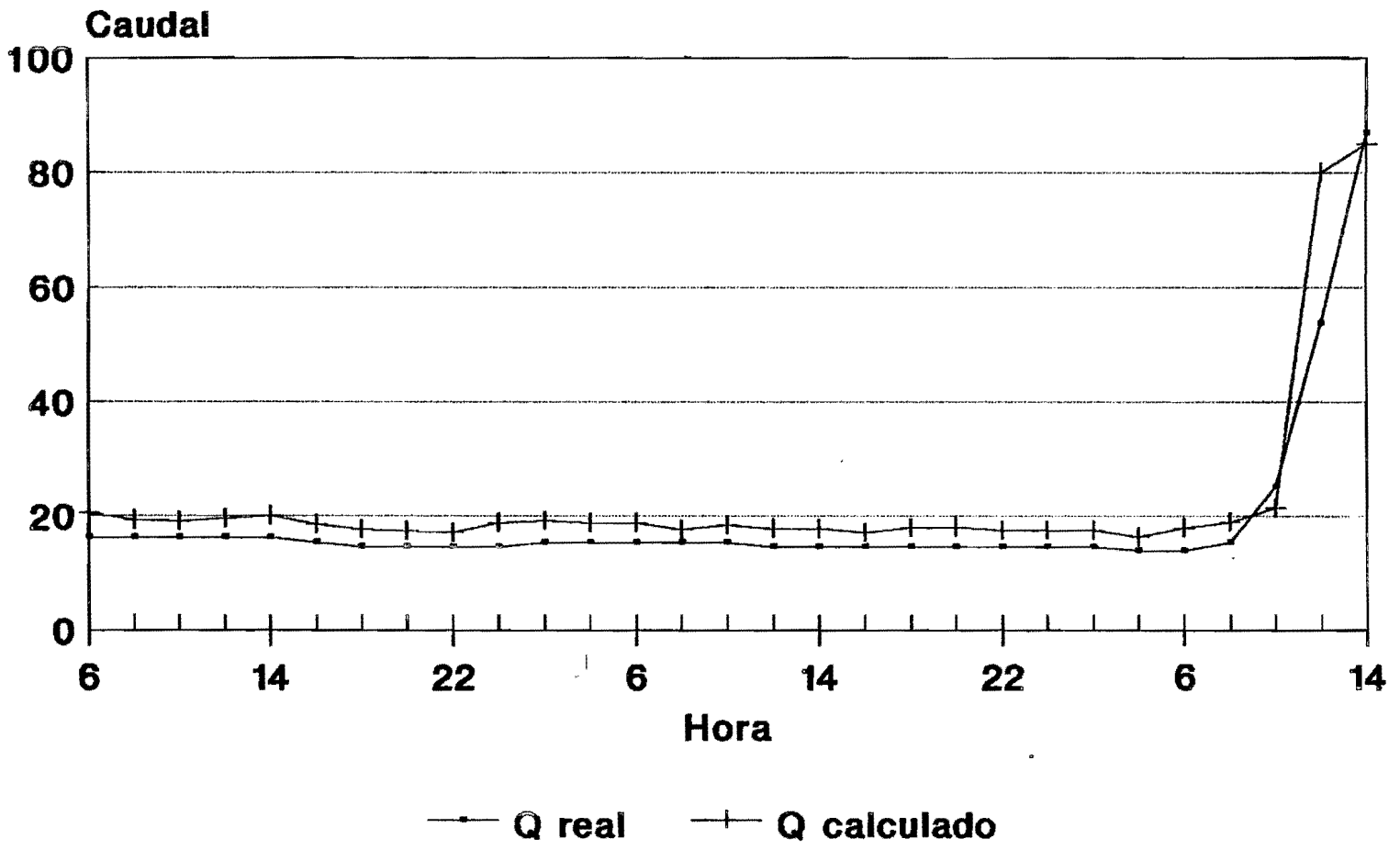
# A N E X O S

# ANEXO N°1

# GRAFICO DE VERIFICACION

# DE RELACIONES DE PRONOSTICO

# ACONCAGUA EN SAN FELIPE
## CRECIDA 01/05/93 AL 03/05/93



# ANEXO N°2

# DETALLE DE EQUIPAMIENTO

El equipamiento necesario de cada estación, es el siguiente:

**ACONCAGUA EN CHACABUQUITO (FLUVIOMETRICA)**

| 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 Proy. GC2-11

**ACONCAGUA EN SAN FELIPE (FLUVIOMETRICA)**

| 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 Proy. GC2-11

**ACONCAGUA EN SAN FELIPE (PLUVIOMETRICA)**

| 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 |

(*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo Proy. GC2-11

## ACONCAGUA EN QUILLOTA (PLUVIOMETRICA)

| 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 |

(*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo Proy. GC2-11

## 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 |
| 1 | Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*) | 3.840 | - |
| 2 | Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*) | 1.920 | - |
| 2 | Sensor de precipitación Marca Handar Modelo 444A | 1.072 | - |
| 7 | Batería 12 V-17 Amp/Hr | 180 | 1.260 |
| 3 | Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031 | 3.936 | 11.808 |
| 3 | Antena satelital marca Handar modelo 443A x YAGI/10 DBgain | 928 | 2.784 |
| 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 | 4.800 | 4.800 |
| - | Instalación (30%) | - | 15.739 |
| Sub-total | | | 68.117 |
| 18% de I.V.A. | | | 12.261 |
| Total Inversión | | | 80.378 |

(*): Se han excluido equipos que forman parte de Proyecto GC2-11, 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 = 3 | Hombre-día/año | 9 | 80 | 720 |
| Gastos generales y directos | Gl | 1 | 1.000 | 1.000 |
| TOTAL | | | | 1.720 |

## II.2.- Mantención del Sistema

| DESCRIPCION | COSTO US$ |
|---|---|
| Se considera una mantención del sistema de un 5% del costo de los equipos al año | 3.406 |

## II.3.- Resumen

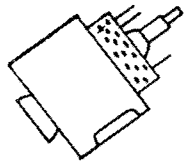
| | |
|---|---|
| II.1.- OPERACION DEL SISTEMA | 1.720 |
| II.2.- MANTENCION DEL SISTEMA | 3.406 |
| TOTAL OPERACION Y MANTENCION (US$/AÑO) | 5.126 |

# ANEXO N°4

# ESQUEMA GENERAL

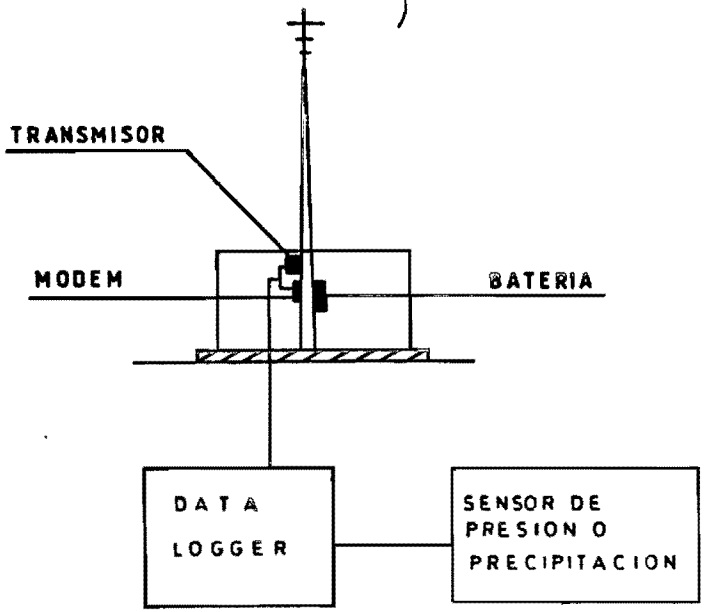
# DEL SISTEMA DE ALERTA

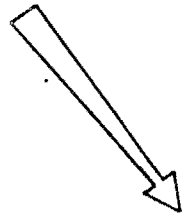
# ESQUEMA INSTALACION EQUIPOS AUTOMATICOS
## SISTEMA ALERTA DE CRECIDAS
## CUENCA ACONCAGUA

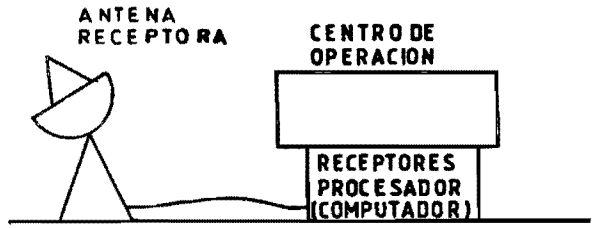


SATELITE
GEOESTACIONARIO

| ESQUEMA ESTACIONES | |
|---|---|
| ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | FLUVIOMETRICA |
| ACONCAGUA EN SAN FELIPE | FLUVIOMETRICA |
| SAN FELIPE (ESCUELA AGRICOLA) | PLUVIOMETRICA |






QUILLOTA
D.G.A.

# ANEXO N°5

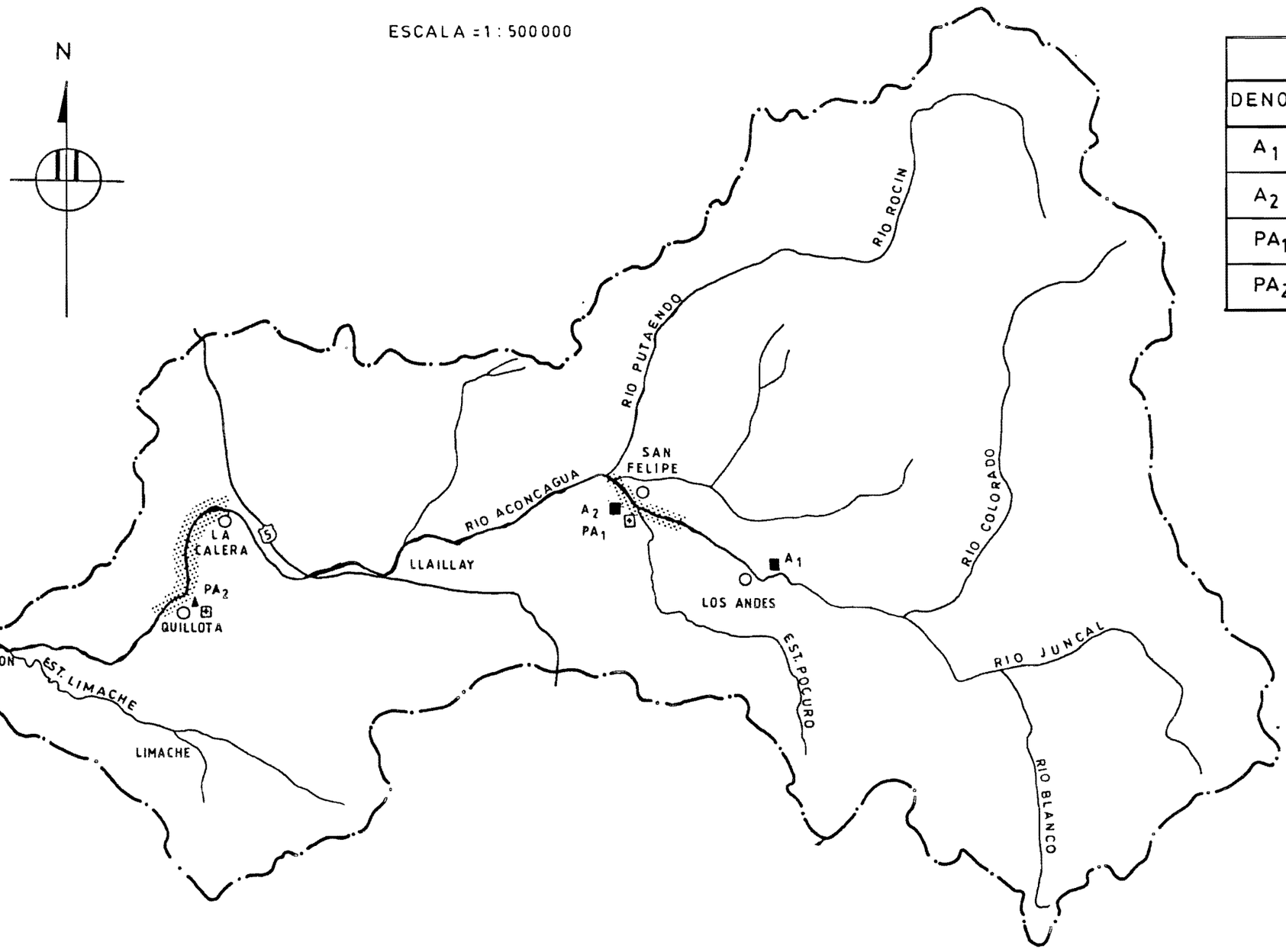
# ESQUEMA DE SECTORES AMAGADOS

# Y ESTACIONES DE CONTROL

# HOYA HIDROGRAFICA RIO ACONCAGUA

## SECTORES AMAGADOS Y ESTACIONES DE CONTROL

ESCALA = 1 : 500000




| ESTACIONES DE CONTROL | | | |
|---|---|---|---|
| DENOM. | ESTACION | TIPO | MODALIDAD |
| $A_1$ | ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | FLUVIOMETRICA | RADIO AUTOMATICA |
| $A_2$ | ACONCAGUA EN SAN FELIPE | FLUVIOMETRICA | RADIO AUTOMATICA |
| $PA_1$ | SAN FELIPE (ESCUELA AGRICOLA) | PLUVIOMETRICA | RADIO AUTOMATICA |
| $PA_2$ | QUILLOTA (DGA) | PLUVIOMETRICA | RADIO AUTOMATICA |

| NOMENCLATURA | |
|---|---|
| —·— | LIMITE CUENCA |
| | EST. CON SENSOR FLUVIOMETRICO |
| + | EST CON SENSOR PLUVIOMETRICO |
| | CENTRO PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION |
| | CIUDAD O LOCALIDAD |
| | ZONA AMAGADA |

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 CC2-22

### CUENCA RIO ACONCAGUA-MARGA MARGA

Diciembre de 1995


INFOR
INSTITUTO FORESTAL

EN ASOCIACION CON

INGENIEROS ICSA CONSULTORES

**bf ingenieros civiles**

**PROYECTO ALERTA DE CRECIDAS**

**CUENCA RIO ACONCAGUA**

# 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 ..... 9

4.4.- Sistema operativo ..... 12

4.5.- Factibilidad del Proyecto ..... 14

**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 del río Aconcagua inundan sectores poblados de San Felipe, La Calera y Quillota, produciendo pérdidas de vidas humanas, pérdidas de 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 medidas de costo reducido y que han mostrado su eficacia en otros países, están los sistemas de alertas de crecidas.

En la etapa de prefactibilidad del presente estudio se analizó y confirmó la factibilidad técnico-económica de implementar un sistema de alerta de crecidas en la cuenca del Aconcagua, destinado a proteger a la población ribereña de las ciudades de San Felipe, La Calera y Quillota.

Estos sistemas, consistentes en una combinación de equipamiento electromecánico y el trabajo de personal entrenado, permiten, mediante la 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, reduciendo las pérdidas de vidas humanas, la pérdida de enseres y protegiendo la salud de las personas.

De acuerdo a lo detallado más adelante, la inversión de este sistema, para la cuenca del río Aconcagua, asciende a US$ 80.378; por otra parte los costos de mantención y operación del sistema, se han estimado en US$ 3.406 y US$ 1.720 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 produce el río Aconcagua en los sectores poblados de las localidades de San Felipe, La Calera y Quillota, 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 (100 años) 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 a 100 años.

En cuanto a los beneficiarios de este sistema, éstos se han estimado del orden de 4.000 personas, las cuales podrán ser protegidas o evacuadas, estimándose en M$ 300 por casa, la disminución de los daños con un beneficio total anual esperado de M$ 17.622.

## 3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

En consideración al problema planteado, la solución identificada es contar con un sistema que permita predecir y alertar a la población, posibilitando tomar medidas apropiadas, las que podrían llegar a la evacuación de los habitantes de las zonas amagadas 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 y el impacto psicológico sobre las personas.

El objetivo general del proyecto es permitir la predicción con una antelación de 4 horas, de las crecidas del río Aconcagua en San Felipe y con 12 horas en el sector de La Calera-Quillota, lo que permitirá 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 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 menores 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 adecuadas 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 de control existentes en la cuenca; estas estaciones corresponden a:

- Estaciones Fluviométricas

  * Aconcagua en Chacabuquito
  * Aconcagua en San Felipe

- Estaciones Pluviométricas

  * San Felipe (Escuela Agrícola)
  * Quillota

En estos puntos se leerá el nivel del río o la lluvia acumulada periódicamente y será transmitido al centro de operaciones ubicado en Quillota, lugar donde será procesado computacionalmente para determinar con anticipación los caudales en San Felipe, La Calera y Quillota.

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 Aconcagua, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas contrató a la consultora bf (Brown y Ferrer) el año 1987 para desarrollar un estudio denominado "Investigación de un Sistema de Alerta de Crecidas Fluviales", estudio en el cual en su tercera etapa se aborda las regiones V y Metropolitana, que desarrolla estos sistemas para las cuencas del río Aconcagua y río Maipo/Mapocho.

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

En este acápite se procede a revisar el análisis hidráulico de los puntos en que se requiere establecer el sistema de alerta de crecidas, revisando 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 de San Felipe, La Calera y Quillota. 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 ha diseñado obras con un período de retorno de 100 años. Se ha optado por lo tanto en mantener como definitivos los puntos amagados en los sectores indicados.

### 4.2.2.- Puntos de Control

Entre un total de 4 estaciones analizadas aguas arriba de Los Andes se seleccionó Aconcagua en Chacabuquito, debido a la calidad de sus registros y

que desde su ubicación se controla un 88% de la cuenca aportante. Cabe destacar que esta estación tiene registros bastante completos, lo que facilita el desarrollo de los modelos de predicción de crecidas.

En cuanto a estaciones pluviométricas se seleccionó la estación de Liceo Agrícola San Felipe la cual funciona desde 1972 y cuyos registros son de buena calidad. Esta precipitación es de importancia en la evaluación de caudales ya que corresponde a la precipitación en la cuenca aportante entre Chacabuquito y San Felipe.

### 4.2.3.- Relaciones de Pronóstico

#### 4.2.3.1.- Aconcagua en San Felipe

De acuerdo a lo anterior, para la predicción de crecidas en San Felipe se seleccionaron las estaciones de Aconcagua en Chacabuquito y Liceo Agrícola San Felipe, lo que permitió establecer un modelo de pronóstico con 4 horas de antelación cuya ecuación es la siguiente:

$$Q_{SF}(t+4) = 0,59 \cdot Q_{SF}(t+2) + 1,48 \cdot Q_{CH}(t) - Q_{CH}(t-2) + 2,89 \cdot P_{SF}(t) + 0,49 \left[\frac{Q_{SF}(t+2) - Q_{SF}(t-2)}{2 \cdot Q_{SF}(t)}\right] \quad (1)$$

$$Q_{SF}(t+2) = 0,59 \cdot Q_{SF}(t) + 1,48 \cdot Q_{CH}(t-2) - 1 \cdot Q_{CH}(t-4) + 2,89 \cdot P_{SF}(t-2) + 0,49 \cdot \left[\frac{Q_{SF}(t) - Q_{SF}(t-4)}{2 \cdot Q_{SF}(t-2)}\right] \quad (2)$$

Donde:

$Q_{SF}(t)$: Caudal de Aconcagua en San Felipe en el instante t

$Q_{CH}(t)$: Caudal de Aconcagua en Chacabuquito en el instante t

$P_{SF}(t)$: Precipitación en San Felipe en el intervalo de 2 horas anteriores al instante t

En este sistema de ecuaciones se debe utilizar la ecuación **(2)** para determinar el $Q_{SF}(t+2)$ y posteriormente utilizando este valor se determina $Q_{SF}(t+4)$, mediante la ecuación **(1)**.

Por otra parte en el estudio de bf se determinó que la pre-alerta, para comenzar a operar el sistema, se debe activar cuando la precipitación acumulada supera los 30 mm en 24 horas o los 60 mm en 48 horas, medidos en la estación de San Felipe.

Por otra parte, dado que en el proyecto de Manejo de Cuencas se incluyen obras de defensas fluviales en San Felipe, se han determinado 2 caudales umbrales de alerta, uno válido en forma previa a la construcción de las defensas que alcanza a 380 m3/seg y un segundo caudal válido a partir de la fecha de terminación de la construcción de las obras de defensas en este sector, que alcanza a 500 m3/seg.

Para la calibración y establecimiento del modelo se utilizaron, en el estudio de bf, las siguientes crecidas:

| FECHA | ETAPA |
|---|---|
| 09-12/AGO/65 | Validación |
| 14-17/AGO/65 | Validación |
| 20-25/JUL/77 | Validación |
| 01-06/JUL/84 | Validación |
| 15-19/JUN/86 | Validación |
| 13-17/JUL/87 | Calibración |
| 11-18/AGO/87 | Validación |

A objeto de verificar las relaciones de pronósticos, se analizaron las crecidas posteriores a la de agosto de 1987, determinándose que sólo se ha registrado en forma simultánea en las estaciones de los puntos de control la crecida de mayo de 1993. Sin embargo, en esta crecida se dañaron las instalaciones de Aconcagua en Chacabuquito obteniéndose un registro incompleto de la misma en dicha estación, lo que permitió sólo una verificación parcial de la validez del modelo para dicha crecida, la que mostró un buen ajuste. Dicha verificación se presenta en el gráfico que se incluye en el Anexo N°1.

De acuerdo a lo anterior, se optó por aceptar las ecuaciones antes descritas como totalmente válidas, las que deberán ser implementadas computacionalmente como parte de la puesta en práctica del sistema.

### 4.2.3.2.- Aconcagua en Sector La Calera - Quillota

Al igual que para San Felipe, se seleccionó la estación fluviométrica Aconcagua en Chacabuquito, agregándose la estación fluviométrica Aconcagua en Romeral, que posee registros entre 1962 y 1978 año en que fue suprimida. De las estaciones pluviométricas se seleccionó la de Quillota.

En base a la información antes señalada se logró establecer un modelo de pronóstico recursivo cuyas ecuaciones son las siguientes:

$$Q_{AR}(t+2) = 0,58 \cdot Q_{AR}(t) + 0,21 \cdot Q_{AR}(t-2) + 2,57 \cdot Q_{CH}(t-8) - 2,17 \cdot Q_{CH}(t-10) + 6,89 \cdot P_Q(t-10) + 1,76 \cdot P_Q(t-12) + 8,89 \left[\frac{Q_{AR}(t) - Q_{AR}(t-4)}{2 \cdot Q_{AR}(t-2)}\right] \quad \textbf{(3)}$$

$$Q_{CQ}(t+2) = (1 + Pa) \cdot 0,153 \cdot Q_{CQ}(t) + (1 + Pa) \cdot 0,453 \cdot Q_{AR}(t) + 0,35 \cdot Q_{AR}(t+2) \quad \textbf{(4)}$$

Donde:

$Pa : 0,0075 \sum_{i=1}^{6} Pi$ (Precipitación acumulada en 6 días de la tormenta)

$Q_{CQ}(t)$: Caudal río Aconcagua en La Calera-Quillota en el instante t

$Q_{AR}(t)$: Caudal río Aconcagua en Romeral en el instante t

$Q_{CH}(t)$: Caudal río Aconcagua en Chacabuquito en el instante t

$P_Q(t)$ : Precipitación en Quillota en el intervalo de 2 hr anteriores al instante t

La ecuación **(3)** permite calcular el caudal de Aconcagua en Romeral con 10 hr de adelanto con respecto

a la precipitación medida en Quillota (en un intervalo de 2 hr); la ecuación **(4)** permite calcular el caudal en La Calera - Quillota con 2 hr de anticipación con respecto al caudal calculado en Aconcagua en Romeral. Por lo tanto, el caudal de Aconcagua en La Calera - Quillota puede estimarse con un tiempo de antelación de 12 hr con respecto al caudal de Aconcagua en Chacabuquito y 14 hr con respecto a la precipitación en Quillota.

Dado que la estación de Aconcagua en Romeral está suprimida, el caudal de dicha estación $Q_{AR}(t+2)$ debe estimarse utilizando la ecuación **(3)**, lo que se hace en forma recursiva, tomando como base un valor predeterminado; el resultado tiende a un valor válido al cabo de aproximadamente 10 iteraciones.

En cuanto a los valores umbrales, al igual que para San Felipe, la pre-alerta para comenzar a operar el sistema debe activarse para una precipitación acumulada mayor que 30 mm en 24 horas o 60 mm en 48 horas, medidos en la estación de San Felipe.

Al igual que en el caso anterior, dado que en el proyecto de Manejo de Cuencas, se incluyen obras de defensas fluviales en La Calera y Quillota, se han determinado 2 caudales umbrales de alerta, uno válido en forma previa a la construcción de las defensas que alcanza a 900 m3/s y un segundo caudal, válido a partir de la fecha de terminación de la construcción de las obras de defensas en este sector, que alcanza a 1.800 m3/s.

En el cuadro siguiente se presentan las crecidas utilizadas para la validación y calibración del modelo, en el estudio de bf:

| FECHA | ETAPA |
|---|---|
| 08-12/JUN/72 | Validación |
| 28/JUN-01/JUL/72 | Validación |
| 20-25/JUL/86 | Calibración |

A objeto de verificar las relaciones de pronóstico, se analizaron las crecidas posteriores a la de agosto de 1987, determinándose que no se han registrado en forma simultánea en las estaciones de los puntos de control nuevas crecidas, por lo que no fue posible realizar validaciones adicionales.

Basado en la información de que se dispone, al igual que en el caso de las ecuaciones de predicción de

San Felipe se optó por aceptar como plenamente válidas las ecuaciones derivadas en el estudio de bf para prever el caudal de La Calera y Quillota, las que se deberán implementar como parte del sistema de alerta de crecidas de la cuenca del río Aconcagua.

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, Descripción y Selección 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 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 Aconcagua, ha sido concebido considerando la operación de las estaciones siguientes:

- Estaciones Fluviométricas:

  Aconcagua en Chacabuquito : Radio Automática

  Aconcagua en San Felipe : Radio Automática

- Estaciones Pluviométricas:

  Quillota : Radio Automática (DGA - Quillota)

  Aconcagua en San Felipe : Radio Automática

En el Anexo N°2 se presenta el detalle de los equipos que se instalarán en cada una de las estaciones, de acuerdo al esquema general que se entrega en el Anexo N°4. Por otra parte, en el Anexo N°3, 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$ 80.378, valor que incluye el impuesto al valor agregado IVA.

## 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 24 y 48 horas en las estaciones de control del sistema. En esta cuenca dicha precipitación no deberá superar los 30 mm y 60 mm, medidos en la estación de San Felipe.

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:

- Aconcagua en San Felipe : 4 horas de anticipación

- La Calera-Quillota : 12 horas de anticipación

En cuanto a la base de operaciones, se ha considerado de acuerdo 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.

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

| ESTACION | | m3/s |
|---|---|---|
| San Felipe | Sin defensas<br>Con defensas | 380<br>500 |
| La Calera-Quillota | Sin defensas<br>Con defensas | 900<br>1.800 |

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 automáticos, 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 | 80.378 | 100% | 0% | 1,060 | 85.201 |
| Costos Anuales | | | | | |
| Operación Anual | 1.720 | | 100% | 1,000 | 1.720 |
| Mantención Anual | 3.406 | 50% | 50% | 1,030 | 3.508 |
| Total Costos Anuales | 5.126 | | | | 5.228 |

### Beneficios Anuales

Para un período de retorno de 25 años, se ha estimado en las evaluaciones sociales de los proyectos de defensas fluviales de La Calera, Quillota y San Felipe un

total de 979 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$ 146.850 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 = 0,12 Bc = M$ 17.622 = US$ 41.998

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

VAN Privado : M$ 120.988 = US$ 288.342

VAN Social : M$ 92.822 = US$ 211.216

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 $ 94.034 (Privado) y $ 110.380 (Social).

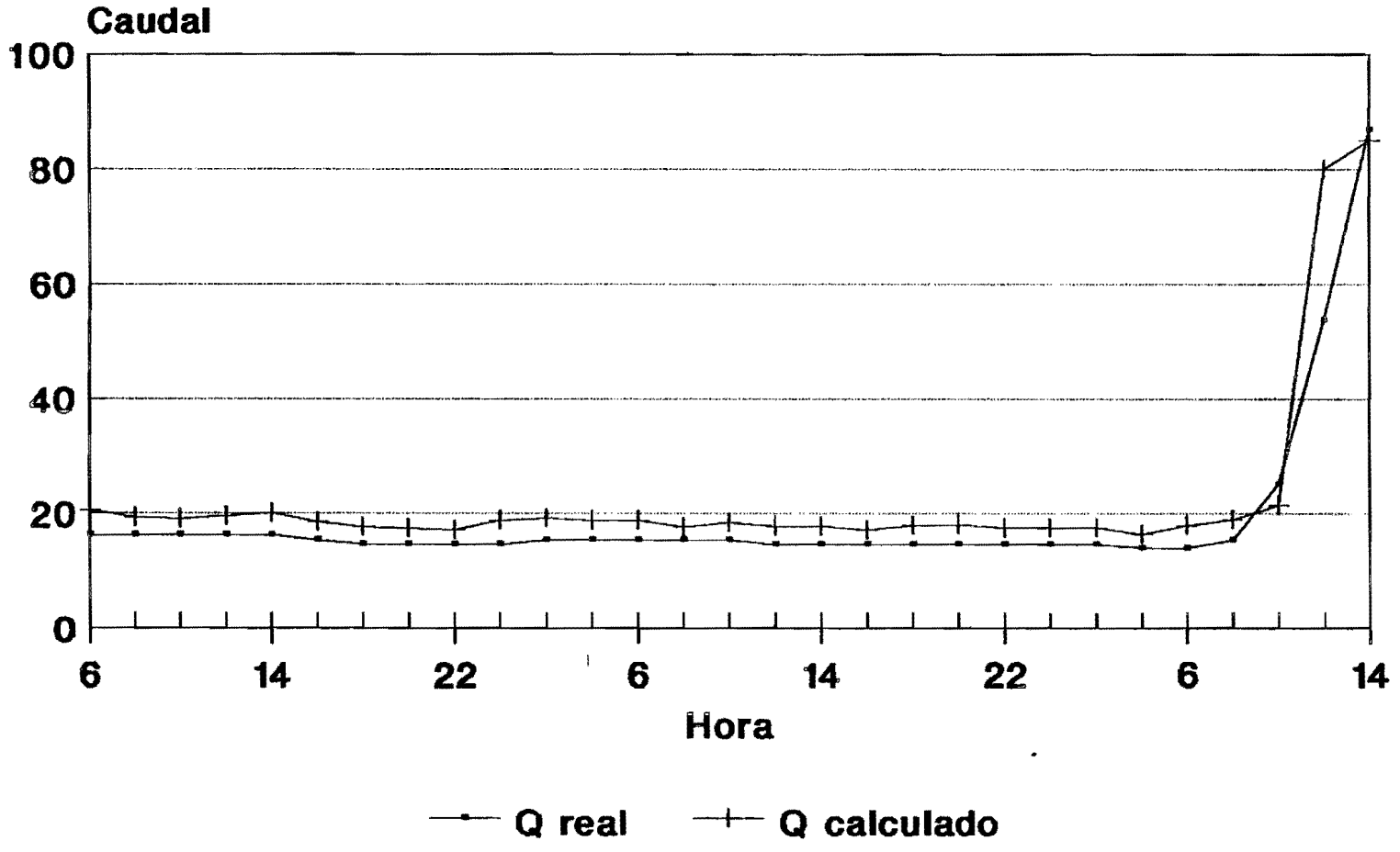
# A N E X O S

# ANEXO N°1

# GRAFICO DE VERIFICACION

# DE RELACIONES DE PRONOSTICO

# ACONCAGUA EN SAN FELIPE
## CRECIDA 01/05/93 AL 03/05/93



# ANEXO N°2

# DETALLE DE EQUIPAMIENTO

El equipamiento necesario de cada estación, es el siguiente:

**ACONCAGUA EN CHACABUQUITO (FLUVIOMETRICA)**

| 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 Proy. GC2-11

**ACONCAGUA EN SAN FELIPE (FLUVIOMETRICA)**

| 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 Proy. GC2-11

**ACONCAGUA EN SAN FELIPE (PLUVIOMETRICA)**

| 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 |

(*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo Proy. GC2-11

## ACONCAGUA EN QUILLOTA (PLUVIOMETRICA)

| 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 |

(*): Equipos incluidos en mejoramiento de redes de monitoreo Proy. GC2-11

## 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 |
| 1 | Data Logger Marca Stevens Modelo AXSYS (*) | 3.840 | - |
| 2 | Sensor de presión Marca Stevens Modelo SDT-II precisión 0,1% (*) | 1.920 | - |
| 2 | Sensor de precipitación Marca Handar Modelo 444A | 1.072 | - |
| 7 | Batería 12 V-17 Amp/Hr | 180 | 1.260 |
| 3 | Transmisor satelital Marca Handar Modelo 555-7031 | 3.936 | 11.808 |
| 3 | Antena satelital marca Handar modelo 443A x YAGI/10 DBgain | 928 | 2.784 |
| 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 | 4.800 | 4.800 |
| - | Instalación (30%) | - | 15.739 |
| Sub-total | | | 68.117 |
| 18% de I.V.A. | | | 12.261 |
| Total Inversión | | | 80.378 |

(*): Se han excluido equipos que forman parte de Proyecto GC2-11, 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 = 3 | Hombre-día/año | 9 | 80 | 720 |
| Gastos generales y directos | Gl | 1 | 1.000 | 1.000 |
| TOTAL | | | | 1.720 |

## II.2.- Mantención del Sistema

| DESCRIPCION | COSTO US$ |
|---|---|
| Se considera una mantención del sistema de un 5% del costo de los equipos al año | 3.406 |

## II.3.- Resumen

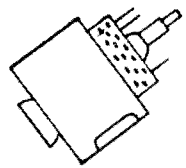
| | |
|---|---|
| II.1.- OPERACION DEL SISTEMA | 1.720 |
| II.2.- MANTENCION DEL SISTEMA | 3.406 |
| TOTAL OPERACION Y MANTENCION (US$/AÑO) | 5.126 |

# ANEXO N°4

# ESQUEMA GENERAL

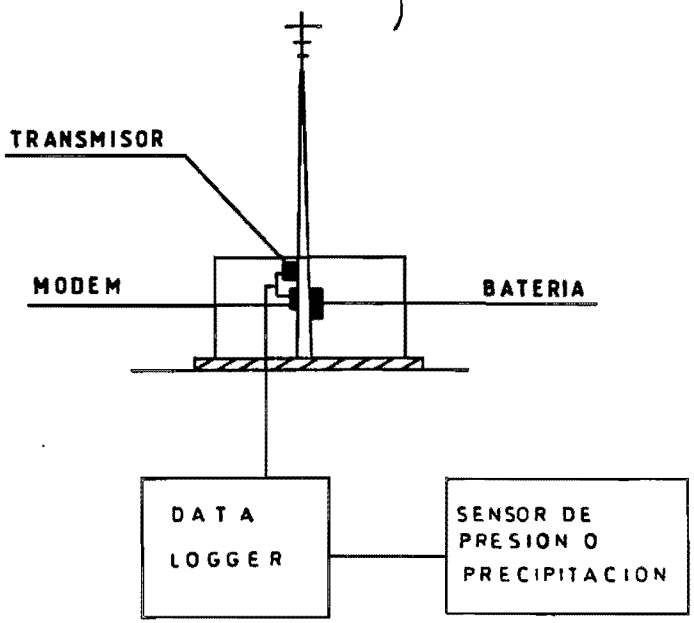
# DEL SISTEMA DE ALERTA

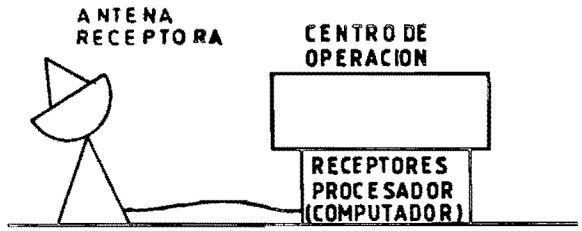
# ESQUEMA INSTALACION EQUIPOS AUTOMATICOS
## SISTEMA ALERTA DE CRECIDAS
## CUENCA ACONCAGUA



SATELITE
GEOESTACIONARIO

| ESQUEMA ESTACIONES | |
|---|---|
| ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | FLUVIOMETRICA |
| ACONCAGUA EN SAN FELIPE | FLUVIOMETRICA |
| SAN FELIPE (ESCUELA AGRICOLA) | PLUVIOMETRICA |




QUILLOTA
D.G.A.

# ANEXO N°5

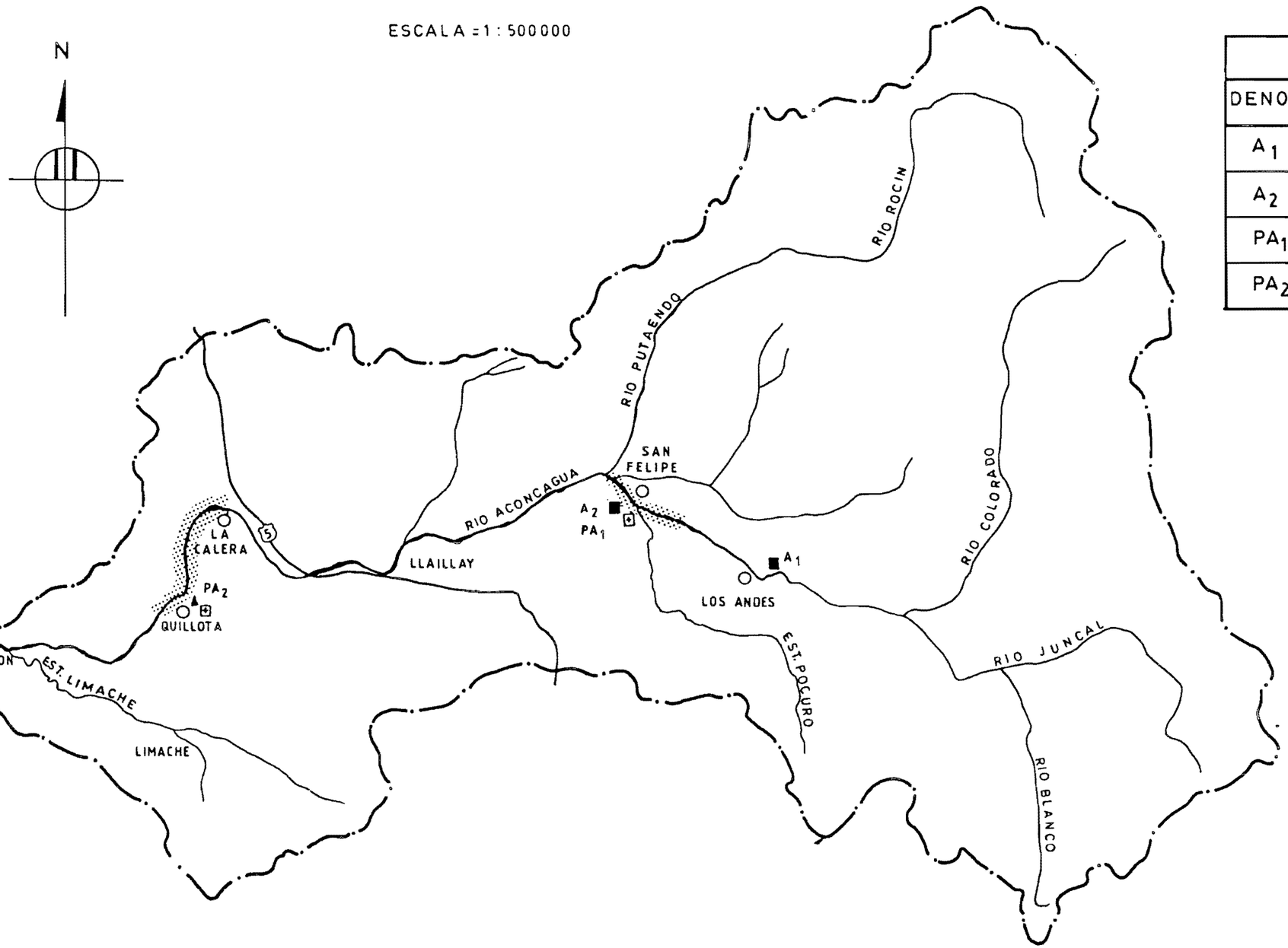
# ESQUEMA DE SECTORES AMAGADOS

# Y ESTACIONES DE CONTROL

# HOYA HIDROGRAFICA RIO ACONCAGUA

## SECTORES AMAGADOS Y ESTACIONES DE CONTROL

ESCALA = 1 : 500000




| ESTACIONES DE CONTROL | | | |
|---|---|---|---|
| DENOM. | ESTACION | TIPO | MODALIDAD |
| $A_1$ | ACONCAGUA EN CHACABUQUITO | FLUVIOMETRICA | RADIO AUTOMATICA |
| $A_2$ | ACONCAGUA EN SAN FELIPE | FLUVIOMETRICA | RADIO AUTOMATICA |
| $PA_1$ | SAN FELIPE (ESCUELA AGRICOLA) | PLUVIOMETRICA | RADIO AUTOMATICA |
| $PA_2$ | QUILLOTA (DGA) | PLUVIOMETRICA | RADIO AUTOMATICA |

| NOMENCLATURA | |
|---|---|
| —·— | LIMITE CUENCA |
| | EST. CON SENSOR FLUVIOMETRICO |
| + | EST CON SENSOR PLUVIOMETRICO |
| | CENTRO PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION |
| ○ | CIUDAD O LOCALIDAD |
| | ZONA AMAGADA |

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS
3 5617 00000 9332

Título/Autor/Clasif. Fecha de publ.

Hidrología de las grandes llanuras = Hydrology on large flatlands = L'hydrologie des régions plaines / Editor: Mario Claudio Fuschini Mejía, Comité Nacional para el Programa Hidrológico Internacional, 1984.
Fuschini Mejía, Mario Claudio ed.
REH-1389

Estudios de regulación del uso del cauce, fijación de deslindes y catastros de zonas de alto riesgo cuenca río San José : términos de referencia / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de 1995.
DHV Consultants
MAN-2400

Estudios regulación del uso del cauce, fijación de deslindes y catastros de zonas de alto riesgo en la cuenca del río Marga-Marga : términos de referencia / Ministerio de Obras Públicas, Dirección 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2405

Estudio del uso del cauce, fijación de deslindes y catastros de zonas de alto riesgo cuenca río Imperial : términos de referencia / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2414

Defensas fluviales río Quillem, sector localidad Galvarino, comuna de Galvarino cuenca río Imperial : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2415

Estudios regulación del cauce, fijación de deslindes y catastro de zonas de alto riesgo cuenca río Maule : términos de referencia / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2416

Protección zona urbana de Punta Arenas, río Las Minas, sector desembocadura, reserva forestal Magallanes : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2418

Defensas fluviales río Cautín sector el Rulo - comuna Nueva Imperial, cuenca río Imperial : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de Agricultura, 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2419

Estudios de regulación del uso del cauce, fijación de deslindes y catastros de zonas de alto riesgo cuenca río Maipo - Mapocho : términos de referencia / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2420

Estudios regulación del uso del cauce, fijación de deslindes y catastro de zonas de alto riesgo cuenca río Aconcagua : términos de referencia / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2433

Título/Autor/Clasif. Fecha de publ.
---

Defensas fluviales río Imperal sector Reducción Lisahue - comuna Nueva Imperial cuenca río Iperial : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2439

Defensas fluviales río Cautín, sector Lautaro comuna de Lautaro cuenca río Imperial : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de Agricultura, 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2442

III Jornadas de trabajo : Manejo integral de cuencas, Valdivia, Chile, 2-4 Nov. 1993 / CONAPHI; Auspiciadores: CONAPHI, Ilustre Municipalidad de Valdivia, Universidad Austral de Chile, Dirección General de 1993.
Jornadas de Trabajo : (3a : 2-4 noviembre 1993 :
MAN-4467

Las defensas fluviales en el manejo de cuencas / Colegio de Ingenieros de Chile.

1987.
Simposio "Las Defensas Fluviales en el Manejo de
INF-2864

Estudio de factibilidad de embalses para los valles de Lluta y Azapa I Región : informe final : resúmen ejecutivo / Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Obras Públicas, INGENDESA.
2004.
Dirección de Obras Hidráulicas
EMB-4602

Central Ralco / Empresa Nacional de Electricidad, Empresa de Ingeniería Ingendesa.

1990-1997.
ENDESA
PROY-1636

Sistema de alerta de crecidas cuenca río Aconcagua-Marga Marga : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal; 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2404

Defensas fluviales estero Limache sector poblacional Isla Lenox, cuenca río Aconcagua : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de Agricultura, 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2426

Defensas fluviales río Chol - Chol, localidad de Nueva Imperial, comuna Nueva Imperial, cuenca río Imperial : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2427

Defensas fluviales río Aconcagua sector La Calera cuenca río Aconcagua - Marga Marga : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de Agricultura, 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2435

Título/Autor/Clasif. Fecha de publ.

---

Defensas fluviales río Aconcagua, sector Aguas Arriba Bocatoma Esval, Con - Con cuenca río Aconcagua : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2436

Defensas fluviales río Aconcagua, sector Quillota cuenca río Aconcagua - Marga Marga : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de Agricultura, 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2438

Sistema alerta de crecidas cuenca río Imperial : proyecto de diseño / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal; Instituto 1995.
Dirección General de Aguas
MAN-2441

Cuenca experimental representativa : reserva forestal Malalcahuello, cuenca río Imperial, IX región de la Araucanía / Andrés Arriagada T., inspector fiscal, Andrés Iroumé A., jefe de proyecto; 2000.
Arriagada Terán, Andrés, inspector fiscal
REH-2727

Plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Puerto Montt, X región : consultoría PM-05 / Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas; Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2002.
Dirección de Obras Hidráulicas
SUP-2742

Estudio hidrogeológico e hidrológico predio de Horcón, Puchuncaví - V región / Peticionario : CIMA Gestión Inmobiliaria, Alamos y Peralta Ingenieros Consultores.
1999.

REH-2836

Expediente VC-0403-9 : construcción del depósito de relaves El Mauro, presentada por Minera Los Pelambres, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 294 del Código de Aguas : informe de revisión / Ministerio 2005.
Dirección General de Aguas. Departamento de
PROY-4407