



División de Hidrología  
Dirección General de Aguas



OMM

# Taller Regional sobre la Previsión de Crecidas Repentinas para América del Sur

## Sistema de alertas de crecidas

Dirección General de Aguas  
Ministerio de Obras Públicas  
Chile

Santiago, Chile, Octubre 2011

# Elementos de un Sistema de Previsión

- Red de medición y transmisión.
- Centro de Pronóstico donde se desarrollan :
  - Relaciones entre variables hidrometeorológicas y niveles o caudales en los ríos.
  - Relaciones entre niveles o caudales en los ríos y daños potenciales.
- Oficina de emergencia encargada de implementar un programa de actividades ligado a los caudales esperados.

# Elementos de un Sistema de Previsión

Un sistema de previsión debe cumplir la siguiente condición básica:

$$T_a + T_b + T_c \leq T_r$$

donde:

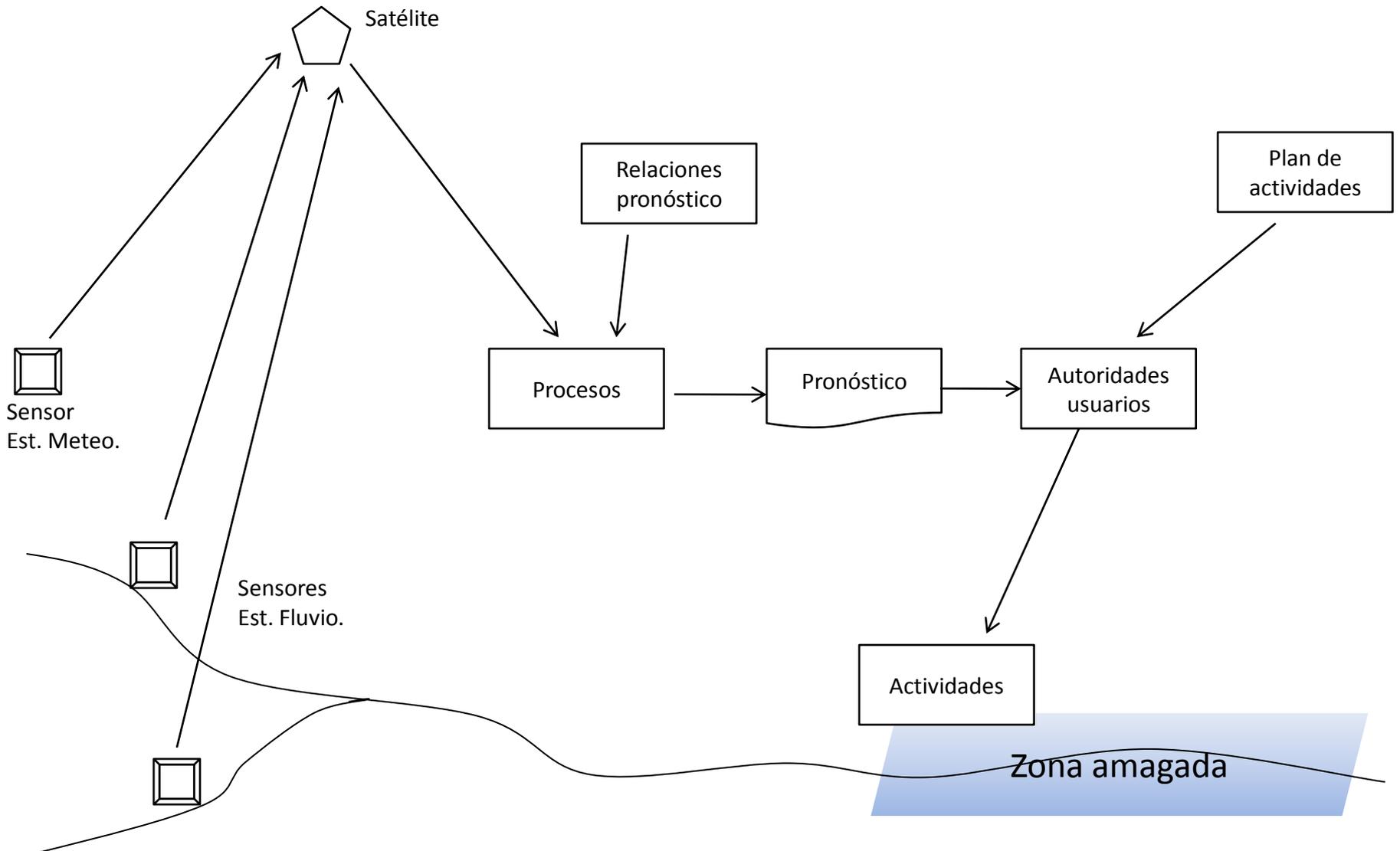
$T_a$ : Tiempo que demora la recolección y transmisión de datos hidrometeorológicos.

$T_b$ : Tiempo que emplea el procesamiento.

$T_c$ : Tiempo que se requiere para adoptar las medidas previstas.

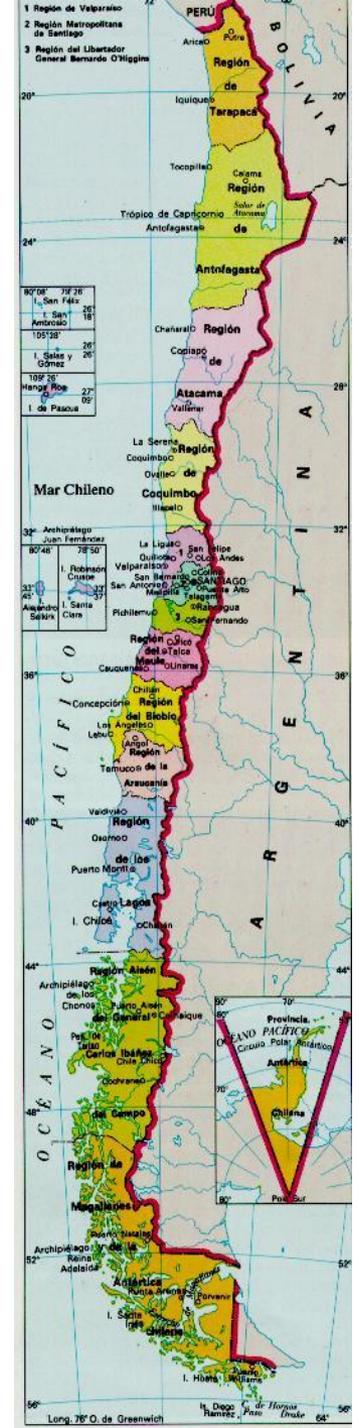
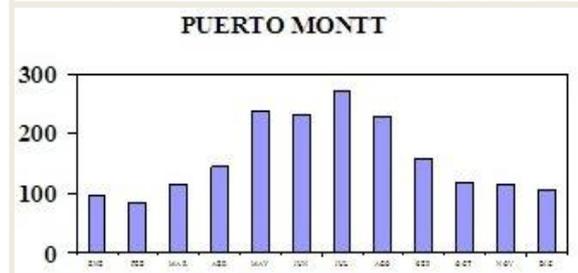
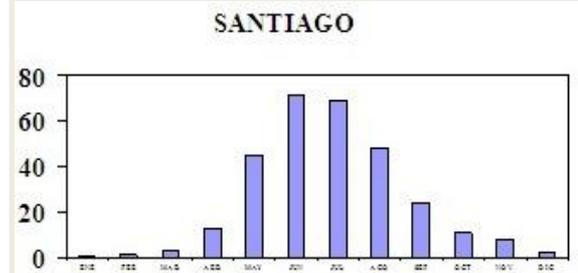
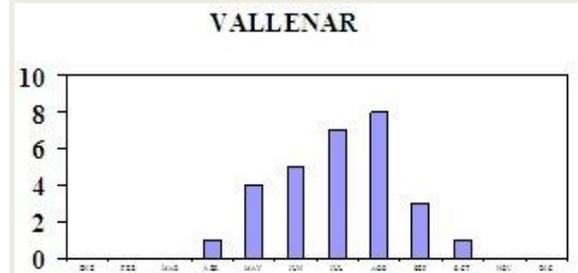
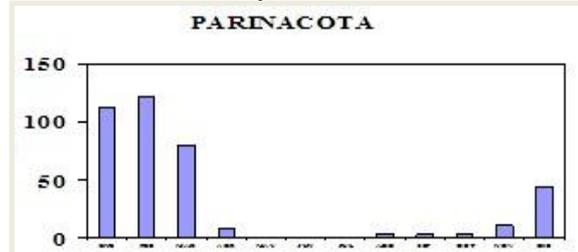
$T_r$ : tiempo de retardo de la cuenca.

# Elementos de un Sistema de Previsión

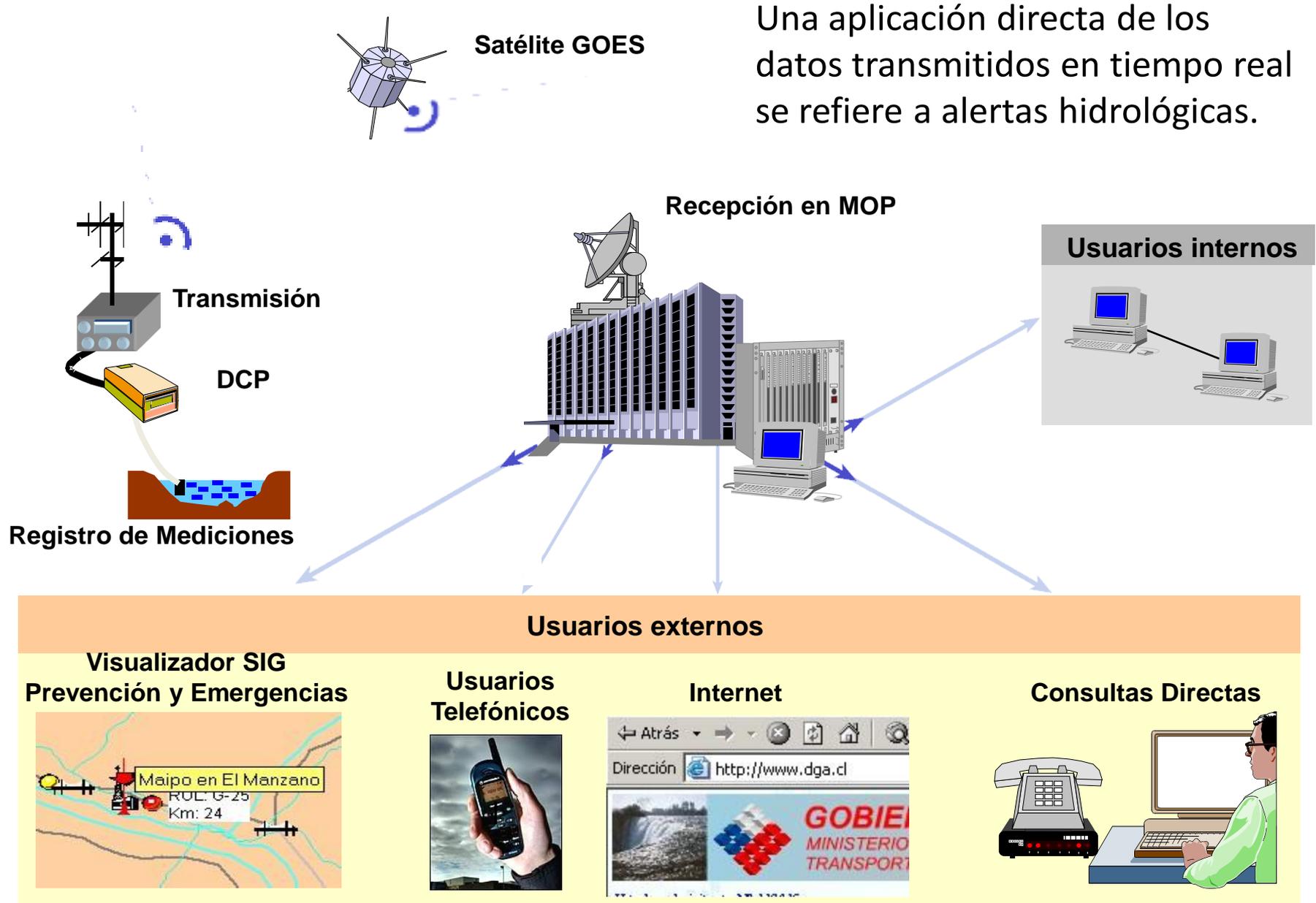


Las características hidrológicas y geográficas del país condicionan las posibilidades de operar un sistema de alertas de crecidas.

## Precipitaciones

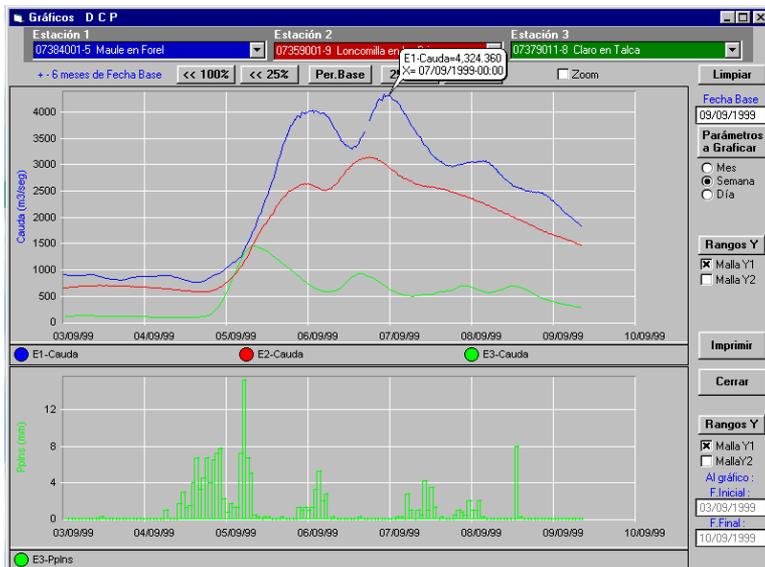


# Esquema General. Sistema Satelital



# Principales Servicios del Sistema Satelital

- Consulta de datos en PC del usuario
- Acceso a mediciones vía Internet
- Envío de mediciones a celulares
- Alerta telefónica a celulares
- Acceso vía Visualizador de Prevención y Emergencias
- Caudales de Régimen Natural
- Pronóstico de caudales.



# Ventajas del Sistema Satelital

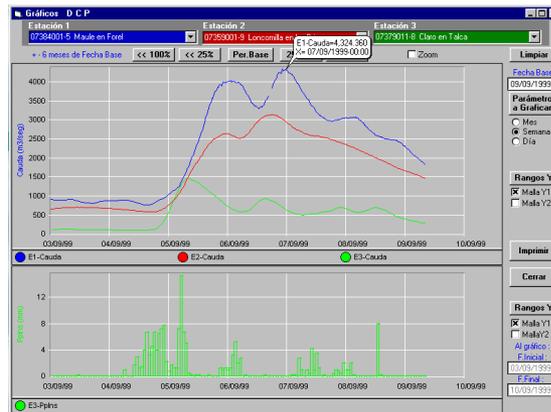
Las principales ventajas de la modernización son :

- Facilidad y rapidez de proceso
- Conocimiento actualizado de la situación hidrológica del país
- Emisión oportuna de informes
- Administración de recursos hídricos, especialmente en períodos de sequías
- Seguimiento de crecidas
- Operación de un sistema de alertas

Alertas



Sequías



Datos actualizados

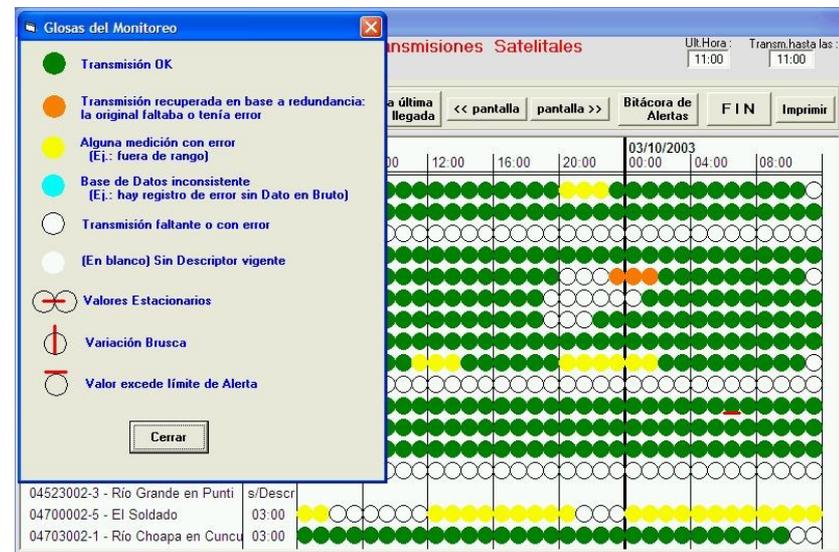
Inundaciones



# Alertas del Sistema Satelital

El Sistema Satelital permite avisar la ocurrencia de diversas situaciones derivadas del propio funcionamiento de los equipos en terreno, como la aparición y desarrollo de eventos extremos :

- Falla de las baterías
- Falla de los sensores
- Embancamientos
- Estaciones “colgadas”
- Eventos de contaminación
- Avisos por fiscalización o administración
- Precipitaciones intensas
- Crecidas inusuales



# Definición de Alertas

Para el uso de alertas de crecidas de los ríos, la Dirección definió 3 límites para el parámetro caudal.

## ALERTA AZUL

Indica una situación de preparación ante la eventualidad que las precipitaciones y/o caudales superen el umbral de riesgo.

## ALERTA AMARILLA

Caudal con clara tendencia a subir y pronóstico meteorológico desfavorable.

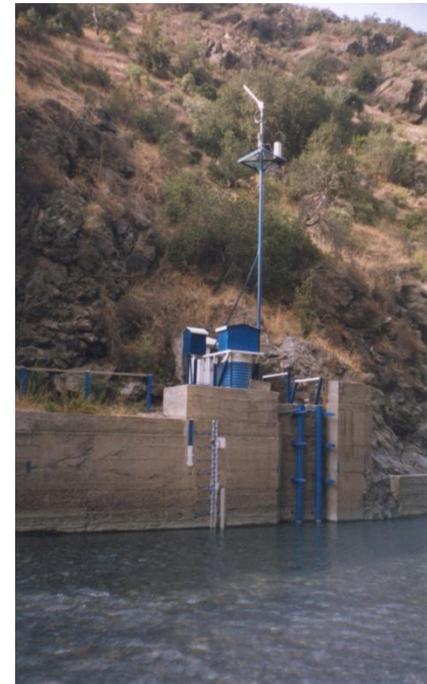
## ALERTA ROJA

Caudales con amenaza directa a sectores poblados e infraestructura, que implican acciones tales como: evacuación, defensas, disponibilidad recursos humanos, maquinaria y equipos.

# Operación del Envío de Mediciones y Alertas Telefónicas

Para cada usuario se indica:

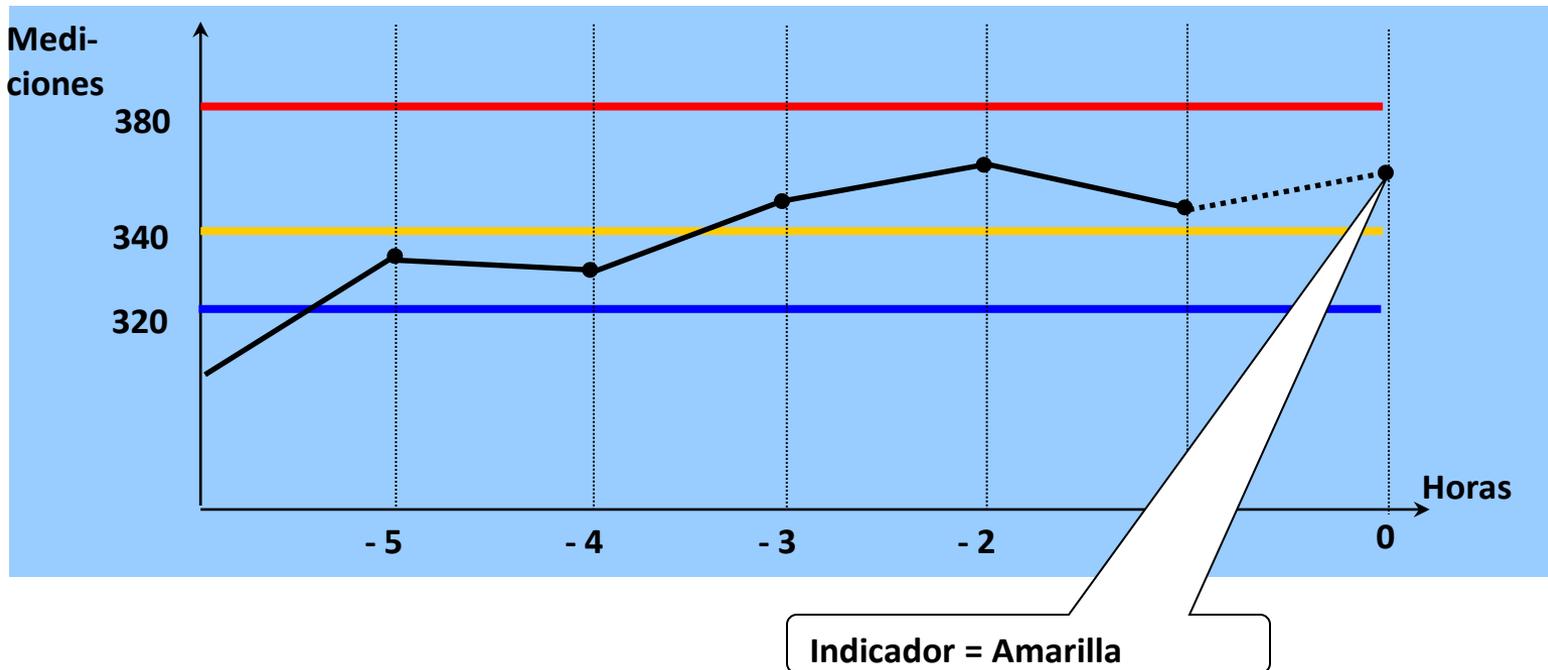
- Selección de Estaciones a informarle
- Selección de Parámetros a informarle
- Horarios de envío (sólo para Mediciones)
- Nivel de Alerta asignado según jerarquía del receptor (sólo para Alertas):
  - Azul – personal operativo
  - Amarillo – supervisores
  - Rojo – personal superior
- Número de celular



## Mediciones sobre Nivel **Amarillo** en últ. 3 horas

Mensajes para usuarios de Alerta **Azul** y **Amarilla** :

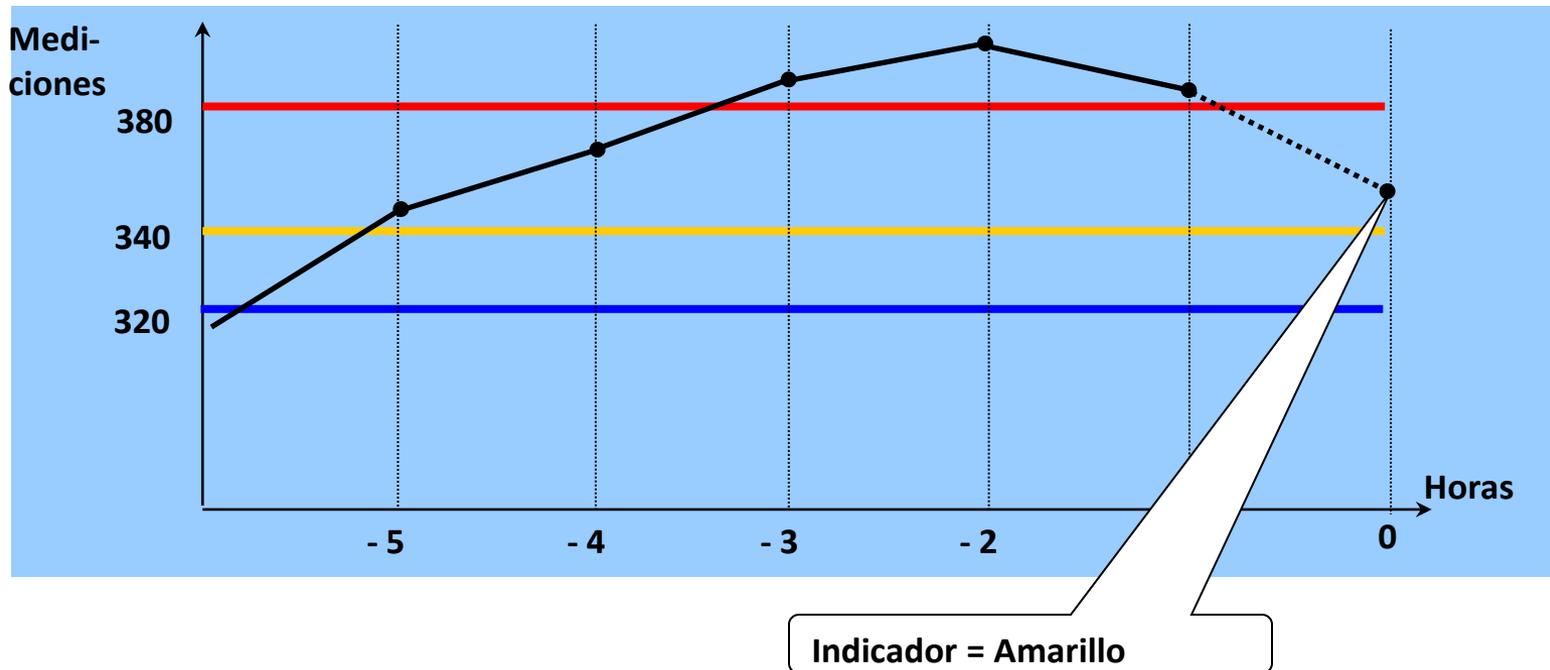
**EstFictic001 (Amarilla)-14/03 23:05--AltLM=345+, LSup=340**



## Mediciones sobre Nivel Rojo en últ. 3 horas

Mensajes para usuarios de Alerta Azul, Amarilla y Roja :

EstFictic001 (Amarillo)-14/03 23:05--AltLM=350-, LSup=340



# Sistema de alertas por crecidas fluviales

- Durante los años '80 se realizó un estudio de la zona central del país con el fin de analizar las posibilidades de implementar un sistema de alertas de crecidas.
- Con el uso de transmisión satelital , el sistema de alertas comenzó a funcionar con umbrales definidos por las Oficinas Regionales, de acuerdo con su propia experiencia.

Los criterios para determinar los límites no fueron uniformes y algunos con el tiempo perdieron vigencia por encauzamiento del río, construcción de nuevas obras y porque el trabajo inicial no fue exhaustivo. Por otra parte las crecidas de los últimos años aportaron antecedentes más precisos de alturas, caudales y zonas de inundación.

- De acuerdo con esto, la Dirección realizó un estudio para actualizar los umbrales y así definir las alertas de crecidas con criterios uniformes, los que se encuentran incorporados en el Manual de Emergencias.

# Estudio de actualización de umbrales

## Revisión de trabajos anteriores

- Estudios amplios de zonas amagadas y daños
- Necesidad de sistemas de pronóstico
- Definición de fórmulas de pronóstico
- Umbrales para uso satelital
- Ajuste regional de umbrales

## Causas por las que se requiere actualizar umbrales

- Instalación de estaciones nuevas
- Revisión de umbrales actuales
- Mejoramiento de cauces (defensas fluviales)
- Ocupación de riberas

## Objetivo del trabajo:

Actualizar sistema de umbrales de alerta de crecidas en todo el país

## Objetivos específicos:

- Revisar estaciones del sistema actual e incluir otras si corresponde
- Revisar variables del sistema actual e incluir otras si corresponde
- Determinar el valor de los umbrales con análisis hidrológicos
- Determinar la confiabilidad de los valores umbrales (riesgo)
- Recomendar plan de actualización de variables y umbrales

# ANTECEDENTES GENERALES

- Recopilación Bibliográfica

Trabajos de Alerta de Crecidas entre regiones RM y X

Se recopilaron y estudiaron :

- zonas amagadas
- posibilidad de pronóstico en tiempo real
- alternativas de transmisión de datos
- costos
- estudio de crecidas históricas
- fórmulas de pronóstico

# Ejemplo de resultados del estudio anterior

## Estaciones de pronóstico

- Bío-Bío en Concepción
- Bío-Bío en Hualqui
- Laja y Bío-Bío en San Rosendo
- Bío-Bío en Santa Bárbara
- Ñuble en Longitudinal
- Ñuble en Confluencia,

con las siguientes estaciones de control

## Fluviométricas

- Bío-Bío en Rucalhue
- Duqueco en Cerrillos
- Laja en Tucapel
- Laja en Puente Perales
- Ñuble en San Fabián
- Ñuble en Longitudinal
- Bío-Bío en desembocadura

## Pluviométricas

- Quilaco
- Embalse Coihueco

El valor presente de la inversión inicial (mantención y operación) a 10 años y con una tasa de actualización del 7% anual se evaluó para los diferentes sistemas de transmisión:

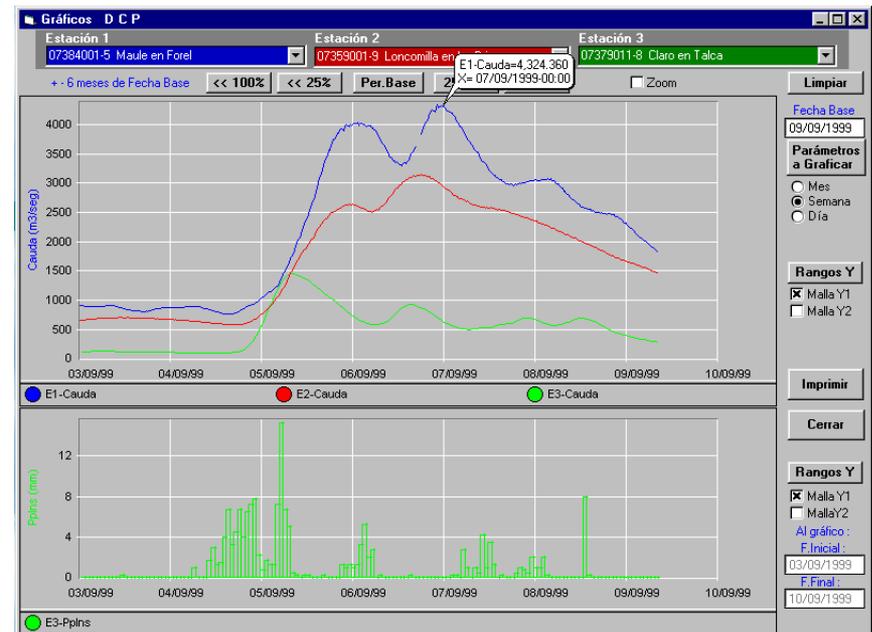
- sistema de radio automática US\$ 261.823
- sistema de radio manual US\$ 174.875
- sistema de plataformas colectoras de datos US\$ 804.574
- sistema mixto US\$ 231.226

En este estudio de los años '80 :

- Se determinaron zonas con problemas de inundación
- Se definieron relaciones matemáticas para pronóstico, donde era posible
- El sistema se implementó parcialmente por dificultades de transmisión de datos

# Desarrollo del trabajo

- Recopilación de eventos extremos
  - \_ Período 2000 a 2009
  - \_ Precipitaciones y temperaturas
  - \_ Caudales correspondientes
  - \_ Zonas de anegamiento y fechas



# Desarrollo del Trabajo

- Entrevistas y cuestionario
  - Entrevistas DGA Central y Metropolitana
  - Entrevistas por video-conferencia
  - Contenido del cuestionario
  - Respuestas al cuestionario
  
- Antecedentes de ONEMI
  - (Oficina Nacional de Emergencia)

# Cuestionario (1)

## Sistema actual de alerta de crecidas

¿Tienen o no un sistema de alerta de crecidas en funcionamiento?

¿Qué estaciones lo componen?

Satelitales – No satelitales

(Listado de estaciones de control y tipo)

¿Qué variables se miden?

Niveles de ríos

Niveles de lagos

Precipitaciones

Temperatura

Otras

(En el mismo listado, variables asociadas)



¿A qué zonas amagadas se asocia el sistema de alerta (estaciones de control) actual?

(Listado de zonas amagadas asociadas a las estaciones de control.)

¿Hay estaciones en canales? ¿Qué sentido tienen los umbrales en los canales de riego o hidroeléctricos?

# Cuestionario (2)

## Umbrales

¿Cuándo y cómo se establecieron los umbrales? ¿Cómo se han actualizado? ¿Cuándo se actualizaron por última vez?

¿Hay antecedentes escritos sobre el establecimiento de los umbrales?  
(Aportarlos por favor.)

¿Hay umbrales que no funcionan bien y deben ser revisados? ¿Por qué razón?  
(Listado de umbrales a revisar y problema asociado.)

¿Usan relaciones de pronóstico de corto plazo para el establecimiento de umbrales?

# Cuestionario (3)

## Extensiones del sistema actual

El sistema actual, ¿cubre todas las zonas amagadas actuales o hay más zonas amagadas que debieran ser cubiertas?

(Listado de zonas amagadas no cubiertas. Descripción de su ubicación.)

¿Qué nuevas estaciones de control recomiendan para cubrir las zonas amagadas no incluídas en el sistema de alerta actual?

(Listado de nuevas estaciones)

¿Se requiere controlar más variables en el sistema actual? ¿Cuáles sugiere?

(Listado de variables adicionales a considerar.)

¿Se puede pensar en estaciones de control no satelitales para que integren el sistema de alerta de crecidas?

(Listado de estaciones no satelitales viables)

¿Requieren DCP en alguna de las estaciones existentes?

(Recomendaciones para transformar estaciones no satelitales en satelitales.)

## General

¿Qué aportes esperan del presente estudio? ¿Revisión de estaciones de control? ¿Revisión de umbrales?

¿Otros? La definición de zonas amagadas o zonas a alertar, de acuerdo con el desarrollo y estado actual de las cuencas y cauces, se espera como aporte por parte de las DGA Regionales.

¿Hay estudios locales o regionales que puedan recomendar, que aporten a este tema?

(Listado de estudios recomendados)

# Ejemplo de información de ONEMI

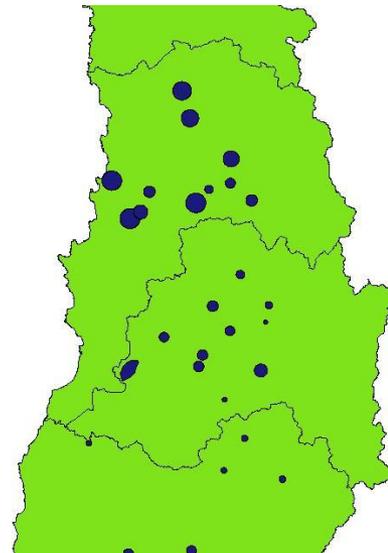
Fecha	Región	Cauce	Comuna	Sector amagado
Agosto 2005	R.M.	Río Mapocho	Lo Barnechea	Campamento Juan Pablo II
Agosto 2005	R.M.	Estero Colina	Lampa	Algunos sectores
Agosto 2005	R.M.	Canal Zanjón de la Aguada		Varios sectores
Agosto 2005	R.M.	Canal San Ramón		Varios sectores
<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 10 al 13 de Julio 2006 "</i>				
Julio 2006	VI	Río Tinguiririca	San Fernando	ribera Norte
Julio 2006	VI	Río Tinguiririca	Nancagua	Ana Luisa
Julio 2006	VI	Río Tinguiririca	Palmilla	Villa Puente Tapado
Julio 2006	VII	Río El Durazno	Pelluhue	
Julio 2006	VIII	Estero Nonguen	Concepción	Pobla. Tucapel Bajo, Pedro de Valdivia Bajo, O'Higgins y barrios universitario, Paicaví y Norte

# Desarrollo del Trabajo

## Sistema de Información geográfica

- Estaciones satelitales y umbrales
- Coberturas de zonas amagadas
- Coberturas de puntos que cuentan con una relación de pronóstico de corto plazo
- Coberturas de umbrales

Ejemplo de gráfico  
regiones V y RM  
Zonas amagadas



# Desarrollo del Trabajo

Identificación de estaciones de control y recopilación de eventos de crecidas

Análisis y establecimiento de umbrales

- análisis standard
- análisis especiales



# METODOLOGÍA STANDARD

## Umbrales de caudal en los ríos

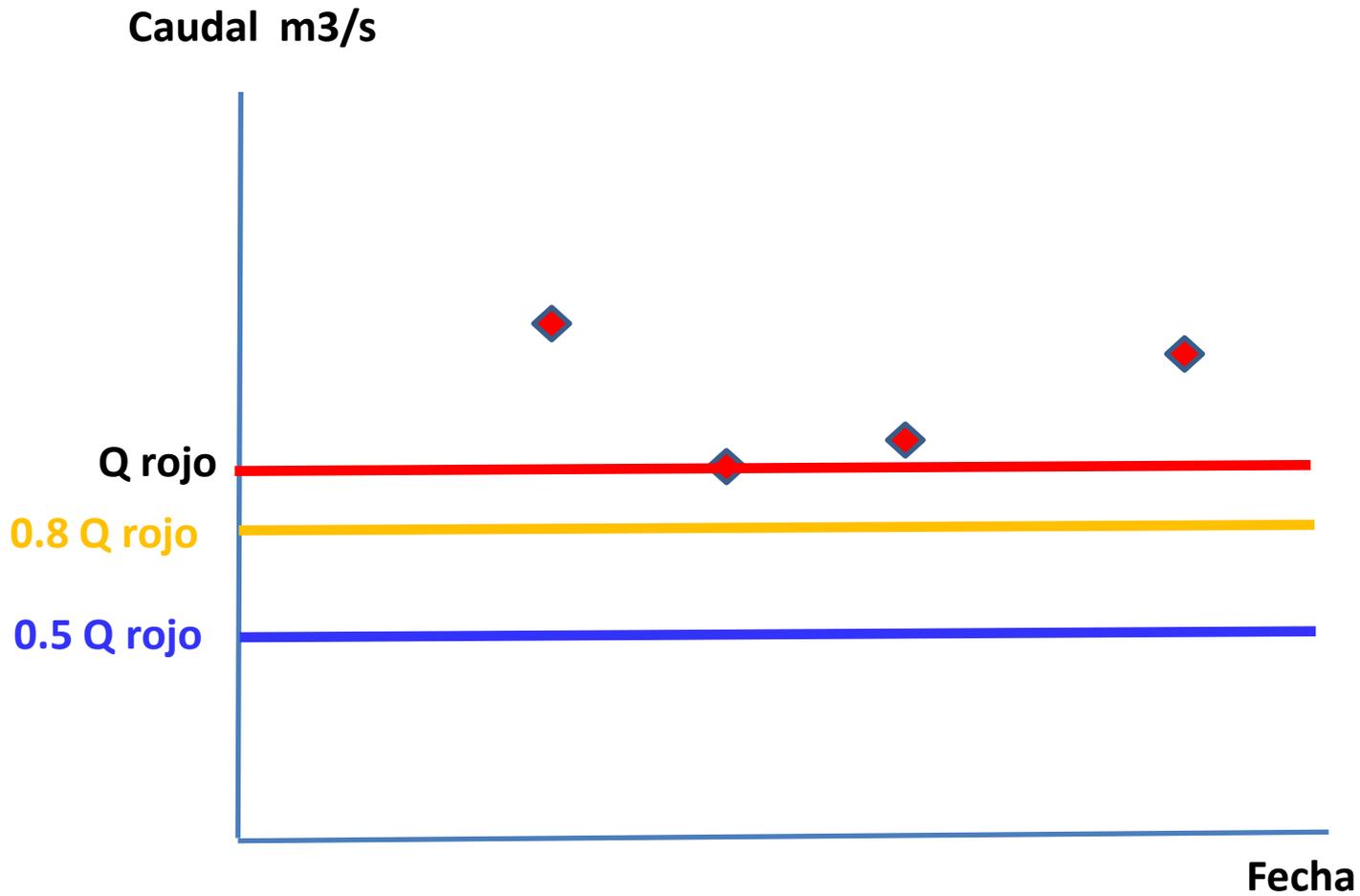
Se cuenta con :

- uno o varios eventos de anegamientos recientes
- las fechas de tales eventos
- una estación representativa (caudal)

Procedimiento :

- se revisa estado de Q extremos instantáneos
- se identifica el caudal de la crecida mínima de daño
- se establece ahí el umbral rojo
- se calcula el umbral amarillo como  $0.8 Q_{\text{rojo}}$
- se calcula el umbral azul como  $0.5 Q_{\text{rojo}}$
- se traduce caudales a niveles de acuerdo con la última CD

# Umbrales de caudal en ríos



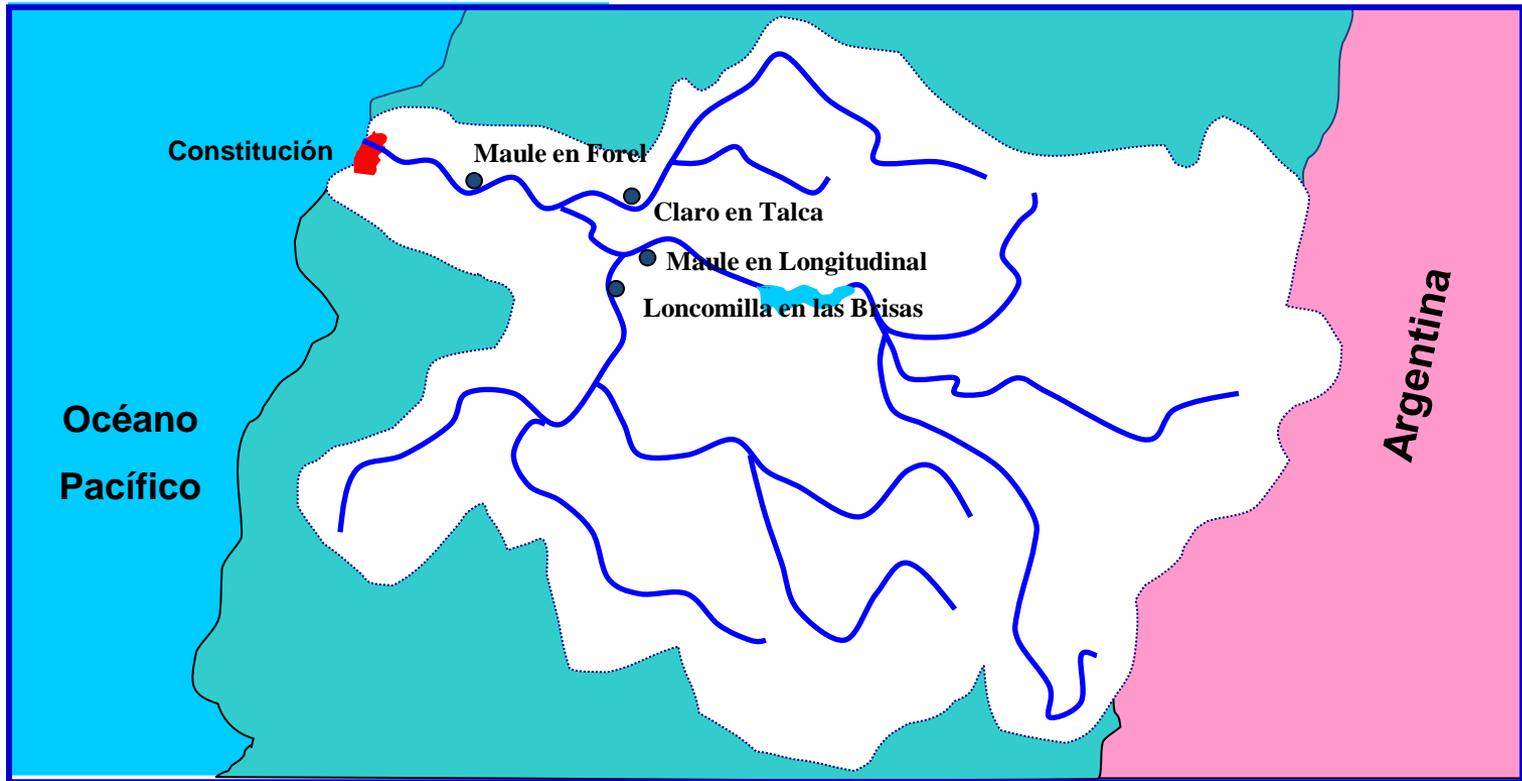


## Otras estaciones resueltas con la metodología standard

- Tarapacá en Sibaya
- Coscaya en Saitoco
- Mapocho en Los Almendros
- Estero Arrayán en La Montosa
- Tinguiririca bajo Briones
- Cachapoal en Cortaderal
- Cachapoal 5 km bajo junta Cortaderal
- Teno después junta Claro
- Palos antes junta Colorado
- Colorado antes junta Palos
- Mataquito en Licantén
- Loncomilla en las Brisas
- Ancoa en el Morro
- Achibueuno en la Recova
- Claro en Rauquén
- Claro en Camarico
- Lircay en Puente Las Rastras
- Maule en Constitución
- Perquillauquén en Ñiquén
- Biobío en Rucalhue
- Biobío en Coihue
- Cholchol en Cholchol
- Cautín en Rari Ruca
- Cautín en Cajón
- Toltén en Teodoro Schmidt
- Quepe en Vilcún
- Quepe en Lingitudinal
- Allipén en Melipeuco
- Trancura en Curarrehue
- Cruces en Rucaco
- Damas en Tacamó
- Bueno en Bueno

# Pronóstico de Caudales

## Ecuación de Pronóstico para Maule en Forel



### Maule en Forel (+6 horas):

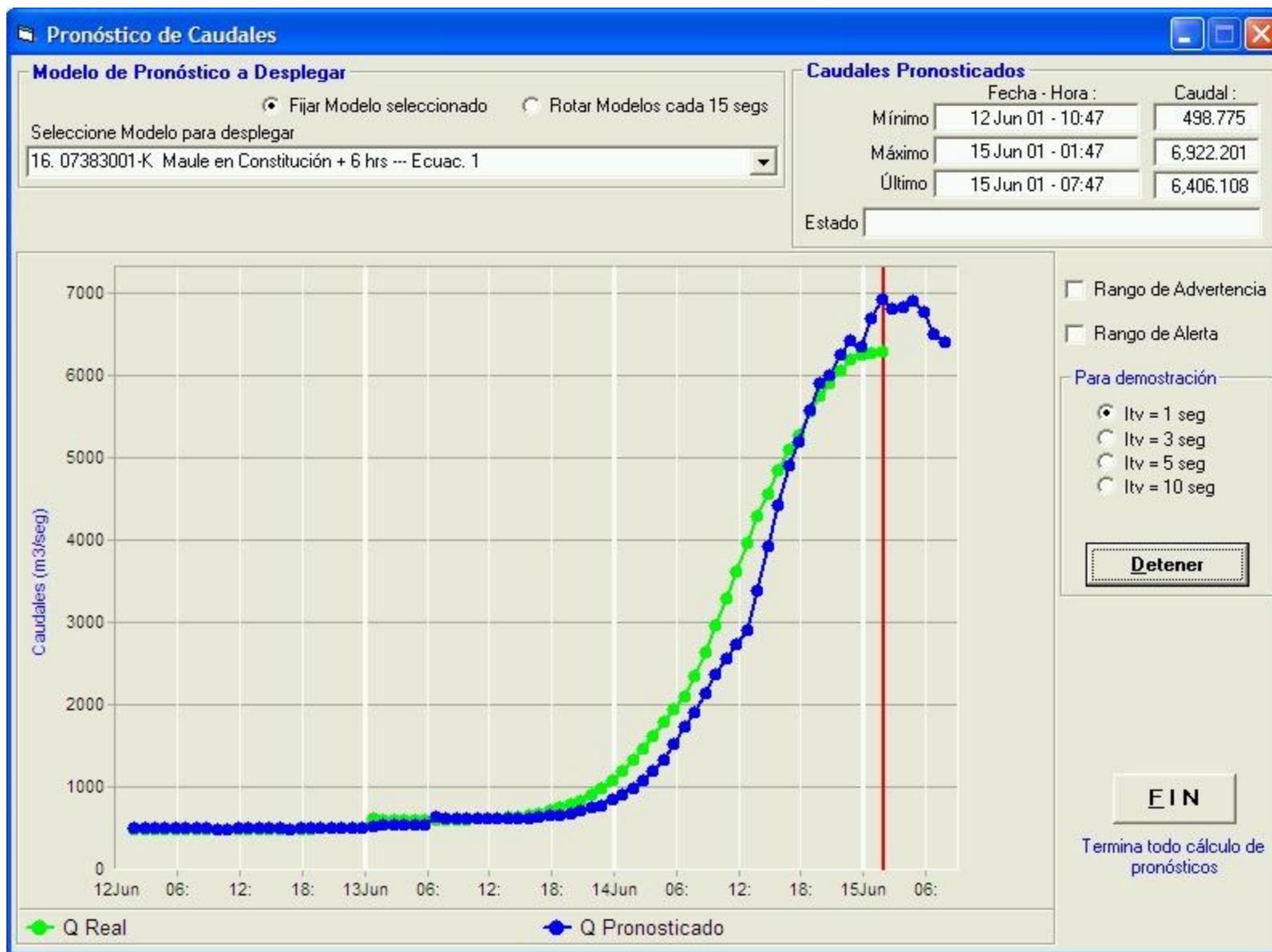
$$Q_{mf}(t+6) = 3.16 Q_{mf}(t) - 2.20 Q_{mf}(t-2) + 0.007 * U(t) + 0.018 * U(t-2) + 0.027 U(t-4) + 0.012 U(t-6),$$

en que  $U(t) = Q_{ml}(t) + Q_{ct}(t) + Q_{lb}(t-4) + Q_{ap}(t-8)$

**mf** = Maule en Forel      **ml** = Maule en Longitudinal      **ct** = Claro en Talca  
**lb** = Loncomilla en Las Brisas      **ap** = Achibueno en Los Peñascos



# Pronóstico de Caudales



# Ley de Embalses

- Orientada a utilizar los grandes embalses como regulador de crecidas
- Ante una crecida, si es necesario, debe evacuar parte de su almacenamiento con el fin de absorber el volumen de agua que se aproxima
- Se opera el embalse de acuerdo con normar predefinidas
- Funciona con una red de control especialmente diseñada
- Utiliza modelos hidrológicos especiales de predicción



- Utiliza previsiones especiales de la Dirección Meteorológica de Chile, básicamente de cantidad de precipitación y temperatura
- Se considera un monitoreo constante de las condiciones hidrológicas.

# Caso del río Baker

El lago Cachet ha tenido vaciamientos repentinos, hacia el río Baker, produciendo crecidas importantes.

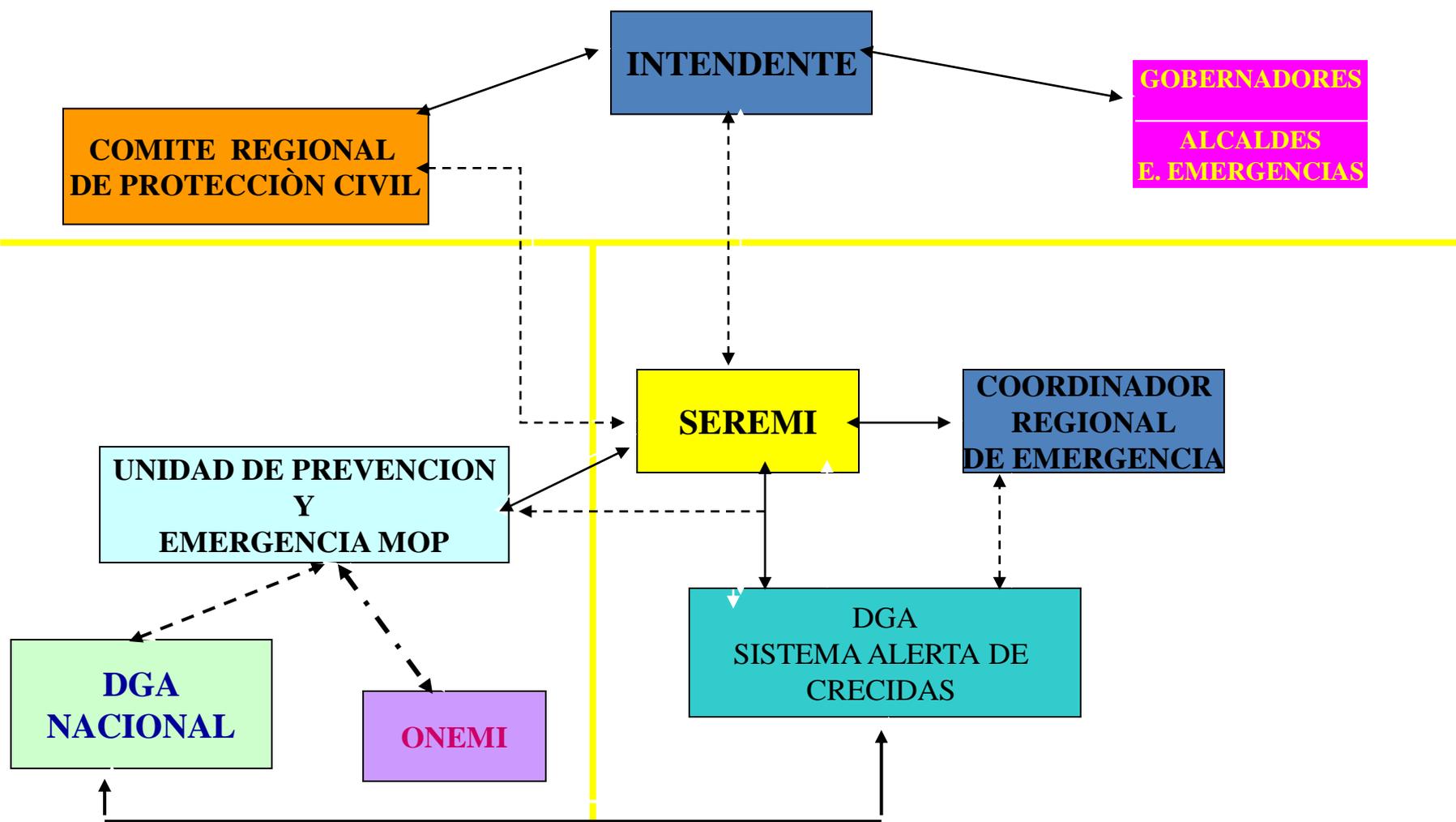


Es notable la baja de la temperatura del agua, coincidentemente con el peak de los caudales.

Actualmente dispone de 3 niveles de alertas dependiendo del descenso horario del nivel del lago.



# SISTEMA DE INFORMACION MOP Y MONITOREO DE ALERTA DE CRECIDAS



# Conclusiones

- Se dispone de un sistema de umbrales, único, nacional y actualizado
- Los umbrales se encuentran en uso en la Dirección, Oficinas Regionales y Oficina de Emergencias
- Los umbrales se deben verificar ante eventos extremos, con el fin de validarlos y corregirlos si es necesario
- La verificación de los umbrales en cada evento de crecida, debiera conducir a un mejor conocimiento práctico del comportamiento de la cuenca ante dichos eventos.
- El pronóstico de caudales, para que sea efectivo, se debe realizar con pronósticos meteorológicos de precipitación y temperatura.



División de Hidrología  
Dirección General de Aguas



ODMP

## Taller Regional sobre la Previsión de Crecidas Repentinas para América del Sur

# Sistema de alertas de crecidas.

Dirección General de Aguas  
Ministerio de Obras Públicas  
Chile

Santiago, Chile, Octubre 2011