



**GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS**

**DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES  
DE ALERTA DE CAUDALES, LLUVIAS  
Y TEMPERATURAS DEL SISTEMA DE  
TRANSMISIÓN DE DATOS DE LA DGA**

**REALIZADO POR:**

**RODHOS ASESORÍAS Y PROYECTOS LTDA.**

**S.I.T. N° 202**

**SANTIAGO, 2010**

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

Ministro de Obras Públicas  
Ingeniero Civil Sr. Hernán de Solminihac Tampier

Director General de Aguas  
Abogado Sr. Matías Desmadryl Lira

Jefa División de Hidrología  
Ingeniera Civil Sra. María Angélica Alegría Calvo

Inspección Fiscal  
Ingeniera Civil Sra. Judith Pagani Soto  
Ingeniero Civil Sr. Brahim Nazarala Grez

**RODHOS ASESORÍAS Y PROYECTOS LTDA.**

Jefe de Proyecto  
Ingeniera Civil MBA Sra. Damaris Orphanópoulos Stehr

Profesionales  
Ingeniero Civil Sr. Pascal Dumoulin Weitzel  
Ingeniero Civil Sr. Pablo Isensee Martínez  
Asistente Sra. Jimena Velásquez Pastene



**DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE ALERTA DE  
CAUDALES, LLUVIAS Y TEMPERATURAS  
DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS DE LA DGA**

**INFORME FINAL**

**INDICE**

		<b>Pág.</b>
<b>CAP 1</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>CAP 2</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>7</b>
<b>CAP 3</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>46</b>
	<b>3.1 Zonas de amagamiento y fechas</b>	<b>46</b>
	<b>3.2 Caudales correspondientes</b>	<b>47</b>
	<b>3.3 Precipitaciones y temperaturas</b>	<b>48</b>
	<b>3.4 Casos especiales</b>	<b>49</b>
<b>CAP 4</b>	<b>ENTREVISTAS Y CUESTIONARIO</b>	<b>50</b>
	<b>4.1 Entrevistas DGA Central y Metropolitana</b>	<b>50</b>
	<b>4.2 Entrevistas por video-conferencia</b>	<b>63</b>
	<b>4.3 Contenido del Cuestionario</b>	<b>70</b>
	<b>4.4 Respuestas al cuestionario</b>	<b>73</b>
<b>CAP 5</b>	<b>SIG</b>	<b>74</b>
	<b>5.1 Estaciones satelitales y umbrals</b>	<b>74</b>
	<b>5.2 Coberturas de zonas amagadas</b>	<b>75</b>
	<b>5.3 Coberturas de puntos que cuentan con una relación de pronóstico de corto plazo</b>	<b>76</b>
	<b>5.4 Coberturas de umbrales</b>	<b>77</b>

<b>CAP 6</b>	<b>DETERMINACIÓN DE UMBRALES</b>	<b>78</b>
	<b>6.1 Identificación de estaciones de control y recopilación de estadísticas</b>	<b>78</b>
	<b>6.2 Análisis y establecimiento de umbrales</b>	<b>78</b>
	<b>XVª Región de Arica y Parinacota</b>	<b>79</b>
	<b>Iª Región de Tarapacá</b>	<b>93</b>
	<b>IIª Región de Antofagasta</b>	<b>96</b>
	<b>IIIª Región de Atacama</b>	<b>106</b>
	<b>IVª Región de Coquimbo</b>	<b>114</b>
	<b>Vª Región de Valparaíso</b>	<b>115</b>
	<b>Región Metropolitana</b>	<b>122</b>
	<b>VIª Región de O'Higgins</b>	<b>139</b>
	<b>VIIª Región del Maule</b>	<b>142</b>
	<b>VIIIª Región del Biobío</b>	<b>151</b>
	<b>IXª Región de la Araucanía</b>	<b>162</b>
	<b>XIVª Región de los Ríos</b>	<b>169</b>
	<b>Xª Región de los Lagos</b>	<b>172</b>
	<b>XIª Región de Aysén</b>	<b>177</b>
	<b>XIIª Región de Magallanes</b>	<b>184</b>
<b>CAP 7</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>192</b>
	<b>CUADRO MAESTRO</b>	<b>198</b>
	<b>ANEXO DIGITAL</b>	

**CAPÍTULO 1****INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El presente estudio responde al llamado a licitación N° 1019-321-LE09 publicado en el portal de Chilecompras por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, y fue adjudicado a la empresa Rodhos Asesorías y Proyectos Ltda. a través de la Resolución N° 3724 del 19 de Noviembre de 2009.

La necesidad de realizar estudios de alerta de crecidas en los ríos de Chile, está documentada tempranamente (1974) en un estudio realizado por J. Orphanópoulos y P. Sapiains, del entonces Departamento de Defensas Fluviales, hoy dependiente de la Dirección de Vialidad.

En efecto, la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas viene haciendo estudios de alerta de crecidas desde el año 1983, esto es, desde hace más de 25 años. El primer estudio, realizado para la cuenca del Itata, así como todos los estudios posteriores, tuvieron por objetivo determinar lugares que se inundan, analizar para ellos la factibilidad técnica de conocer los caudales de crecida con la anticipación suficiente que permitiera tomar algunas medidas paliativas, y proponer una forma de organización de las comunidades y las autoridades para enfrentar los eventos de desbordes e inundaciones.

El año 1983 comenzó así una línea de trabajo, que se desarrolló en tres etapas, hasta 1988, y que entregó como resultado, las relaciones que debían emplearse para anticipar las crecidas en los lugares prioritarios de inundación en las regiones más críticas del país.

En la actualidad, se puede encontrar en cada región del país, la existencia de un sistema de alerta de crecidas de formación más bien empírica, que se ha ido adaptando a las necesidades y requerimientos, lo que ha ocurrido descentralizadamente. El hecho de contar con estaciones satelitales que permiten obtener y manejar información en gabinete, en tiempo real, ha permitido el desarrollo y aplicación de los diversos sistemas de alerta que se aplican hoy en el país. En la actualidad habría 77 estaciones de alerta, asociadas a cauces naturales, que se desagregan de la manera que se explica en el Cuadro N° 1.1. Todas ellas tienen un origen empírico, y no hay antecedentes escritos sobre su génesis.

**Cuadro N° 1.1**  
**Detalle del sistema de alerta de crecidas actual**

Región	N° Sistemas	Sobre ríos	Sobre lagos	Detalle de ríos o lagos
15	3	3		Ríos Lluta, San José
1	1	1		Quebrada de Tarapacá
2	4	4		Ríos Loa y Salado
3	2	2		Ríos Copiapó y Huasco
4	4	4		Ríos Elqui, Grande, Choapa y Cuncumén
5	5	5		Ríos Petorca, Aconcagua y Putaendo
RM	4	4		Ríos Mapocho, Maipo y Estero Arrayán
6	5	5		Ríos Pangal, Claro, Cachapoal y Tinguiririca
7	21	21		Ríos Teno, Colorado, Palos, Mataquito, Melado, Claro,

				Maule, Longaví, Achibueno, Ancoa y Loncomilla
8	11	11		Ríos Ñuble, Bío-bío, Pangué, Polcura y Laja
9	4	4		Ríos Cholchol, Toltén, Cautín
14	1	1		Río Cruces
10	4	4		Ríos Rahue, Negro, Puelo y Futaleufú
11	7	6	1	Ríos Simpson, Baker, Pascua. Lagos: Cachet 2
12	1		1	Lago Dickson

Sin embargo, en muchos casos no ha habido una revisión ni una actualización periódica o sistemática, que permita adecuar los umbrales a aspectos como cambios en la dinámica territorial, nuevas canalizaciones, nuevas actividades, cambio climático, etc.

Por lo señalado, el objetivo del presente trabajo es realizar una actualización del sistema de umbrales de crecidas en todo el país, atendiendo especialmente a los aspectos mencionados y resaltados por las propias regiones. Interesa revisar los puntos de inundación que requerirían un sistema de alerta, revisar las estaciones estratégicas de control, revisar las variables que explican la crecida, analizar la necesidad de incluir algunas variables adicionales a las consideradas originalmente (como temperaturas y niveles de lagos), y revisar los rangos a los cuales se asocian los tres umbrales de alerta, azul, amarilla y roja.

De acuerdo con lo expresado, los objetivos específicos del presente trabajo son los siguientes:

- Revisar las estaciones satelitales y no satelitales incluidas en el actual sistema de alerta, e incluir otras, que se consideren estratégicas. Esta selección se efectúa en conjunto con la DGA Regional.
- Revisar las variables que se encuentran en el actual sistema de alerta, y definir otras que se consideren necesarias o estratégicas, que deban ser incluidas. Esta definición se realiza en conjunto con el personal idóneo de cada Dirección Regional.
- Determinar, a través de un análisis hidrológico y meteorológico, el valor de los umbrales azul, amarillo y rojo de cada una de las variables.
- De ser posible, determinar la confiabilidad de los valores umbrales, y el riesgo de que se entreguen alertas falsas o de que se dé la situación contraria a la prevista.
- Recomendar un plan de actualización de variables y umbrales, a lo que las Direcciones Regionales agregarán las consideraciones territoriales relacionadas con el daño a la población y comunidades.

El alcance geográfico del estudio abarca todo el país, y dentro de cada región, los puntos de inundación que hoy en día se consideren estratégicos.

En cuanto al alcance conceptual, el trabajo de actualización se solicita para las estaciones satelitales, y no incluye el análisis de los umbrales azules inferiores, que no se refieren a crecidas sino que a sequías.

**CAPÍTULO 2****REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA****2.1 Medidas de emergencia para prevención y reducción de pérdidas por crecidas. Jorge Orphanópoulos y Patricio Sapiains, Departamento de Defensas Fluviales, MOP, 1974. Colaboración solicitada por la División de Recursos Hídricos de Naciones Unidas.****Objetivo**

Se inicia el estudio señalando que en un país como Chile son muchos los puntos de potencial inundación, y, por el contrario, son pocos los recursos económicos y humanos para enfrentarlas, de modo que no será posible evitar completamente el daño por crecidas. Por esta razón es importante desarrollar medidas de instrucción a la población potencialmente afectada, y medidas de emergencia que deberán aplicar las autoridades de las instituciones correspondientes. Ya en esa época existía una Oficina de Emergencia, dependiente del Ministerio del Interior.

**Contenido**

El contenido se desarrolla en base a tres temas: una descripción de la forma en que están organizados los servicios de emergencia frente a catástrofe, la descripción de casos con las medidas técnicas de largo y corto plazo, y una descripción del rol del Servicio Nacional de Salud.

En la introducción, se plantea que, dadas las condiciones hidrológicas de Chile, de fuerte pendiente y corto desarrollo de sus ríos, se ve como necesario un servicio de alerta de crecidas, que alerte a la población en cuanto a la ocurrencia y magnitud de las crecidas, y a las autoridades para que tomen las medidas del caso. Un servicio de alerta se ve posible, dada la red de estaciones hidrometeorológicas existentes y su distribución, que permitirían dar aviso, en el mejor de los casos, con hasta 15 horas de anticipación al evento. Se hace hincapié en que las limitaciones para desarrollar este sistema dentro del Departamento de Defensas Fluviales, se deben a falta de personal para desarrollar los estudios correspondientes. No obstante ello, el esquema se ve como posible, porque los estudios podrían contratarse con oficinas particulares, y hay un Servicio Meteorológico que podría asumir el rol de alertar a la población.

Se hace una relación histórica, donde se señala que antes de 1960, cada servicio mantenía una red hidrométrica de acuerdo con sus propias necesidades: Endesa, Servicios de Agua Potable, Dirección de Riego, Fuerza Aérea de Chile. Por los años 60, se desarrolló un proyecto hidrometeorológico con apoyo de Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas, el que en 1974 estaba ejecutado al 95%, y que racionalizó la administración de todas las redes (bajo la Dirección General de Aguas, creada en 1969).

Se menciona el gran avance que introdujo la llegada de la computación en el manejo y traducción de las estadísticas.

Todo ello apoya la postura de instalar una red de estaciones de alerta.

En cuanto a la organización de los servicios de emergencia, se hace una descripción de la planificación local de la Oficina de Emergencia del Ministerio del Interior, basada en la estructura de éste, y la red de

instituciones colaboradoras, como Fuerzas Armadas, Carabineros, Servicio Nacional de Salud, Obras Públicas, Vivienda, y otras voluntarias como Bomberos, Cruz Roja, radioaficionados, aviación deportiva y otros. La planificación local contempla los peligros históricos de la zona, como también el inventario de servicios, materiales y recursos humanos para afrontarlos.

En los planes de emergencia, se considera que las escuelas y casas fiscales anteriormente enroladas se usan como albergues, la evacuación y desplazamiento de gente están en manos del personal de Fuerzas Armadas, los programas médicos de emergencia los desarrolla el Servicio Nacional de Salud, materiales y víveres los provee la Oficina de Emergencia a partir de su propio stock. La reconstrucción posterior de sectores dañados se estudia en una comisión, y se encarga a las reparticiones correspondientes.

Sin embargo, se observa que la planificación local no ha sido desarrollada en todas las provincias, que está en proceso, y que aproximadamente sólo un 10% de las provincias han hecho caso de la necesidad de formulación de un plan de emergencia, otros sólo han hecho planes de escritorio, y otros aún no han redactado sus planes a pesar de haber comprendido el problema.

Uno de los problemas que dificulta la labor de la oficina de emergencia, es el nivel cultural de la población afectada, que se asienta en los cauces de los ríos, por ser terrenos baratos que nadie reclama, y por el desconocimiento total de los riesgos que ello significa.

Antes de entrar al estudio de casos, se hace una reflexión sobre la importancia de las crecidas, tanto en cuanto a su poder formativo de hábitat, su propiedad de aporte de elementos renovadores al suelo, su capacidad de limpieza, control de superpoblación y control ecológico. Grandes culturas como las del Nilo, estaban sujetas a las inundaciones periódicas, sin las cuales no se habrían podido desarrollar.

Sin embargo, continúa la reflexión, el hombre no acepta las condiciones naturales y utiliza su inteligencia para imponer otras condiciones, provenientes de sus propios deseos.

En vista de ello, para la construcción de defensas fluviales, se considera la necesidad de evaluar los costos de retirar los bienes humanos versus los costos de construir defensas, y sólo si no es posible lo primero, proceder a lo segundo.

Los lugares más vulnerables de ataque de los ríos, que requieren protección, o algún tipo de acción, son: las curvas, en su parte exterior, las terrazas fluviales de baja inundabilidad, los angostamientos.

Se presentan estudios de casos de crecidas, y las medidas de largo y corto plazo que se han tomado, en general a posteriori, para mitigar su efecto.

Un primer sistema de alerta, aunque rudimentario, se creó para la ciudad de Aysén, a raíz de la inundación de 1966, que abarcó más del 90% de su superficie.

Se presenta el caso de las acciones efectuadas en el río Mapocho de Santiago, donde se determinó la faja necesaria que requería el río para evitar las inundaciones de la ciudad. Se procedió a generar una sección útil de escurrimiento, limpiando el cauce y extrayendo ripio, se construyeron las defensas fluviales necesarias, se hicieron muros guarda radier en el fondo, por otro lado se promovió la reforestación en la hoya alta y la construcción de barreras sedimentadoras, y se instituyó un plan anual de mantención del cauce.

A continuación, se habla del caso del río Aconcagua, donde interesaba proteger y recuperar el terreno ribereño debido a su alta productividad para productos de exportación. Aquí la inversión en defensas fluviales es de alta rentabilidad.

Finalmente, se presenta el caso de la defensa del río Bío-Bío en Concepción, que mostró tener más ventajas que las que dieron su motivación original. El plan consistió en la construcción de una barrera recta que reduce en 150 m el ancho original del río, de 2000 m, y permitió, además de proteger los terrenos otrora inundables, recuperar terrenos para casas, áreas deportivas y caminos, asegurar la captación de planta de agua potable y el tendido de 2 cañerías de impulsión de 1 m de diámetro, cuya pasada alternativa era la vía principal de la ciudad.

En todos los casos se explica en detalle la técnica utilizada para la protección de riberas.

Posteriormente, se dedica un capítulo a la forma en que se organiza el servicio de Salud frente a las emergencias, material y recursos humanos de que dispone, y acciones que toma en los diferentes tipos de catástrofes.

### **Conclusión**

Como conclusión, se dice que Chile es un país de catástrofes, por lo que las iniciativas para enfrentarlas no son nuevas, datan de antes de 1940. También se ha contado con ayuda internacional, como ocurre en los países subdesarrollados, la cual en general es generosa, pero este valioso aporte podría ser mejor focalizado en los elementos más necesarios.

En todo caso, se dice que cada sector geográfico debiera contar con las medidas para su propia seguridad, para la adecuada atención de sus emergencias, y con los programas, equipos materiales y humanos que aseguren los mejores resultados.

Nota del consultor:

La respuesta rápida de los ríos complica el hecho que las acciones de protección puedan realizarse oportunamente. En los estudios de BF, reseñados en esta bibliografía, se han definido los lapsos con que se cuenta para aplicar alertas de acuerdo con las estaciones de control existentes para los sectores amagados identificados. Si bien muchas veces hay muchas horas de antelación, no es fácil contar con la información y pasar a la acción efectiva en forma oportuna.

## **2.2 Red primaria de prevención de crecidas – Hoya del Itata, DGA VIIIa Región como parte del Comité Científico Técnico de la Oficina Regional de Emergencia de la VIIIa Región, 1983**

### **Objetivos**

Los objetivos de este estudio fueron:

- diseñar un sistema que permitiera predecir en forma oportuna la ocurrencia de las crecidas de los ríos en la cuenca del río Itata para poder minimizar sus efectos
- organizar a las comunidades a través de la Oficina Regional de Emergencia y Gobierno Regional, estableciendo una relación permanente entre éstos y lograr optimizar las medidas que se adopten con motivo de desbordes e inundaciones.

## Contenido

En la primera parte se detalla la metodología utilizada para determinar los valores de caudal y altura de agua en una sección de control aguas arriba del sector amagado, y para asociarla a una altura de agua que provoca inundaciones en el sector amagado identificado.

Luego se describen todos los lugares amagados de la zona de estudio, como resultado de visitas a terreno y entrevistas con los alcaldes y lugareños de las comunas afectadas por inundaciones. Se definen los sectores de control correspondientes.

Como resultado, para cada sección de control se calculan y se entregan los valores de las tres alturas de agua correspondiente a los tres grados de alerta Verde, Amarilla y Roja y los tiempos de antelación que varían entre 1, 2 y 12 horas.

A continuación, se diseña la red de comunicación de alerta entre las 3 entidades que son el Observador, los Encargados Comunales de emergencia y los Alcaldes, y finalmente las Gobernaciones Provinciales. Aquí se definen los deberes de comunicación de cada una de las entidades en función del grado de alerta alcanzado y las medidas que debe tomar para cada uno de los casos (evacuación de los habitantes y enseres en la zona amagada, habilitación de lugares previstos como albergues, suspensión del tránsito por caminos o puentes, y otras). También se hacen sugerencias en cuanto a la implementación de esta red.

## Resultados

Los resultados de este estudio son netamente teóricos y se recomienda en una primera instancia calibrar la red para así poder determinar su grado de exactitud y hacer las modificaciones necesarias.

En los anexos se encuentran ejemplos de cálculos de alturas de agua en las secciones de control, los perfiles transversales de las secciones amagadas y sus secciones de control respectivas, las cartas de los alcaldes y una papeleta tipo para la transmisión de información en la red de alerta.

### **2.3 Estudio de previsión de crecidas río Mapocho. Publicación Interna DGA E.H. N° 83/6, Humberto Peña, Brahim Nazarala, Diciembre 1986**

El objetivo de este estudio fue identificar las condiciones en las cuales es posible la ocurrencia de crecidas de gran magnitud (volumen de escorrentía). Por este motivo, se buscó definir indicadores que permitieran advertir cuándo los caudales pueden alcanzar niveles peligrosos. En zonas semiáridas, indicadores de este tipo permiten reducir notablemente las expectativas de ocurrencia de crecidas de gran magnitud.

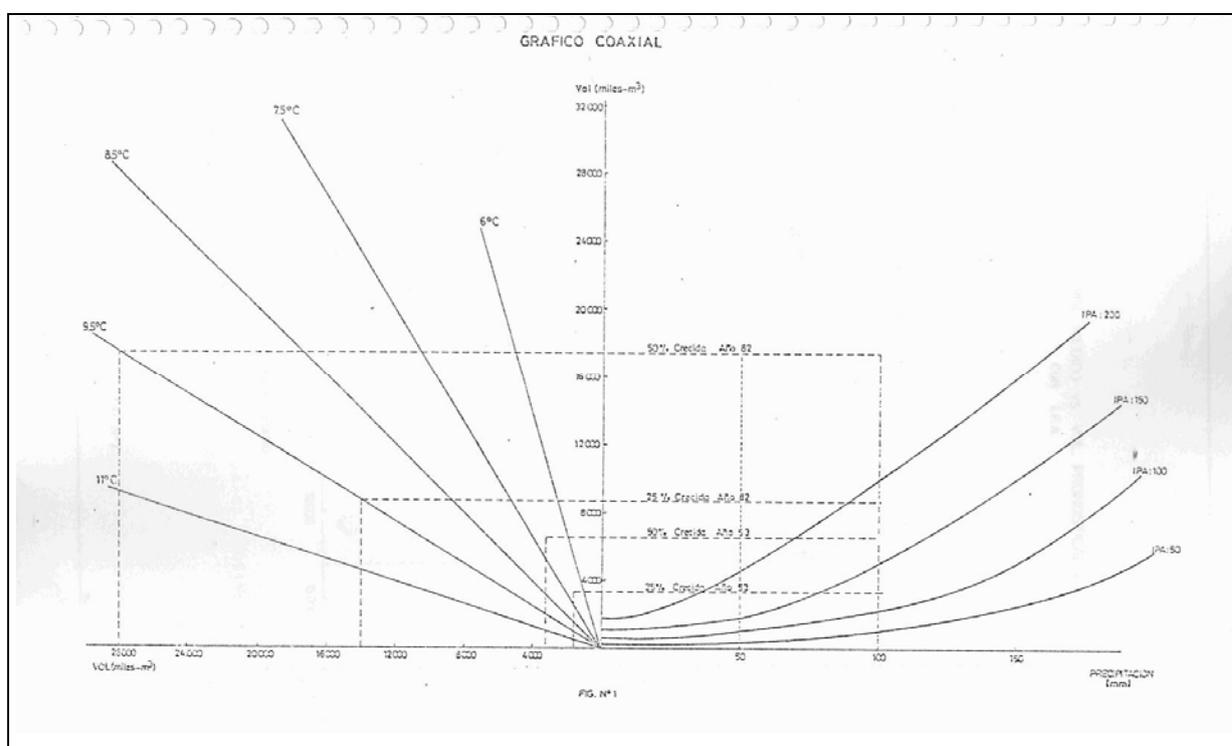
Se buscó la forma de expresar el volumen de escorrentía directa de la crecida en función de cuatro variables:

- precipitación total de la tormenta
- duración de la tormenta
- un índice de condiciones iniciales o anteriores de humedad (IPA o índice de precipitación antecedente)

- un índice de temperatura durante la tormenta (temperatura mínima diaria ponderada por la precipitación diaria).

Se analizaron 70 crecidas, para las cuales se determinaron las cuatro variables señaladas. Como resultado del estudio, se estableció un ábaco en el cual, a partir de una precipitación y un índice de precipitación antecedente, se estima un volumen de escorrentía, el cual se ajusta en función del índice de temperatura calculado para la tormenta. El ábaco se muestra en la Figura N° 2.1 adjunta.

**Figura N° 2.1**  
**Volumen de escorrentía para Mapocho en Los Almendros, en función de la precipitación, índice de precipitación antecedentes e índice de temperatura**



Como principales conclusiones del análisis se obtienen las siguientes:

- precipitaciones grandes no generan crecidas significativas, si el IPA es bajo.
- A partir de la estadística de precipitación en Quinta Normal, se identificaron cuatro condiciones de saturación de la cuenca:
  - muy desfavorable (IPA bajo 50 mm)
  - desfavorable (IPA entre 50 y 100 mm)
  - favorable (IPA entre 100 y 150 mm) y
  - muy favorable (IPA sobre 150 mm).

- También se pudo asociar una probabilidad de ocurrencia de cada una de las cuatro situaciones
  - (verano y 60% de los días de invierno)
  - 30% de los días de invierno
  - 8% de los días de invierno del 60% de los años
  - 2-3% de los días de invierno del 25% de los años
- En cuanto a la temperatura, un índice de temperatura de 8.5°C correspondiente a Quinta Normal, no modifica la escorrentía estimada a partir de las precipitaciones e IPA. Si el índice crece sobre ese valor, la escorrentía se multiplica por 1.6 para el aumento de 1 grado, y adicionalmente por 1.86 para el aumento del segundo grado por sobre esa temperatura.

## **2.4 Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa I) VIIIa Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1986**

### **Objetivo**

Este estudio tiene como objetivo principal la actualización de los estudios anteriores:

- Red primaria de prevención de crecidas – Hoya del Bío-Bío”, 1982
- Red primaria de prevención de crecidas – Hoya del Itata”, 1983

Se busca mejorar el sistema de alerta descrito en estos estudios, y revisar específicamente:

- la definición de los métodos de pronóstico (o modelos de pronóstico) a ser usados para los distintos lugares amagados seleccionados
- la especificación de equipos y diseño del sistema de transmisión de la alerta desde los puntos de control de las secciones amagadas, con el objeto de lograr una mayor efectividad en el uso del sistema de alerta, con tiempos de adelanto más cortos.

### **Contenido**

La metodología aplicada es la siguiente:

- en primer lugar, se llevó a cabo un análisis hidráulico para cada zona amagada cuyo resultado es una relación nivel-caudal que permite definir umbrales críticos en cada lugar. Este análisis se hizo en base a la extensión de curvas de descargas en el caso que existieran o al cálculo en base a antecedentes topográficos y de aforo recopilados en terreno.
- en segundo lugar se identificaron los puntos de control apropiados para establecer un sistema de pronóstico en tiempo real para cada lugar amagado, en un análisis conjunto de hidrogramas de crecidas a lo largo de cada cauce superficial
- luego se determinaron las relaciones cuantitativas de pronóstico para determinar caudales posibles de ocurrir en los puntos amagados, sobre la base de caudales o índices pluviométricos que están ocurriendo en un determinado instante en la, o las, estaciones de control predeterminadas. En conjunto con las relaciones nivel-caudal y el nivel crítico para cada lugar amagado, se determinaron los niveles de alerta a ser usados en la implementación del sistema en tiempo real

- después de determinar las curvas de frecuencia acumulada de caudales, representativas de cada uno de los lugares amagados, se derivaron estimaciones de las distribuciones de frecuencias acumuladas de las inundaciones esperadas en cada lugar y se evaluaron económicamente los beneficios (daños evitables) y costos del sistema de alerta.
- finalmente se diseñaron distintas alternativas de instrumentación y operación del sistema de alerta con su cuantificación de costos de mantención y operación respectiva y se hacen recomendaciones sobre la implementación práctica de los sistemas alternativos y el mejoramiento de las redes de medición de las variables índices básicas.

## Resultados

Se propone la DGA Regional de Concepción como centro receptor de datos y procesador de la información (aplicación de los modelos de pronóstico), e informar a la Oficina Regional de Emergencia en caso de necesidad.

El sistema operativo se describe de la siguiente forma:

- alerta para activar cuando la precipitación en 72 horas (o por defecto en 3 días) en alguna de las estaciones pluviométricas de alerta supera un valor umbral de
  - \* 85 mm en Embalse Coihueco para la cuenca del río Itata
  - \* 85 mm en Quilaco para la cuenca del Bío-Bío
- una vez activada la alerta, el sistema entra en su modo operativo y empieza el monitoreo de las estaciones fluvio y pluviométricas de control y el pronóstico en sectores amagados cada 2 horas:
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.5 * Q_{umbral}$  el monitoreo pasa a actualizarse cada 1 hora
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.8 * Q_{umbral}$  se alerta a Onemi y se mantiene abierto un canal de comunicación
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.9 * Q_{umbral}$  se avisa una posible inundación
  - \* si  $Q_{calculado} > Q_{umbral}$  se declara Alerta Roja
- cuando la precipitación en 72 horas o en su defecto de 3 días en alguna de las estaciones pluviométricas de alerta vuelve a ser inferior al valor umbral, se interroga el sistema para suspender o no la alerta.

Finalmente se recomienda implementar el sistema de alerta en los siguientes lugares de inundación, en los cuales se puede establecer modelos 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 radio manual US\$ 174.875
- sistema de plataformas colectoras de datos US\$ 804.574
- sistema mixto US\$ 231.226

Cabe mencionar el Anexo VIII “Instructivo de Operación del Sistema”, que sintetiza para cada sector amagado los pasos a seguir en caso de alerta.

En el Cuadro N° 2.1 adjunto se resumen los resultados de este estudio.

**Cuadro N° 2.1**  
**Resumen resultados Región VIII**

Cuenca	Río	Lugares amagados	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Ajuste	Tiempo de antelación (h)	Nivel de riesgo	Caudal umbral (m3/s)	Propuesto para implementar Sistema de Alerta
Itata	Itata	General Cruz	Itata en General Cruz	Q-Q	Est. Fluv. Itata en General Cruz	+	6	4	1000	
			instalar limnógrafo y desarrollar curva de descarga		Est. Fluv. Itata en Cholguán e Itata en General Cruz					
			Itata en General Cruz	Q-P	Est. Pluv. Coihueco Embalse	≈	4			
Itata	Itata	Cerro Negro	Itata en Cerro Negro	Q-Q	Est. Fluv. General Cruz	+	8	4		
			reimplementar estación con limnógrafo							
Itata	Itata	Nueva Aldea	Itata en Nueva Aldea	Q-Q	Est. Fluv. Itata en General Cruz	+	10	3	1700	
Ñuble	Ñuble	Ruta 5	Ñuble en Longitudinal	Q-Q	Est. Fluv. Ñuble en Longitudinal	≈	4	2		SI
					Est. Fluv. Ñuble en San Fabian					
Ñuble	Ñuble	Confluencia con Itata	Ñuble en Confluencia con Itata	Q-Q	Est. Fluv. Ñuble en Longitudinal	No hay d	4	2	2600	SI
Bío-Bío	Bío-Bío	Bío-Bío en Santa Bárbara	Bío-Bío en Rucalhue	Q-P	Est. Pluv. Quilaco	≈+	4	2	4000	SI
			instalar estación fluviométrica con limnógrafo en Santa Bárbara							
Bío-Bío	Bureo	Mulchén	Bureo en Mulchén	Q-P	Est. Fluv. Bureo en Mulchén	≈	4		500	
					Est. Pluv. Coihueco Quilaco					
Bío-Bío	Mulchén	Mulchén en Mulchén	Mulchén en Mulchén	Q-P	Est. Fluv. Mulchén en Mulchén	+	4	2	170	
					Est. Pluv. Quilaco					
Bío-Bío	Duqueco	Duqueco en Villucura		Q-P	Est. Fluv. Duqueco en Villucura	≈	2	3	940	
					Est. Pluv. Quilaco					
Bío-Bío	Bío-Bío	En junta con Vergara	Bío-Bío en puente Coihue	Q-Q	Est. Fluv. Bío-Bío en Rucalhue	≈	8-10	4		
			instalar estación fluviométrica con limnógrafo							
Bío-Bío	Vergara	Puente Vergara	Vergara en Puente Vergara	Q-Q	Est. Fluv. Malleco en Collipulli	no se	6	1	1100	
				Q-Q	Est. Fluv. Vergara en Tijeral	no se	14			

**Cuadro N° 2.1 (continuación)**  
**Resumen resultados Región VIII**

Bío-Bío	Bío-Bío	San Rosendo	Bío-Bío en San Rosendo	Q-Q	Est. Fluv. Bío-Bío en Rucalhue		8-10	1	1000	
			instalar estación fluviométrica con limnigrafo		Est. Fluv. Duqueco en Cerrillos					
					Est. Fluv. Laja en Puente Perales					
			Laja en Puente Perales	Q-Q	Est. Fluv. Laja en Tucapel	+	4-6			
			Laja en Puente Perales	Q-P	Est. Fluv. Laja en Puente Perales	+	4			
					Est. Pluv. Quilaco					
Bío-Bío	Laja	San Rosendo	Laja en Puente Perales	Q-Q	Est. Fluv. Laja en Tucapel	+	4-6			SI
			Laja en Puente Perales	Q-P	Est. Fluv. Laja en Puente Perales	+	4			
			instalar limnigrafo en Laja en San Rosendo		Est. Pluv. Quilaco					
Bío-Bío	Bío-Bío	Hualqui	Bío-Bío en desembocadura	Q-Q	Est. Fluv. Bío-Bío en Rucalhue	+	4-6		5841	SI
			instalar limnigrafo		Est. Fluv. Duqueco en Cerrillos					
					Est. Fluv. Laja en Puente Perales					
					Est. Fluv. Bío-Bío en desembocadura					
Bío-Bío	Bío-Bío	Concepción	Bío-Bío en desembocadura	Q-Q	Est. Fluv. Bío-Bío en Rucalhue	+	4-6	1	3.35m	SI
					Est. Fluv. Duqueco en Cerrillos					
					Est. Fluv. Laja en Puente Perales					
					Est. Fluv. Bío-Bío en desembocadura					
		Riberas del Ñuble							2350	
		Villa Illinois							2600	

Quando no hay factibilidad de implementar un sistema de pronóstico o que se puede mejorar, se informa en rojo las soluciones propuestas por los consultores para el futuro

Además se propone:

- Instalación pluviógrafo en estación meteorológica Cholguán
- Implementación estación pluviográfica Polcura en Balseadero
- Implementación estación pluviográfica San Lorenzo
- Implementación estación pluviográfica Poco a Poco

El valor de mayor riesgo es el 1.

## **2.5 Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa I); Determinación de lugares de previsión para las regiones IX y X (hasta la cuenca del río Bueno inclusive). BF Ingenieros Civiles, DGA, 1986.**

### **Objetivo**

El objetivo general de este estudio fue la determinación de los lugares para los cuales resultaría necesario y factible establecer un sistema de alerta de crecidas, dentro de las Regiones IX y X (incluyendo hasta la cuenca hidrográfica del río Bueno).

- identificación de los lugares amagados
- determinación de la factibilidad de establecer para estos lugares, modelos de pronóstico que permitan la operación de un sistema de alerta en “tiempo real”.

### **Contenido**

Sobre la base de los antecedentes disponibles (artículos de diarios, entrevistas, visitas a terreno), se identificaron las principales zonas ribereñas afectadas por las crecidas de los ríos.

Una vez identificadas las zonas amagadas se realizó un análisis de la factibilidad de establecer modelos de pronóstico para cada una de ella, ocupando las estaciones fluviográficas y pluviográficas disponibles. En aquellos lugares donde no se ha detectado factibilidad por falta de datos, el consultor también propuso la implementación de estaciones para poder establecer modelos en el futuro. Además se describieron posibles mejoras a los sistemas donde hay factibilidad de pronosticar las crecidas.

En función de los diagnósticos realizados se evaluaron los beneficios de un sistema de alerta de crecidas y se llevó a cabo una graduación de nivel de riesgo de los lugares amagados. Como resultados de estos análisis los consultores propusieron implementar un sistema de alerta en 4 de los 11 lugares amagados preseleccionados, correspondientes a los que fueron categorizados en el primer nivel de riesgo:

- Ciudad de Temuco (río Cautín)
- Localidad de Nueva Imperial (Río Chol-Chol)
- Localidad de Carahue (río Imperial)
- Ciudad de Valdivia y poblados cercanos de Huelhellhue y Pishuinco (río Calle-Calle)

Sólo para el último lugar no existe factibilidad de establecer de inmediato un modelo de pronóstico. En una primera instancia se requiere implementar las estaciones de medición para intentar formular posteriormente los modelos de pronósticos.

El costo de implementación del sistema de alerta se evalúa entre 92.000 y 150.000 US\$ en función de los sistemas de transmisión de información elegidos.

### **Resultados**

En el siguiente Cuadro N° 2.2 se resumen los principales resultados de este estudio.

**Cuadro N° 2.2**  
**Resumen resultados Regiones IX y X**

Cuenca	Lugares amagados	Factibilidad	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Desfase (h)	Nivel de riesgo
Imperial	Traiguén en Traiguén	NO	Est. Limnigráfica Traiguén en cernanías Traiguén	Q-Q	Traiguén en Victoria	> 4	2
			Est. Limnigráfica Traiguén en cernanías Traiguén	Q-P	Pluviógrafo en est. Pluviométrica existente Victoria	?	
Imperial	Chol-Chol y Renaco en Chol-Chol	SI	Chol-Chol en Chol-Chol	Q-Q	Lumaco en Lumaco y Chufquén en Chufquén	10	3
			Est. Limnigráfica Renaco en Chol-Chol	Q-P	Est. Pluviográfica en Reducción Tranalhue	3 a 4	
			Chol-Chol en Chol-Chol	Q-Q	Est. Limnigráfica Quillén en Botrolhue además de las estaciones existentes Chufquén en Chufquén y Lumaco en Lumaco	?	
Imperial	Cautín en Temuco	SI	Cautín en Cajón	Q-Q	Cautín en Rari-Ruca	entre 7 y 10	1
			Regla limnimétrica en lugar amagado para complementar el sistema actual				
Imperial	Chol-Chol en Nueva Imperial	SI	Chol-Chol en Chol-Chol	Q-Q	Lumaco en Lumaco y Chufquén en Chufquén	14	1
			Est. Limnigráfica Chol-Chol en Nueva Imperial	Q-Q	Est. Limnigráfica Quillén en Botrolhue además de las estaciones existentes Chufquén en Chufquén y Lumaco en Lumaco	?	
Imperial	Imperial en Carahue	SI ?	Imperial en Carahue	Q-Q	Lumaco en Lumaco, Chufquén en Chufquén, Chol-Chol en Chol-Chol, Cautín en Rari-Ruca, Cautín en Cajón, Quepe en Quepe	?	1
			Est. Limnigráfica Imperial en lugar amagado	Q-Q	Lumaco en Lumaco, Chufquén en Chufquén, Chol-Chol en Chol-Chol, Cautín en Rari-Ruca, Cautín en Cajón, Quepe en Quepe	?	

**Cuadro N° 2.2 (continuación)**  
**Resumen resultados Regiones IX y X**

Cuenca	Lugares amagados	Factibilidad	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Desfase (h)	Nivel de riesgo
Toltén	Toltén en Toltén y Nueva Toltén	NO	Est. Limnigráfica Toltén en lugar amagado	Q-Q	Est. Limnigráficas Toltén en Teodoro Schmidt y Donguil en Gorbea	?	4
Toltén	Toltén en Nueva Toltén y Hualpín (balseos)	NO	Est. Limnigráfica Toltén en lugar amagado	Q-Q	Est. Limnigráficas Toltén en Teodoro Schmidt y Donguil en Gorbea	?	4
Valdivia	Cruces en varias localidades	NO	Limnógrafo en est. Limnimétrica existente Cruces en Ruraco	Q-Q	Est. Limnigráfica Cruces antes junta Leufucade	4	3
					Pluviógrafo en est. Pluviométrica existente Loncoche	4	
Valdivia	Calle-Calle en Valdivia y poblados de Huellehue y Pishuenco	NO	2 est. Limnigráficas Calle-Calle en cercanías de Valdivia	Q-Q	Est. Limnigráficas San Pedro en Los Lagos y Callileufu en Los Lagos	> 8	1
Bueno	Llallehue en La Unión	NO			Pluviógrafo en est. Pluviométrica existente Desagüe Lago Riñihue	> 8	2
Bueno	Damas y Rahue en Osorno	NO	Est. Limnigráfica Damas en Tacamo mas regla limnimétrica en lugar amagado	Q-P	Est. Pluviográfica en Central Pilmaiquén o otra nueva dentro de la cuenca	4	2
			Est. Limnigráfica Rahue en Osorno	Q-Q	Est. Limnigráfica existente Negro en Chohuilco mas nueva est. Limnigráfica Rahue en Pichil	5 a 6	
			Est. Limnigráfica Rahue en Osorno	Q-P	Pluviógrafo en est. Pluviométrica existente La Pampa	5 a 6	

\* Cuando no hay factibilidad de implementar un sistema de pronóstico o que se puede mejorar, se informa en rojo las soluciones propuestas por los consultores para el futuro

El nivel de riesgo mayor es 1.

## **2.6 Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa II); Determinación de lugares de previsión para las regiones V, VI, VII y R.M. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987**

### **Objetivo**

El objetivo general de este estudio es la determinación de los lugares para los cuales resultaría necesario y factible establecer un sistema de alerta de crecidas, dentro de las regiones V, VI, VII y Región Metropolitana:

- identificación de los lugares amagados
- determinación de la factibilidad de establecer para estos lugares, modelos de pronóstico que permitan la operación de un sistema de alerta en tiempo real.

### **Contenido**

Las cuencas principales en esta región corresponden a los ríos: Petorca, La Ligua, Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito y Maule; y a los esteros Marga Marga y Nilahue.

Sobre la base de los antecedentes disponibles (artículos de diarios, entrevistas, visitas a terreno), se identificaron las principales zonas ribereñas afectadas por las crecidas de los ríos.

Una vez identificadas las zonas amagadas, se realizó un análisis de la factibilidad de establecer modelos de pronóstico para cada una de ellas, ocupando las estaciones fluviográficas y pluviográficas disponibles. En aquellos lugares donde no se ha detectado factibilidad por falta de datos, el consultor también propuso la implementación de estaciones para poder establecer modelos en el futuro. Además, se describen posibles mejoras a los sistemas donde hay factibilidad de pronosticar las crecidas.

En función de los diagnósticos realizados, se evaluaron los beneficios de un sistema de alerta de crecidas y se llevó a cabo una graduación del nivel de riesgo de los lugares amagados. Como resultados de estos análisis los consultores propusieron implementar un sistema de alerta en 6 de los 17 lugares amagados preseleccionados, todos correspondientes al primer nivel de riesgo:

- Localidades entre La Calera y Quillota (río Aconcagua)
- Santiago (río Mapocho)
- Valdivia de Paine (ríos Maipo y Angostura)
- Rapel (río Rapel)
- Licantén (río Mataquito)
- Rengo (río Claro)

Solo para el último lugar no existe factibilidad de establecer un modelo de pronóstico de inmediato. Para intentar formular modelos de pronóstico, se requiere implementar primero algunas estaciones de medición adicionales.

También se propone crear sistemas de alerta para los siguientes lugares amagados, pero con un grado menor de urgencia:

- San Felipe (río Aconcagua)
- Localidades de Peñaflor, Talagante y El Monte (río Mapocho)

- Isla de Maipo (río Maipo)
- Localidades entre Olivar y Peumo (río Cachapoal)
- Talca (río Claro)
- Constitución (río Maule)
- Ancoa (río Linares)

El costo de implementación del sistema de alerta se evalúa entre 226.000 y 457.000 US\$ en función del tipo de sistema de transmisión de información elegido y de la cantidad de centros operadores:

- 2 (Santiago, Talca)
- 3 (Santiago, Rancagua, Talca) o
- 4 (Santiago, Rancagua, Quillota, Talca).

#### Resultados

En el siguiente Cuadro N° 2.3 se resumen los principales resultados de este estudio.

**Cuadro N° 2.3**  
**Resumen resultados Regiones V, VI, VII y Metropolitana**

Cuenca	Río	Lugares amagados	Factibilidad	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Desfase (h)	Pluviógrafos ?	Nivel de riesgo	Apto para pronóstico
Aconcagua	Aconcagua	San Felipe	SI	Aconcagua en San Felipe	Q-Q	Aconcagua en Chacabuquito, Los Quilos y/o Colorado	>5	SI	2	+
Aconcagua	Aconcagua	entre La Calera y Quillota	SI	Aconcagua en Romeral	Q-Q	Aconcagua en San Felipe	10 a 13	SI	1	++
			SI	Aconcagua en Romeral	Q-Q	Aconcagua en Chacabuquito	>15			
				Reinstalación de la est. Aconcagua en San Felipe y regla limnimétrica en La Calera						
Marga Marga	Est. Viña del Mar	Viña del Mar	NO					NO	2	-
				Est. Limnigráfica Est. Viña del Mar en El Salto	Q-P	Est. Pluvio. El Salto, rodelillo y El Belloto mas instalación de 1 est. Pluviográfica en parte alta de la cuenca y 1 pluviógrafo en est. Pluvio. Existente Las Piedras	<3			
Maipo	Mapocho	Santiago	?	Mapocho en Los Almendros	Q-T-P	Est. Meteo. Quinta Normal y/o Cerro Calán mas est. La Ermita y La Parva	?	SI	1	++
Maipo	Mapocho	Peñaflor, Talagante y El Monte	SI	Mapocho en Rinconada de Maipú	Q-Q	Mapocho en Los Almendros	8 a 10	SI	2	+
				Regla limnimétrica en las cercanías de Peñaflor						
Maipo	Maipo	Isla de Maipo	SI	Maipo en el Rosario o en Chiñigüe	Q-Q	Maipo en el Manzano	8 a 10	NO	2	+
				Reinstalación de la est. Limnigráfica Maipo en Chiñigüe						
Maipo	Maipo	Valdivia de Paine	SI	Maipo en el Rosario o en Chiñigüe	Q-Q	Maipo en el Manzano	8 a 10	NO	1	++
Maipo	Codegua	Graneros	NO					NO	2	-
				Nueva est. Limnigráfica Codegua en La Leonera	Q-P	Est. Pluviométrica existente Graneros y nueva est. Pluviográfica La Punta				
Maipo	Angostura	Valdivia de Paine	?	Angostura en Valdivia de Paine	Propagación de crecidas	Angostura en Angostura y Paine en Longitudinal	2 a 3	SI	1	++
				Angostura en Valdivia de Paine	Q-P	Est. Pluviométricas existentes Graneros SAG o El Clarillo o implementando estaciones Colonia de Paine y Aculeo Hacienda y nueva est. Pluviográfica La Punta	bajo			

**Cuadro N° 2.3 (Continuación)**  
**Resumen resultados Regiones V, VI, VII y Metropolitana**

Cuenca	Río	Lugares amagados	Factibilidad	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Desfase (h)	Pluviógrafos ?	Nivel de riesgo	Apto para pronóstico
Rapel	Claro	Rengo	NO	Claro en Hacienda Las Nieves <i>Regla limnimétrica en Rengo</i>	Q-P	Est. Pluv. Rengo y/o Central Las Nieves	?	SI	1	++
Rapel	Cachapoal	Peumo	SI	?	Q-Q	Cachapoal en Puente Termas y Claro en Hac. Las Nieves	10 a 15	SI	2	+
Rapel	Cachapoal	Olivar y Doñihue	?	Cachapoal en Puente Arqueado menos Claro entes junta Cachapoal <i>entre Peumo y Olivar</i>	Propagación de crecidas y HUS	?	5 a 7	SI	2	+
				<i>Nueva est. limnigráfica Claro en Tunca</i>	Q-Q	<i>Claro en Hac. Las Nieves</i>	?			
Rapel	Rapel	Rapel	SI	Rapel en Corneche <i>Regla limnimétrica Rapel en Rapel</i>	Q-Q	Rapel en salida embalse <i>Coordinar con ENDESA políticas de operación del embalse</i>	2 a 3	?	1	++
Mataquito	Lontué	Lontué	NO	?	Q-Q	<i>Nueva est. limnigráfica Lontué entre Lontué y junta con Teno</i>		SI	2	-
Mataquito	Mataquito	Licantén	NO	<i>Est. Limnigráfica Mataquito en Licantén</i>	Q-Q	<i>Nueva est. limnigráfica Lontué entre Lontué y junta con Teno</i>		SI	1	++
Maule	Claro	Talca	SI	Claro en Talca	Q-Q y Q-P	Claro en Camarico y Lircay en Las Rastras y est. Pluviogr. San Agustín de la Aurora, El Peral Fundo, Talca U.C. y Colorado	3 a 4	SI	2	+
Maule	Maule	Constitución	SI?	Maule en Pichamán <i>Maule en Forel (implementar limnigrafo)</i>	Q-Q, propagación de crecidas y HUS	Varias <i>Maule en Longitudinal, Claro en Talca y Concomilla en Las Brisas</i>	10 a 15	?	2	+
				<i>Regla limnimétrica Maule en Constitución</i>						
Maule	Ancoa	Linares	SI	Ancoa en El Llepo <i>Mantención estación</i>	Q-Q	Ancoa en El Morro	2 a 4	?	2	+
				Ancoa en El Llepo <i>Mantención estación</i>	Q-Q	Ancoa antes Túnel Melado <i>Mantención estación</i>	6 a 8	?		

\* Cuando no hay factibilidad de implementar un sistema de pronóstico o que se puede mejorar, se informa en rojo las soluciones propuestas por los consultores para el futuro

El nivel de riesgo mayor es 1.

## **2.7 Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa II); Sistema de Alerta de Crecidas para la IXa Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987**

### **Objetivo**

El objetivo general de este estudio es el diseño de un sistema de alerta de crecidas para las localidades de la IXa Región que fueron catalogadas como las más críticas en el estudio “Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa I); Determinación de lugares de previsión para las regiones IX y X (hasta la cuenca del río Bueno inclusive)” realizado en Octubre de 1986 por estos mismos consultores. Dichas localidades son:

- Río Cautín en Temuco
- Río Imperial en Carahue
- Río Chol-Chol en Nueva Imperial y Chol-Chol (en esta última localidad sólo se producen interrupciones de algunos caminos)

Para los lugares mencionados se pretende diseñar un sistema de alerta que incluya

- definición de los métodos de pronóstico (o modelos de pronóstico) más apropiados para los distintos sectores amagados
- especificación de equipos y diseño del sistema de transmisión de la alerta desde los puntos de control a los sectores amagado

con el objeto de lograr una mayor efectividad en el uso del sistema de alerta con tiempos de adelantos adecuados.

### **Contenido**

La metodología utilizada en el estudio fue la siguiente:

- En primer lugar, para cada zona amagada se determinó en base a un estudio hidráulico, una relación nivel-caudal, lo que permitió definir umbrales críticos en cada lugar (excepto en Imperial en Carahue donde se constató que existía influencia de las mareas). Este análisis se hizo en base a la extensión de curvas de descargas en el caso de que existieran, o en base al cálculo a partir de antecedentes topográficos y de aforo recopilados en terreno.
- En segundo lugar se identificaron los puntos de control apropiados para establecer un sistema de pronóstico en tiempo real para cada lugar amagado, en un análisis conjunto de hidrogramas de crecidas a lo largo de cada cauce superficial.
- Luego se determinaron las relaciones cuantitativas de pronóstico para determinar caudales posibles de ocurrir en los puntos amagados, sobre la base de caudales o índices pluviométricos que están ocurriendo en un determinado instante en la, o las, estaciones de control predeterminadas. Junto con las relaciones nivel-caudal y el nivel crítico para cada lugar amagado, se determinaron los niveles de alerta a ser usados en la implementación del sistema en tiempo real.
- Después de determinar las curvas de frecuencia acumulada de caudales consideradas representativas de cada uno de los lugares amagados, se derivaron estimaciones de las

distribuciones de frecuencia acumulada de las inundaciones esperadas en cada lugar y se evaluaron económicamente los beneficios (daños evitables) y costos del sistema de alerta.

- Finalmente se diseñaron distintas alternativas de instrumentación y operación del sistema de alerta con su cuantificación de costos de mantención y operación respectiva, y se hacen recomendaciones sobre la implementación práctica de los sistemas alternativos y el mejoramiento de las redes de medición de las variables índices básicas.

## **Resultados**

Se propone la DGA Regional de Temuco para ser el centro receptor y procesador (aplicación de los modelos de pronóstico) e informar a la Oficina Regional de Emergencia en caso de necesidad.

El sistema operativo se describe de la siguiente forma:

- activar alerta cuando la precipitación en 72 horas (o en su defecto de 3 días) supera un valor umbral de 60 mm en la estación pluviométrica Lumaco para la cuenca del río Chol-Chol, 60 mm en la estación pluviográfica Cerro Nielol para la cuenca del río Cautín y 60 mm en cualquiera de estas 2 estaciones para la cuenca del río Imperial
- una vez activada la alerta, el sistema entra en su modo operativo y empieza el monitoreo de las estaciones fluvio y pluviométricas de control y el pronóstico en sectores amagados cada 2 horas:
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.5 * Q_{umbral}$  el monitoreo pasa a actualizarse cada 1 hora
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.8 * Q_{umbral}$  se alerta ONEMI y se mantiene abierto un canal de comunicación
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.9 * Q_{umbral}$  se avisa una posible inundación
  - \* si  $Q_{calculado} > Q_{umbral}$ , se declara Alerta Roja
- cuando la precipitación en 72 horas o en su defecto de 3 días, en alguna de las estaciones pluviométricas de alerta, vuelve a ser inferior al valor umbral, se interroga el sistema para suspender o no la alerta.

El valor presente del costo total del sistema de alerta de crecidas (inversión inicial más operación y mantención del sistema de transmisión más centro receptor y procesador de los datos) se evaluó entre 139.000 y 327.000 US\$. Por otro lado los beneficios de contar con un sistema se evaluaron a 845.000 US\$ para toda la IXa Región.

Cabe mencionar el Anexo VI, Instructivo de Operación del Sistema, que sintetiza para cada sector amagado los pasos a seguir en caso de alerta.

En el siguiente Cuadro N° 2.4 se resumen los principales resultados de este estudio.

**Cuadro N° 2.4**  
**Resumen resultados Región IX**

Cuenca	Lugares amagados	Factibilidad	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Desfase (h)	Validación	Caudal umbral (m3/s)
Imperial	Chol-Chol en Chol-Chol	SI	Chol-Chol en Chol-Chol (limnigráfica)	Q-Q	Lumaco en Lumaco y Chufquén en Chufquén	10	SI	1300
Imperial	Chol-Chol en Nueva Imperial	SI	Calculado desde Chol-Chol en Chol-Chol	Q-Q	Lumaco en Lumaco y Chufquén en Chufquén	14	NO	1200
			Est. Limnigráfica Chol-Chol en Nueva Imperial	Q-Q	Lumaco en Lumaco y Chufquén en Chufquén	24		
Imperial	Cautín en Temuco	SI	Calculado desde Cautín en Cajón	Q-Q	Cautín en Rari-Ruca	9	SI	900
Imperial	Imperial en Carahue	SI	Calculado desde Cautín en Cajón, Quepe en Quepe y Chol-Chol en Chol-Chol	Q-Q-P	Est Fluviométricas Cautín en Cajón, Quepe en Quepe y Chol-Chol en Chol-Chol Est. Pluviográfica Cerro Ñielol	6	SI	2600
			2 Est. Limnigráficas Imperial en Carahue y aguas arriba					

\* Cuando no hay factibilidad de implementar un sistema de pronóstico o que se puede mejorar, se informa en rojo las soluciones propuestas por los consultores para el futuro  
Se recomienda instalar un pluviógrafo en la estación pluviométrica existente de Lumaco

## **2.8 Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); VIa y VIIa Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987**

### **Objetivo**

El objetivo general de este estudio es el diseño de un sistema de alerta de crecidas para las localidades de las VIa y VIIa Región que fueron catalogadas como las más críticas en el estudio “Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa II); Determinación de lugares de previsión para las regiones V, VI, VII y R.M. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987.” realizado por los mismos consultores. Dichas localidades son:

- Rapel (río Rapel)
- Licantén (río Mataquito)
- Localidades entre Olivar y Peumo (río Cachapoal)
- Talca (río Claro)
- Constitución (río Maule)
- Ancoa (río Linares)

Para los lugares mencionados se pretende diseñar un sistema de alerta que incluya:

- definición de los métodos de pronóstico (o modelos de pronóstico) más apropiados para los distintos sectores amagados
- especificación de equipos y diseño del sistema de transmisión de la alerta desde los puntos de control a los sectores amagados con el objeto de lograr una mayor efectividad en el uso del sistema de alerta con tiempos de adelantos adecuados.

### **Contenido**

La metodología ocupada es la siguiente:

- En primer lugar, se llevó a cabo un análisis hidráulico para cada zona amagada, cuyo resultado es una relación nivel-caudal que permite definir umbrales críticos en cada lugar. Este análisis se hizo en base a la extensión de curvas de descarga en el caso que existieran, o en base al cálculo a partir de antecedentes topográficos y de aforo recopilados en terreno.
- En segundo lugar, se identificaron los puntos de control apropiados para establecer un sistema de pronóstico en tiempo real para cada lugar amagado, en un análisis conjunto de hidrogramas de crecidas a lo largo de cada cauce superficial.
- Luego se determinaron las relaciones cuantitativas de pronóstico para determinar posibles caudales a ocurrir en los puntos amagados, sobre la base de caudales o índices pluviométricos que están ocurriendo en un determinado instante en la, o las, estaciones de control predeterminadas. Junto con las relaciones nivel-caudal y el nivel crítico para cada lugar amagado, se determinaron los niveles de alerta a ser usados en la implementación del sistema en tiempo real.
- Después de determinar las curvas de frecuencia acumulada de caudales, consideradas representativas de cada uno de los lugares amagados, se derivaron estimaciones de las distribuciones de frecuencia acumulada de las inundaciones esperadas en cada lugar y se evaluaron económicamente los beneficios (daños evitables) y costos del sistema de alerta.

- Finalmente se diseñaron distintas alternativas de instrumentación y operación del sistema de alerta con su cuantificación de costos de mantención y operación respectiva, y se hacen recomendaciones sobre la implementación práctica de los sistemas alternativos y el mejoramiento de las redes de medición de las variables índices básicas.

## Resultados

Se proponen las Oficinas Regionales de la DGA de Rancagua y Talca como centros receptores y procesadores de datos (aplicación de los modelos de pronóstico) y para informar a la Oficina Regional de Emergencia en caso de necesidad.

El sistema operativo se describe de la siguiente forma:

- La alerta se activa cuando la precipitación en 48 o 72 horas supera un valor umbral; además para la mayoría de las cuencas se considera un índice de temperatura como se detalla a continuación:
  - \* cuenca del río Rapel (estación Rengo):
    - si temperatura media últimas 24 horas menor que 13°C, precipitación últimas 48 o 72 horas mayor que 80 y 100 mm respectivamente, o,
    - si temperatura media últimas 24 horas mayor que 13°C, precipitación últimas 48 o 72 horas mayor que 50 y 70 mm respectivamente
  - \* cuencas de los ríos Maule y Mataquito (estación Talca UC):
    - si temperatura media últimas 24 horas menor que 13°C, precipitación últimas 48 o 72 horas mayor que 70 y 120 mm respectivamente, o,
    - si temperatura media últimas 24 horas mayor que 13°C, precipitación últimas 48 o 72 horas mayor que 40 y 60 mm respectivamente
  - \* cuenca del río Ancoa (estación Ancoa embalse):
    - precipitación últimas 48 o 72 horas mayores que 190 y 260 mm respectivamente
- Una vez activada la alerta, el sistema entra en su modo operativo y empieza el monitoreo de las estaciones fluvio y pluviométricas de control y el pronóstico en sectores amagados cada 2 horas:
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.5 * Q_{umbral}$ , el monitoreo pasa a actualizarse cada 1 hora
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.8 * Q_{umbral}$ , se alerta a ONEMI y se mantiene abierto un canal de comunicación
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.9 * Q_{umbral}$ , se avisa una posible inundación
  - \* si  $Q_{calculado} > Q_{umbral}$ , se declara Alerta Roja
- Cuando la precipitación de las últimas 48 o 72 horas en las estaciones pluviométricas de control vuelve a ser inferior al valor umbral, se interroga el sistema para suspender o no la alerta.

El monto total de los costos del sistema de alerta de crecidas (inversión inicial más operación y mantención del sistema de transmisión más centro receptor y procesador de los datos) se evaluó en 155.772 US\$. Por otro lado los beneficios de contar con un sistema se evaluaron a 33.8 MM\$, solamente para los lugares amagados siguientes: Cachapoal entre Olivar y Peumo, Rapel en Rapel y Mataquito en Licantén.

Cabe mencionar el Anexo VII “Sistema operativo” que sintetiza para cada sector amagado los pasos a seguir en caso de alerta.

En el siguiente Cuadro N° 2.5 se resumen los principales resultados de este estudio.

**Cuadro N° 2.5**  
**Resumen resultados Regiones VI y VII**

Cuenca	Río	Lugares amagados	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Tiempo de antelación max (h)	Caudal umbral (m3/s)
Rapel	Cachapoal	entre Olivar y junta río Claro	Cachapoal antes junta Claro	Q-Q	Cachapoal en Puente Termas	6	750
Rapel	Cachapoal	entra junta río Claro y Peumo	Cachapoal en Puente Arqueado	Q-Q	Cachapoal en Puente Termas y Puente Arqueado	6	1500
Rapel	Rapel	Rapel	Rapel en Rappel	Q-Q	Rapel en salida embalse Central Rappel	2	4500
Mataquito	Mataquito	Licantén	Mataquito en Licantén	Q-Q	Teno después junta, Upeo en Upeo, Palos dnetre junta Colorado, Colorado antes junta Palos	6	3850
Maule	Claro	Talca	Claro en Talca	Q-Q	Claro en Camarico y Lircay en Las Rastras	6	2500
Maule	Maule	Constitución	Maule en Forel	Q-Q	Maule en Longitudinal, Claro en Talca y Concomilla en Las Brisas, Achibueno en Los Peñascos	6	9000
Maule	Ancoa	Linares	Ancoa en El Llepo	Q-Q	Ancoa en El Morro y est. Pluvio. Embalse Ancoa	6	500

## **2.9 Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); Regiones V y Metropolitana. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987**

### **Objetivo**

El objetivo general de este estudio fue el diseño de un sistema de alerta de crecidas para las localidades de la Va Región y Región Metropolitana que fueron catalogadas como las más críticas, en el estudio “Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa II); Determinación de lugares de previsión para las regiones V, VI, VII y R.M. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987”, realizado por los mismos consultores. Dichas localidades son:

- San Felipe (río Aconcagua)
- La Calera y Quillota (río Aconcagua)
- Santiago (río Mapocho)
- Peñaflores, Talagante y El Monte (río Mapocho)
- Valdivia de Paine (río Angostura)

### **Contenido**

La metodología ocupada es la misma que en el estudio descrito en 2.7, Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); VI y VII Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987.

Para establecer las relaciones de pronóstico, se incorporan en general ambos tipos de registros (pluvio y fluviométricos). En algunos casos también fue necesario analizar los registros termométricos disponibles en la zona, especialmente cuando la variable predictora correspondía sólo a un índice de precipitación. En este último caso, se observó que la respuesta de la cuenca variaba sustancialmente frente a distintas condiciones de temperatura. Dicho efecto se consideró implícitamente incorporado en la estación de aguas arriba, cuando era posible usar el caudal registrado en ella como variable predictora.

Es así que el modelo de pronóstico utilizado para calcular el valor del caudal de crecida en el sector de Lo Curro (Santiago) se basa en un área pluvial calculada para cada pronóstico y basada en los siguientes antecedentes:

- curva hipsométrica de la cuenca del río Mapocho
- gradiente térmico de  $-0.53^{\circ}/100$  m de desnivel
- temperatura media en las 4 últimas horas antes del pronóstico en alguna estación meteorológica representativa

De esta manera se puede calcular en tiempo real el área efectivamente pluvial de la cuenca a lo largo del evento.

### **Resultados**

El consultor hace algunas recomendaciones con respecto al mejoramiento de la red de mediciones, en vista de optimizar el pronóstico en los diferentes lugares amagados:

- instalación de estación limnigráfica o en su defecto de una regla limnimétrica en Aconcagua en La Calera, Aconcagua en Quillota, Mapocho en Puente Lo Curro y Maipo en El Rosario para los caudales altos.
- incorporación a futuro de la estación meteorológica La Ermita a la red de alerta de la cuenca del río Mapocho para obtener información de temperaturas y precisar con mayor certeza la ubicación de la línea de nieves de la cuenca.
- finalmente, equipar las estaciones meteorológicas siguientes de un pluviómetro totalizador en forma de poder calcular la precipitación acumulada en 24 horas: Quillota, San Felipe, Cerro Calán y Pirque.

Se propone las Oficinas Regionales de la DGA de Santiago y Quillota, como centro receptor y procesador de datos (aplicación de los modelos de pronóstico) y para informar a la Oficina Regional de Emergencia en caso de necesidad.

El sistema operativo se describe de la siguiente forma:

- la alerta se activa cuando la precipitación en 24 o 48 horas supera un valor umbral; además para la mayoría de las cuencas se ha considerado un índice de temperatura como se detalla a continuación:
  - \* cuenca del río Aconcagua (estación San Felipe o Vilcuya):
    - precipitación últimas 24 o 48 horas mayor que 30 y 60 mm, respectivamente
  - \* cuenca del río Mapocho (estaciones Quinta Normal y Cerro Calán):
    - precipitación últimas 24 o 48 horas mayor que 40 y 80 mm respectivamente en estación Quinta Normal o Cerro Calán. O
    - si la temperatura media de las últimas 24 horas es mayor que 12°C, la alerta se activa cuando la precipitación de las últimas 24 horas es mayor que 30 mm en estación Quinta Normal
  - \* cuencas del río Maipo (estación Pirque):
    - precipitación últimas 24 o 48 horas mayor que 60 y 100 mm respectivamente
- una vez activada la alerta, el sistema entra en su modo operativo, y empieza el monitoreo de las estaciones fluvio y pluviométricas de control y el pronóstico en sectores amagados cada 2 horas:
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.5 * Q_{umbral}$ , el monitoreo pasa a actualizarse cada 1 hora
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.8 * Q_{umbral}$ , se alerta a ONEMI y se mantiene operativo un canal de comunicación
  - \* si  $Q_{calculado} > 0.9 * Q_{umbral}$ , se avisa una posible inundación
  - \* si  $Q_{calculado} > Q_{umbral}$ , se declara Alerta Roja
- cuando la precipitación en las últimas 24 o 48 horas en las estaciones pluviométricas de control vuelve a ser inferior al valor umbral, se interroga el sistema para suspender o no la alerta.

El valor presente de los costos totales del sistema de alerta de crecidas (inversión inicial más operación y mantención del sistema de transmisión más centro receptor y procesador de los datos) se evaluó entre 496.000 y 547.000 US\$. Por otro lado los beneficios de contar con un sistema se evaluaron en 1286 MM\$ para el conjunto de las regiones V y Metropolitana.

Cabe mencionar el Anexo VII Sistema Operativo, que sintetiza para cada sector amagado los pasos a seguir en caso de alerta.

El Cuadro 2.6 sintetiza los resultados de este estudio.

**Cuadro N° 2.6  
Resumen de resultados Regiones V y Metropolitana**

Cuenca	Río	Lugares amagados	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Tiempo de antelación max (h)	Caudal umbral (m3/s)
Aconcagua	Aconcagua	San Felipe	Aconcagua en San Felipe	Q-Q y Q-P	Aconcagua en Chacabuquito y precipitación en San Felipe	4	380
Aconcagua	Aconcagua	entre La Calera y Quillota	Aconcagua en Romeral	Q-Q y propagación de crecidas	Aconcagua en Chacabuquito y precipitación en Quillota	10	900
Maipo	Mapocho	Santiago sector Lo Curro	Mapocho en puente Lo Curro	Q-T-P	Mapocho en Los Almendros y Arrayán en La Montosa	2	210
Maipo	Mapocho	Peñaflor, Talagante y El Monte	Mapocho en Rinconada de Maipú	Q-P	Precipitación en Cerro Calán y Quinta Normal	4	900
			Mapocho en Rinconada de Maipú	Q-Q y Q-P	Mapocho en Los Almendros y precipitación en Quinta Normal	4	900
			Mapocho en Rinconada de Maipú	Q-Q y Q-P	Mapocho en Los Almendros y precipitación en Cerro Calán y Quinta Normal	4	900
Maipo	Maipo	Isla de Maipo	Maipo en el Rosario	Q-Q y Q-P	Maipo en el Manzano y precipitación en Quinta Normal	8	1500
Maipo	Angostura	Valdivia de Paine	Angostura en Valdivia de Paine	Q-P	Precipitación en Pirque	6	400

Cuando no hay factibilidad de implementar un sistema de pronóstico o que se puede mejorar, se informa en rojo las soluciones propuestas por los consultores para el futuro

**2.10 Sistema nacional de alerta de crecidas. Humberta Peña T.; Fernando Vidal J., DGA, 1988****Objetivos**

Este trabajo resume los resultados de los estudios de BF previamente reseñados.

Los objetivos de este estudio son:

- determinar los lugares para los cuales resulta necesario y técnicamente posible conocer los caudales de crecidas pluviales con un tiempo de antelación adecuado
- definir sistemas de alerta en los lugares seleccionados, considerando la infraestructura existente y los requerimientos de los sistemas propuestos

**Contenido**

La zona de estudio incluye desde la V Región hasta la X Región.

En primer lugar se llevó a cabo la identificación de los lugares amagados por crecidas pluviales y la selección de puntos de interés para efectuar previsiones hidrológicas. Se identificaron en total 86 lugares amagados, de los cuales 37 se recomendaron para efectuar previsiones hidrológicas. Finalmente, resultó que para 27 lugares era técnicamente viable desarrollar un sistema de alerta.

Luego se hizo un estudio hidrológico y de procedimientos de pronóstico. Se identificaron tres tipos de función de transferencia para determinar los caudales en los lugares amagados seleccionados:

- caudal-caudal
- precipitación-caudal
- precipitación-temperatura-caudal

Se llevó a cabo el planteamiento general de los sistemas de alerta de crecidas y se definieron 4 Centros de Pronóstico regionales en la Dirección General de Aguas o Intendencias regionales en las ciudades de Santiago (cuencas de los ríos Aconcagua, Maipo y Rapel), Talca (cuencas de los ríos Mataquito y Maule), Concepción (cuencas de los ríos Itata y Bío-Bío) y Temuco (cuenca del río Imperial).

El Sistema de Alerta de Crecidas empieza a operar cuando ciertas variables hidrometeorológicas (precipitación, temperatura, caudal) alcanzan un valor umbral preestablecido.

El sistema entra entonces en su fase operativa y empieza un monitoreo automático de los puntos de control y un pronóstico de los caudales cada 2 horas, en los puntos con riesgo. En base al monitoreo de las condiciones, el pronóstico se actualiza de la siguiente manera:

- si  $Q_{calculado} > 0.5 * Q_{daños}$ , el monitoreo pasa a actualizarse cada 1 hora
- si  $Q_{calculado} > 0.8 * Q_{daños}$ , se alerta a ONEMI y se mantiene abierto un canal de comunicación
- si  $Q_{calculado} > 0.9 * Q_{daños}$ , se avisa una posible inundación
- si  $Q_{calculado} > Q_{daños}$  se declara Alerta Roja

Finalmente se evaluaron económicamente los beneficios de los Sistemas de Alerta de Crecidas, y se llegó a un valor de casi 7.000.000 US\$, evaluando los daños evitables por la implementación de aquellos sistemas. Los costos de los Sistemas de Alerta de Crecidas se estimaron en 800.000 US\$.

## Conclusión

Se llega a la conclusión de que se justifica económicamente implementar Sistemas de Alerta de Crecidas en la zona de estudio y organizar Centros de Pronóstico equipados y capacitados para operar los sistemas. Además es necesario instalar el instrumental que permita la obtención de datos de terreno en forma rápida y confiable.

### **2.11 Plan de Acciones Preventivas derivadas de las Condiciones Meteorológicas e Hidrológicas en Periodos de Crecidas, J. Muñoz y F. Vidal, Departamento de Hidrología de la Dirección General de Aguas, 1992**

El objetivo de este estudio es entregar criterios y pautas para llegar a establecer un Plan de Acción en las Oficinas Regionales de la Dirección General de Aguas frente a situaciones de emergencia ocasionadas por caudales o niveles extraordinarios de los ríos comprendidos entre las regiones IV y IX.

A través de la elaboración de este Plan de Emergencia se busca fundamentalmente:

- obtener una oportuna y permanente información de la situación en caso de emergencia, y un efectivo enlace entre los diferentes niveles de la DGA, desde el momento que se inicia la emergencia hasta que ella sea subsanada
- disponer la concurrencia oportuna a los lugares de trabajo de los funcionarios asignados a las diferentes actividades respecto al Plan de Acción Regional.

Después de entregar bases metodológicas generales, se proponen pautas para que cada Región organice o adecúe su respectivo Plan de acuerdo a la realidad regional.

Para la implementación de un sistema de previsión hidrológica se propone el siguiente procedimiento:

- identificación de los sitios o lugares amagados
- selección de estaciones de control, y obtención de los datos e información
- calificación e interpretación de los estados de alerta:
  - alertas 1, 2 y 3 correspondiendo a las Alertas Azul, Amarilla y Roja
  - procesamiento de los datos: se proponen las mismas relaciones de pronóstico propuestas en el estudio Sistemas de Alerta Pluviales realizados por la DGA entre los años 1984-1987. Sin embargo, se menciona que es altamente recomendable comprobar estas relaciones.
  - declaración de los estados de alerta y su difusión
  - verificación de posibles emergencias y/o daños en terreno y elaboración de un informe
  - evaluación de daños y acciones adoptadas y elaboración de un informe

También se propone la elaboración de un Comité Regional de Emergencia y canales de difusión de las emergencias hacia las autoridades de gobierno regionales y ministerial y la prensa.

**2.12 Comportamiento atmosférico asociado a grandes crecidas hidrológicas en Chile Central. Tesis para optar al título de ingeniero civil y el grado de magister en ciencias mención geofísica de la Universidad de Chile. René Darío Garreaud Salazar. Profesor guía Sr José Rutllant. 1993**

### **Objetivo**

El objetivo central de este trabajo fue identificar patrones atmosféricos de escala sinóptica (1000 km) que aparecen en forma recurrente asociados a las mayores tormentas sobre Chile central (entre los 33° y 36°S incluyendo las cuencas de los ríos Maipo, Mataquito, Rapel y Maule), de manera de realizar un aporte sistemático al conocimiento de la climatología sinóptica de la región, sobre la base de una clasificación de las configuraciones atmosféricas de gran escala y regionales asociadas a los eventos considerados.

### **Contenido**

En la interpretación de los patrones sinópticos se estudian algunos mecanismos físicos como la influencia dinámica de la cordillera de los Andes, las teleconexiones atmosféricas y la ocurrencia de estados cuasiestacionarios en el hemisferio austral. Adicionalmente se describen desde un punto de vista hidrometeorológico las crecidas seleccionadas.

La metodología consiste en una selección objetiva de grandes crecidas hidrológicas entre 1970 y 1985, mediante al análisis de las series de tiempo de los caudales medios diarios en tres estaciones fluviométricas precordilleranas de Chile central, como una medida integradora de los procesos hidrometeorológicos durante la ocurrencia de crecidas. Los episodios seleccionados fueron analizados en primer lugar desde una perspectiva hidrológica. En la parte central del estudio se desarrolla un análisis de las condiciones atmosféricas (en superficie y tropósfera media) durante la ocurrencia de los episodios seleccionados.

Las estaciones seleccionadas fueron:

- estaciones fluviométricas Maipo en San Alfonso y Maipo en el Manzano, Tinguiririca bajo los Briones y Cachapoal en Puente Arqueado
- estaciones pluviométricas San José de Maipo, Santiago, San Antonio, Central Pangal, La Rufina y Armerillo.

Como resultado intermedio, se puede mencionar que a nivel anual, la alta variabilidad hidrometeorológica de la región parece estar asociada a anomalías atmosféricas de escala global, y en particular al fenómeno El-Niño-Oscilación del Sur.

### **Conclusiones**

El mecanismo básico de generación de crecidas invernales en Chile corresponde a las precipitaciones frontales sobre la zona, asociadas al paso de perturbaciones extratropicales derivadas del frente polar. Debido a la persistencia del anticiclón del Pacífico sur-oriental y al paso preferente de los centros de baja presión al sur de los 50° de latitud, la ocurrencia de tormentas pluviales intensas y de larga duración en el área de estudio es un fenómeno infrecuente, pero que cada cierto tiempo produce catastróficas inundaciones.

Del análisis de las configuraciones atmosféricas regionales asociadas a las mayores crecidas invernales en la zona de estudio, ha sido posible la identificación objetiva de dos patrones atmosféricos recurrentes durante la ocurrencia de estos eventos. En ambos esquemas, la existencia de anticiclones de bloqueo al sur del continente tiene una importancia esencial en la ocurrencia de tormentas intensas en Chile central:

- en un esquema, cuando el anticiclón de núcleo cálido se establece al suroeste del extremo sur del continente, se produce una desviación al norte de los sistemas de mal tiempo, alcanzando los frentes fríos el sector norte de la zona central de Chile.
- en un segundo esquema, el bloqueo se establece en el Atlántico suroccidental, lo cual tiene un efecto de retardo en el avance de los sistemas frontales hacia el este, generando una situación cuasiestacionaria, con un frente zonalmente extenso y ubicado preferentemente entre los 30° y 40°S.

**2.13 Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Proyecto de Diseño Sistema de Alerta de Crecidas, Proyecto 5-11, Cuenca Río Imperial, Dirección General de Aguas, Banco Interamericano de Desarrollo, Instituto Forestal en asociación con ICESA Ingenieros Consultores, BF Ingenieros Civiles y DHV Consultants BV The Netherlands, 1995**

Este estudio resume los resultados del estudio anterior, Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa II); Sistema de Alerta de Crecidas para la IXa Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987.

Sin embargo cabe mencionar algunas pequeñas diferencias y actualizaciones:

- en vez de la estación pluviográfica Cerro Nielol, se indica la estación Pueblo Nuevo para generar los caudales de Cautín en Temuco.
- se indican caudales umbrales considerando la construcción de defensas fluviales para los sectores de Chol-Chol en Nueva Imperial y Cautín en Temuco, cuyos valores son respectivamente 2866 y 2340 m<sup>3</sup>/s
- el costo total de implementación de sistema de alerta de crecidas se evalúa en US\$ 122.434 (inversión) + 9.568 US\$/año (operación y mantención).

A objeto de verificar las relaciones de pronóstico, se analizaron las crecidas posteriores a 1987 que fueron registradas en las distintas estaciones simultáneamente. De este análisis se desprende que todas las relaciones de pronóstico poseen un excelente ajuste, por lo que se decidió aceptar las ecuaciones descritas como totalmente válidas, las que deberían ser implementadas computacionalmente como parte de la puesta en práctica del sistema.

**2.14 Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Proyecto de Diseño Sistema de Alerta de Crecidas, Proyecto CC-22, Cuenca Río Aconcagua-Marga-Marga, Dirección General de Aguas, Banco Interamericano de Desarrollo, Instituto Forestal en asociación con ICSA Ingenieros Consultores, BF Ingenieros Civiles y DHV Consultants BV The Netherlands, 1995.**

Este estudio resume los resultados del estudio anterior, Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); Regiones V y Metropolitana. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987.

Sin embargo cabe mencionar algunas pequeñas diferencias y actualizaciones:

- se indican caudales umbrales considerando la construcción de defensas fluviales para los Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Quillota y La Calera, cuyos valores son respectivamente 500 y 1800 m<sup>3</sup>/s
- el costo total de implementación de sistema de alerta de crecidas se evalúa en US\$ 80.378 US\$ (inversión) + 5.126 US\$/año (operación y mantención).

A objeto de verificar las relaciones de pronóstico, se analizaron las crecidas posteriores a 1987 que fueron registradas en las distintas estaciones simultáneamente, detectando que sólo se ha registrado en forma simultánea en las estaciones de los puntos de control de la cuenca, la crecida de mayo de 1993 en el sector de San Felipe. Sin embargo, en esta crecida se dañaron las instalaciones de Aconcagua en Chacabuquito obteniéndose un registro incompleto de la misma en dicha estación. Esto permitió sólo una verificación parcial de la validez del modelo para dicha crecida, la que, sin embargo, mostró un buen ajuste.

En los sectores de Quillota y La Calera no se han registrado nuevas crecidas en forma simultánea en las estaciones de puntos de control, por lo que no fue posible realizar validaciones adicionales de las relaciones de pronóstico.

De acuerdo con lo anterior se decidió aceptar las ecuaciones descritas como totalmente válidas, las que deberían ser implementadas computacionalmente como parte de la puesta en práctica del sistema.

**2.15 ONEMI Estudios de casos**

El día 07/12/09 se visitó el Centro de Documentación de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) ubicada en la calle Beaucheff 1637-1671.

Las personas entrevistadas fueron los Sres. Bernardino Velasco, responsable de la Oficina de Información Ciudadana y el Sr. Bibliotecario del Centro de Documentación.

La ONEMI no lleva registro propiamente tal de las crecidas que hubieran provocado daños en los últimas décadas a lo largo del país. Sin embargo en el Centro de Documentación están disponibles varios estudios de casos, cada uno de ellos corresponde a uno o más sistemas frontales extremos que han afectado una o más regiones de Chile. La información base para el desarrollo de los estudios de casos, proviene desde las regiones, información que se consolida en un informe en Santiago. Estos estudios presentan de forma sintética las condiciones hidrometeorológicas que dieron lugar al sistema frontal estudiado, luego describe el alcance geográfico de las emergencias y el balance final de los daños observados a personas y viviendas y a la infraestructura vial y pública. También describe la situación de los puertos y los

desbordes de ríos y esteros. Finalmente presenta la forma en que el gobierno, a través de ONEMI, gestionó las situaciones de emergencia.

Como dato de interés se encuentra una lista por sistema frontal de los lugares en los cuales algún río o estero se desbordó, y se especifica la región, la comuna y los nombres de los sectores amagados.

El listado de los estudios disponibles y revisados en ONEMI se encuentra en el Cuadro N° 2.7 adjunto.

**Cuadro N° 2.7**  
**Resumen estudios ONEMI**

Fecha	Región	Cauce	Comuna	Sector amagado
<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Sur Mayo 2001 (14/05/01-31/05/01)"</i>				
Mayo 2001	IX	Río Carén	Melipeuco	
Mayo 2001	IX	Río Cruces	Loncoche	
Mayo 2001	IX	Río Trancura	Curarrehue	
Mayo 2001	IX	Estero Huicatio	Villarica	
Mayo 2001	VII	Canal Villa Francia	Talca	
Mayo 2001	VII	Canal El Dique	Constitución	
Mayo 2001	VII	Río Ancoa	Linares	
Mayo 2001	VIII	Río Andalién	Concepción	
Mayo 2001	VIII	Río Bío-Bío	Hualqui, Los Angeles, Santa Bárbara	
Mayo 2001	X	Río Chamis y Mar	Puerto Montt	
Mayo 2001	X	Río Malo	Chaitén	
<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Centro Sur Julio 2001 (02/07/01-31/07/01)"</i>				
Sistema frontal 2-4/07/01				
Julio 2001	IX	Río Purén	Purén	Isla Boyeco y Lolenco
Julio 2001	VII	Río Ancoa	Linares	Roblería
Julio 2001	VII	Río Achibueno	?	Recoba
Julio 2001	VIII	Río Bío-Bío (descarga central Pangué)	Hualqui	
Sistema frontal 8-9/07/01				
Julio 2001	IX	Río Imperial	Carahue	Taife-Lolocura
Julio 2001	IX	Río Centinela	Carahue	Trovolhue-San Juan
Julio 2001	IX	Río Malleco	Ercilla	?
Julio 2001	XIV	Río Llollelhue	La Unión	Población Osvaldo Real y sector Foitzick

Sistema frontal 17-20/07/01				
Julio 2001	VII	Estero El Carbon	Constitución	
Julio 2001	VII	Esteros varios	Cauquenes	
Julio 2001	VII	Río Las Yeguas	Purranque	
Julio 2001	IX	Río Bueno	San Pablo	Currimahuida, Cofalmo, Troné Quilachuín y Caltiamo
Julio 2001	VIII	Canal Quillaileo	Santa Bárbara	
Julio 2001	VIII	Río Itata	?	Camin Quillón-Nueva Aldea
<i>"Informe Consolidado Precipitaciones Estivales Altiplánicas Ene-Mar 2001"</i>				
Ene-Mar 2001	I	Río Camiña	Camiña	
Ene-Mar 2001	I	Estero Camarones	Camarones	Quebrada Cordillera
Ene-Mar 2001	XV	Río Lluta	?	Poconchile, Valle Heromoso, Sora, Tocontase, Bocanegra, Chacabuco y Cooperativa
Ene-Mar 2001	XV	Acha	Arica	Acha y Cerro Sombrero
<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal Zona Norte Centro y Sur 24-27 Mayo 2002 "</i>				
Mayo 2002	VII	Estero Piduco	Talca	Campamento Lo Garcés
<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal Zona Norte Centro y Sur 2-5 Junio 2002 "</i>				
Junio 2002	R.M.	Varios canales	Santiago	Varios sectores
Junio 2002	R.M.	Estero Pangue	Melipilla	Lumbrera
Junio 2002	R.M.	Río Colina	Colina	Villa Esperanza
Junio 2002	R.M.	Zanjón de la Aguada	Santiago	Paraderos 12 y 14 Av. Pajaritos
Junio 2002	R.M.	Estero Puangue	María Pinto	Varias poblaciones
Junio 2002	R.M.	Estero Lampa	?	El Molino
Junio 2002	R.M.	Río Mapocho	Peñaflor	Terrenos empresa Bata
Junio 2002	V	Estero Llay-Llay	Llay-Llay	Las Peñas, Enrique Meigg y El Sauce
Junio 2002	V	Estero Los Loros	Llay-Llay	Sectores urbanos ciudad de Llay- Llay
Junio 2002	V	Estero Santa Enriqueta	Llay-Llay	Sectores urbanos ciudad de Llay- Llay
Junio 2002	V	Estero Santa Julia	?	Puchuncavi
<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal IX y X Regiones 11-13 Octubre 2002 "</i>				
Octubre 2002	IX	Río Trancura	Curarrehue	
Octubre 2002	IX	Río Cruces	Loncoche	
Octubre 2002	IX	Río Donguil	Gorbea	
Octubre 2002	IX	Río Huillío	Teodoro Schmidt	
Octubre 2002	IX	Río Imperial	Carahue	
Octubre 2002	IX	Río Centinela	Carahue	
Octubre 2002	IX	Río San Juan	Carahue	

Octubre 2002	XIV	Río San Pedro	Los Lagos	
Octubre 2002	XIV	Estero Nanguil	Panguipulli	
Octubre 2002	XIV	Río Leufucade	Lanco	
Octubre 2002	XIV	Río Iñaqui	Mafil	
Octubre 2002	X	Río Bueno	San Pablo	
Octubre 2002	X	Río Rahue	San Pablo	
Octubre 2002	XIV	Río Calcurrupe	Lago Ranco	
Alerta roja en río Bío-Bío en Rucalhue el 15/10/02				
Alerta roja en río Cautín el 15/10/02				
<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal VII a XI Regiones 19-22 Junio 2003 "</i>				
Junio 2003	VIII	Río Bío-Bío	Hualqui	
Alerta roja en río Bío-Bío y evacuación población ribereña comuna Hualqui				
<i>"Informe Consolidado Sistemas Frontales Sucesivos 10 Mayo a 15 Julio 2005 "</i>				
Regiones VI a IX / 27-29 Junio 2005				
Junio 2005	VII	Río Huapi	Pencahue	
Junio 2005	VII	Estero Las Juntas	Linares	
Junio 2005	VII	Río Perquilauquen	Parral	Isla Pencahue
Junio 2005	VIII	Estero Huarilahue	Coelemu	
Regiones VII a IX / 1-2 Julio 2005				
Julio 2005	VII	Río Loncomilla	Linares	Poniente Sifón
Julio 2005	VIII	Río Bío-Bío	Huakqui	Pobl. 18 de Septiembre y Nueva Hualqui
<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 26, 27 y 28 Agosto 2005 "</i>				
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
Julio 2006	VIII	Estero La Araucana	Hualqui	
Julio 2006	VIII	Estero El Aguila	Hualqui	
Julio 2006	VIII	Estero Las Animas	Hualqui	

Julio 2006	VIII	Río Hualqui	Hualqui	
Julio 2006	VIII	Río Gallipavo	Bulnes	
Julio 2006	VIII	Río Cobquecura	Cobquecura	
Julio 2006	VIII	Río Coyanco	Quillón	
Julio 2006	VIII	Estero Pablo Neruda	Quirihue	
Julio 2006	VIII	Río Trilaleo	Yungay	El Molino
Julio 2006	VIII	Río Manco	Tucapel	
Julio 2006	VIII	Río Centinela	Tucapel	
Julio 2006	VIII	Río Bureo	Mulchén	Santa Laura
Julio 2006	VIII	Río Mulchén	Mulchén	Santa Laura
Julio 2006	VIII	Río Quilque	Los Angeles	
Julio 2006	VIII	Río Lebu	Lebu	Esmeralda, El Rosal, Las Parcelas, Pobl. La Colonia, José Miguel Carrera y Puerto Lebu
Julio 2006	VIII	Río Ramadilla	Arauco	
Julio 2006	VIII	Río Carampangue	Arauco	
Julio 2006	VIII	Río Pichilo	Arauco	
Julio 2006	VIII	Río Andalién	Concepción, Hualqui y Hualpen	
Julio 2006	VIII	Río Bío-Bío	Concepción, Hualqui y Hualpen	
Julio 2006	VIII	Varios canales	Varias localidades	
Julio 2006	IX	Río Purén	camino a sectores Chacayal y Tranaman	
Julio 2006	IX	Río Trancura	Curarrehue	Catripulli
Julio 2006	IX	Río Centinela	Carahue	Trovalhue
Julio 2006	IX	Río Allipén	Freire	
Julio 2006	IX	Río Boldo	Toltén	Pirén, Cudaco, Frutillar, El Trome y Portal Queule
Julio 2006	IX	Estero Pirén	Toltén	Pirén, Cudaco, Frutillar, El Trome y Portal Queule
Julio 2006	IX	Río Cautín	Padre las Casas	
Julio 2006	IX	Río Quepe	Padre las Casas	
Julio 2006	IX	Río Malleco	Collipulli	
Julio 2006	IX	Río Renaico	Collipulli	
Julio 2006	IX	Río Cautín	Temuco	

Julio 2006	IX	Estero Pichi	Temuco	
Julio 2006	IX	Río Trancura	Pucón	Dolguin, Quilaco, Menetue, San Luis y Relicura
Julio 2006	IX	Río Blanco	Curacautín	
Julio 2006	IX	Río Traiguén	Traiguén	
Julio 2006	IX	Río Vergara	Renaico	Tolpan
Julio 2006	IX	Río Muco	Lautaro	
Julio 2006	IX	Estero Dollinco	Lautaro	
Julio 2006	IX	Estero Alhueco	Lautaro	
Julio 2006	IX	Estero Peu-Peu	Lautaro	
Julio 2006	IX	Río Damas	Carahue	
Julio 2006	IX	Río Imperial	Carahue	
Julio 2006	R.M.	Estero Lampa	Lampa	Puente Santa Rosa
Julio 2006	R.M.	Río Clarillo	Pirque	Puente Blanco
Julio 2006	R.M.	Estero Colina	Lampa	Estació y ruta G-150
Julio 2006	R.M.	Río Mapocho	Talagante	Eyzaguirre
Julio 2006	R.M.	Estero Paine	Paine	
<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 17 al 24 de Mayo 2008 "</i>				
Mayo 2008	V	Estero Las Gualtatas	?	Sector Riecillo, KM28 ruta CH 60 Camino Internacional
Mayo 2008	VI	Río Clonqui	?	Camino entre Coya y Pangal
Mayo 2008	VI	Canal Quinaquina	Chépica	Sectores rurales
Mayo 2008	VI	Río Tinguiririca	San Fernando	Pedehue
Mayo 2008	VI	Río Tinguiririca	Placilla	Peñuelas y Villa Alegre
Mayo 2008	VI	Río Tinguiririca	Nancagua	Callejones
Mayo 2008	VI	Río Codigua	Codegua	La Leonera
Mayo 2008	VII	Canales el Cartón y Baeza	Talca	
Mayo 2008	VII	Río Teno	?	Los Queñes
Mayo 2008	VII	Estero Botalcura	Pencahue	
Mayo 2008	VIII	Estero Relbum	Pemuco	
Mayo 2008	VIII	Canales La Luz, El Canelo y Quinquhua	Chillán	
Mayo 2008	VIII	Canales Larqui Poniente y Santa Clara	Bulnes	
Mayo 2008	VIII	Río Ñuble	San Fabián	Quebrada, El Jote y Agua el Ganso
Mayo 2008	VIII	Río Itata	Trehuaco	KM 7 y 18
Mayo 2008	VIII	Río Cobquecura y canal Las Ranas	Cobquecura	La Reforma de Taucú y El Molino

Mayo 2008	VIII	Estero Ralún	Pemuco	Corte de caminos
Mayo 2008	IX	Estero Loco	Melipeuco	Corte de camino Flor del Valle-Carén
Mayo 2008	IX	Río Carén	Melipeuco	Socavón en camino Cumcumllaque-Flor del Valle
Mayo 2008	IX	Río Damas	Carahue	
Mayo 2008	R.M.	Canal de Ramón	La Reina	Puente Príncipe de Gales con Salvador Izquierdo
Mayo 2008	R.M.	Zanjón de la Aguada	San Joaquín	Av. Las Industrias
Mayo 2008	R.M.	Estero San Gabriel	San José de Maipo	
Mayo 2008	R.M.	Estero Colina	Colina	Santa Filomena y Estación de Colina
<i>"Informe Aguas Lluvias "</i>				
05-08 Mayo 1990	XII	Río Las Minas		Ciudad de Punta Arenas
23 Mayo 2005	XII	Río Las Minas		Ciudad de Punta Arenas

**CAPÍTULO 3****METODOLOGÍA**

El objetivo del presente estudio es el de revisar los umbrales de las estaciones fluviométricas o pluviométricas que así lo requieren, ya sea porque sus umbrales actuales están obsoletos, ya sea porque actualmente no están definidos.

En el presente capítulo se expone la metodología que se ha aplicado para realizar esta revisión.

Las causas por las cuales es necesario definir o redefinir umbrales, pueden ser diversas: mejoramiento de los cauces, construcción de defensas fluviales, ocupación de las riberas, instalación de estaciones nuevas, etc.

La posibilidad de identificar un umbral en una estación determinada, está asociada necesariamente a dos hechos:

- conocer los sectores que se han amagado o se están amagando en la actualidad, y las fechas en que ello ha ocurrido y
- conocer el caudal que generó el daño,

y si es posible, se intenta además, asociar el caudal que genera daño, a una precipitación y/o a una temperatura, de modo de tener más elementos de predicción.

**3.1 Zonas de amagamiento y fechas**

En cuanto al primer aspecto, el conocimiento de los sectores que se amagan o se han amagado en las condiciones actuales de escurrimiento y de población, y las fechas en que ello ha ocurrido, de acuerdo con los términos de referencia de este estudio, es la información que debía aportar cada oficina regional de la DGA. Textualmente, en los TR figura como objetivo del presente estudio, “definir, en conjunto con cada Dirección Regional de la DGA y sus encargados de hidrología, lo cual se hará a través de videoconferencia desde la DGA en Santiago, las cuencas, los ríos, los lagos y las variables hidrometeorológicas (tentativamente precipitación, temperatura del aire, caudales, etc.) para las cuales se definirán los rangos de los umbrales de los tres tipos de alerta.”

El conocimiento de la DGA en esta materia se recogió formalmente a través de un cuestionario especialmente preparado, el cual previamente se comentó a través de una videoconferencia con cada región. Si bien es cierto que durante los eventos las Oficinas Regionales muestran conocimiento de lo que ocurre en su zona, el registro acerca de crecidas y sectores amagados no está fundamentalmente radicado en la DGA, sino que en las oficinas regionales de la ONEMI.

Por esta razón, para cada región, en forma complementaria a la información recogida a través del cuestionario en cada DGA regional, se recogió el conocimiento aportado por la Oficina Regional de Emergencia respectiva, en la forma en que lo consolida y lo publica la Oficina Nacional de Emergencia, radicada en Santiago.

En algunos casos específicos, también se consultó noticias por internet, para verificar eventos o la ausencia de ellos en algunos sectores en determinadas fechas.

Finalmente, toda la información relativa a zonas amagadas y fechas, se pasó a SIG. Se armó una base de datos de sectores amagados, a algunos de los cuales fue posible asociar una fecha, con todas las zonas amagadas recopiladas, tanto informadas por la DGA como por la ONEMI. Esta base de datos dio lugar a una cobertura SIG, llamada zonas-amagadas.shp. Mayores detalles sobre esta cobertura se encuentran en el Capítulo 5, SIG.

Es de interés señalar que también hay gran cantidad de información sobre zonas amagadas y fechas en la serie de los estudios llamados “Investigación de sistemas de alerta de crecidas fluviales”, desarrollados para la DGA, para las regiones Vª hasta Xª, incluida la Metropolitana, por los consultores Brown y Ferrer, entre los años 1986 y 1988, y reseñados en el capítulo 2, Revisión bibliográfica. Dichos estudios se basaron en un exhaustivo trabajo de terreno (visitas y entrevistas) que tuvo por finalidad levantar un catastro de las zonas amagadas que justificarían la implementación de un sistema de alerta de crecidas. Sin embargo, se observó que la información de zonas de amagamiento detectadas en dicho estudio, es antigua (más de 20 años) y en muchos sectores está obsoleta, por lo cual finalmente no se trabajó con dicha información.

Respecto del mencionado estudio, posteriormente se elaboraron relaciones de pronóstico de corto plazo, para una selección de los sectores amagados identificados, cuya validez fue constatada en estudios posteriores. Hay 21 relaciones de pronóstico de corto plazo, validadas. Fue sorprendente constatar que en las regiones no se conoce el estudio de BF, ni se aplican las relaciones obtenidas, salvo en la VIIIª Región, en que estas relaciones son conocidas y se usan. En el nivel central, como se señala con mayor detalle en el capítulo 4.1, hay un programa en el cual están implementadas 8 de estas relaciones. Las demás relaciones, si bien existen dentro del software del modelo, no están operativas ni generan resultados.

### **3.2 Caudales correspondientes**

Una vez conocidos los sectores y las fechas en que han ocurrido crecidas con daños, es necesario poder asociar a ellas el caudal en una estación de control. Se llama estación de control a una estación que permita obtener información significativa con alguna anticipación, es decir, una estación que se encuentre aguas arriba del sector amagado. En caso de no existir una estación aguas arriba, y sólo una estación en el mismo sector amagado, se usó ésta.

A partir de la información de coordenadas entregadas por la División de Estudios, se ubicaron en SIG todas las estaciones, satelitales y no satelitales, fluviométricas, pluviométricas y termométricas que posee la DGA en Chile. Conocidos los sectores amagados en la actualidad (no más de 20 años atrás), se identificaron las estaciones de control donde analizar los umbrales de alerta. Las estaciones de control son fundamentalmente satelitales, pero a veces también se recomienda incorporar una estación no satelital al sistema de alerta, y, por lo tanto, equiparla con DCP.

Para dichas estaciones de control, se solicitó en la DGA las estadísticas de caudales extremos correspondientes (datos satelitales y no satelitales), con lo cual fue posible identificar el caudal que

generó el daño en el sector asociado. El menor de todos los caudales que han generado daño, es el que corresponde a la alerta roja.

Como las alertas se refieren a niveles limnimétricos, se solicitaron además, en la DGA, las curvas de descarga actuales para las estaciones de control seleccionadas. A través de ellas se determinó el nivel que corresponde al caudal de alerta roja, y con ello se obtiene el nivel de alerta roja.

Este nuevo nivel o umbral de alerta puede ser diferente del existente. En general, con un criterio conservador, el nivel de alerta roja existente sólo se reemplaza si el nuevo umbral resulta inferior al existente. Sin embargo, también hay casos en que nuevas defensas u obras han elevado el nivel de alerta roja, y el umbral existente debe ser reemplazado por uno superior.

Una vez determinado el caudal y nivel de alerta roja, se procede a definir los caudales y niveles de alerta amarilla y azul. En forma concordante con lo realizado en el estudio de BF, se aplicó alerta amarilla para un caudal igual a  $0,8 * Q_{rojo}$ , y alerta azul para un caudal de  $0,5 * Q_{rojo}$ . Los niveles correspondientes se obtuvieron de la curva de descarga actual.

### **3.3 Precipitaciones y temperaturas**

Cuando en la región existe la inquietud respecto de la posibilidad de asociar los caudales de crecidas que generan daños, con alguna otra variable, como precipitación o temperatura, o de definir un umbral de precipitaciones para activar la alerta azul, se ha analizado algunas posibles relaciones de precipitación-caudal.

El valor de la precipitación en determinadas estaciones es el elemento inicial de alerta, pues a partir de una precipitación acumulada en una cierta cantidad de días, es posible pronosticar los caudales en algunas estaciones. De hecho, en general los caudales pronosticados se encuentran en estrecha relación con las precipitaciones antecedentes.

Para hacer este análisis, siempre se trabajó con la precipitación acumulada por evento, para relacionarla con el caudal generado. Si bien no siempre es posible separar un evento del anterior, esta forma de proceder ha dado en general buen resultado, pues ha permitido identificar umbrales. En muchos casos, eso sí, se ha debido incorporar más estaciones de precipitación que solamente las satelitales, para explicar adecuadamente los eventos de crecida. En tales casos se desprenden recomendaciones para equipar con DCP otras estaciones que parecen importantes. Caso a caso se muestran las relaciones analizadas, dentro del alcance del presente estudio, intentando encontrar un umbral de precipitaciones.

Además de la precipitación, en las cuencas mixtas y nivales, también la temperatura tiene directa relación con el caudal, pues la ubicación de la isoterma cero grados determina el área aportante. Por esta razón, en algunos casos se ha considerado importante poder conocer la altura de la isoterma cero grados. Esta investigación ha dado resultado cuando se encuentran los datos de temperatura, lo que no siempre es el caso.

Los resultados del análisis realizado se presentan caso a caso.

### 3.4 Casos especiales

En algunos casos en que no hay datos de daños en los últimos años, se verificaron las crecidas de dicho período, y se verificó que el umbral de alerta roja estuviera sobre la mayor de las crecidas registradas. En caso contrario, se desplazó el umbral hacia arriba, hasta la altura correspondiente a esa crecida.

**CAPÍTULO 4****ENTREVISTAS Y CUESTIONARIO**

El objetivo de este trabajo fue recoger en las oficinas regionales de la DGA todo el conocimiento existente sobre zonas amagadas y fechas correspondientes, así como las estadísticas de caudales, precipitaciones y temperaturas para el análisis posterior. La información recogida de ONEMI se entregó en el Capítulo 2, Revisión Bibliográfica.

**4.1 Entrevistas DGA Central y Metropolitana****a) Juan Vilches, DGA**

El 01/12/09 se entrevistó al Sr. Juan Vilches, encargado de la oficina receptora de datos de las estaciones satelitales del departamento de hidrología de la Dirección General de Aguas, [juan.vilches@mop.gov.cl](mailto:juan.vilches@mop.gov.cl) 4493760.

A la oficina receptora llegan datos satelitales de todas las estaciones satelitales del país. Cuando alguno de los parámetros medidos alcanza un valor umbral predefinido, se genera una alerta, la cual provoca la transmisión automática vía SMS y mails a las personas correspondientes en las regiones.

Estos mensajes de alerta se generan sólo en estaciones satelitales, en general fluviométricas, e informan niveles de agua inferiores a un valor umbral inferior (para el caso de que se necesite controlar que los caudales no bajen de cierto nivel, por ejemplo en sequías), o superiores a un valor umbral superior (para el caso de crecidas), o voltaje bajo de la batería de alguna estación. Los mensajes informan de forma sintética la estación fluviométrica, color de alerta, fecha y hora de medición, nivel observado y nivel umbral de alerta, por ejemplo:

S.P. Parshall (Az) 30/11 19.19 LM 56+ Lsup 56

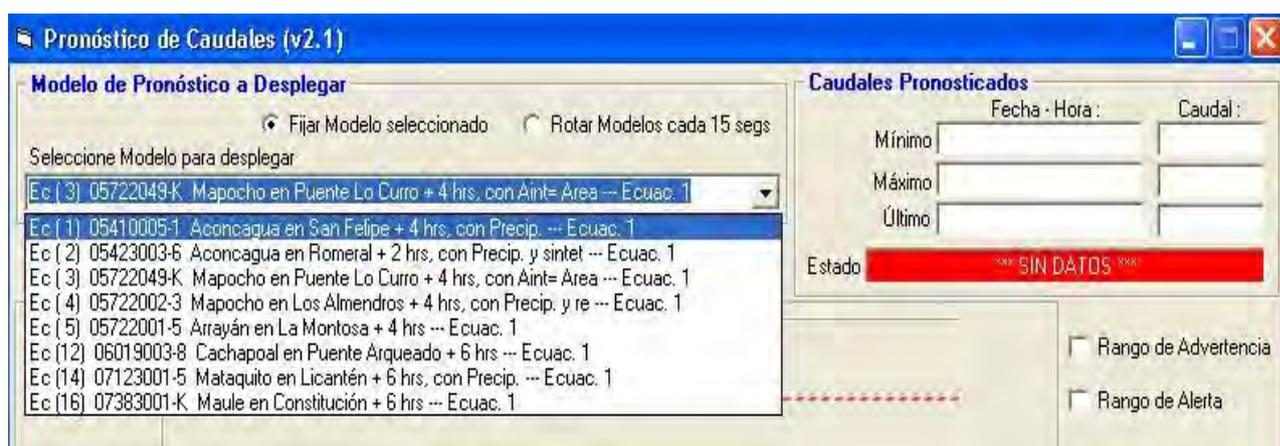
Significa Alerta Azul en el río San Pedro en Parshall registrada el 30 de noviembre a las 19:19. Se observó una altura de agua de 56 cm, donde la altura umbral azul superior es 56 cm.

Muchas veces los umbrales definidos no corresponden a una situación que justifique una alerta, generándose muchos mensajes pocos relevantes. La proliferación de mensajes de alerta poco relevantes que llega al personal de las regiones, desacredita el propio sistema de alerta.

En la oficina receptora también se encuentra un modelo de pronóstico. Este modelo se activa manualmente en base a criterios propios de la DGA central, en general después de un aviso previo de parte del Jefe de Meteorología del Departamento de Hidrología de la DGA central, de una situación de precipitación que podría generar caudales de crecidas en algunas regiones del país.

En la práctica, se manejan 8 relaciones, que permiten pronosticar caudales en 8 secciones de cauces estratégicos de las regiones VI°, VII° y Metropolitana. La siguiente Figura N° 4.1 corresponde a la ventana del programa de pronóstico utilizado por la oficina receptora de datos satelitales.

**Figura N° 4.1**  
**Relaciones de pronóstico operativas en el modelo de pronóstico de la DGA**



Todas estas relaciones de pronóstico se basan en datos entregados por estaciones satelitales. Estas relaciones corresponden a algunas de las relaciones propuestas en el estudio “Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); Regiones V y Metropolitana. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987” e “Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); VIa y VIIa Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987”, ambos incluidos en la revisión bibliográfica.

Cabe mencionar que en estos estudios se proponen más relaciones de las que están operativas en el modelo. Sin embargo revisando el código fuente del programa de pronóstico, se puede observar que todas las relaciones propuestas en los siguientes estudios están incluidas:

- Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); Regiones V y Metropolitana. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987
- Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); VIa y VIIa Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987
- Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa II); Sistema de Alerta de Crecidas para la IX° Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987.

Sin embargo, aparentemente no están todas activas y por lo tanto no se pueden seleccionar en la ventana del programa, y no generan ningún cálculo.

En todos los periodos en que se ha puesto en marcha el modelo, se han generado datos de caudales pronosticados. Estos resultados se grabaron y se pueden visualizar en el mismo programa, junto a los caudales observados, para verificar la bondad del ajuste.

El Sr. Vilches entregó la lista de las estaciones satelitales de la DGA y sus umbrales de nivel y de precipitación, para cada tipo de alerta Azul, Amarilla y Roja. Dichos listados contienen 189 estaciones de

nivel, 85 con algún tipo de umbral definido, y 113 estaciones meteorológicas, de las cuales 8 tienen algún tipo de umbral definido.

Los listados de Hidrología se entregan en los Cuadros N° 4.1 y 4.2 adjuntos

**Cuadro N° 4.1**  
**Estaciones satelitales fluviométricas y umbrales**

<b>Estacion</b>	<b>Lim Azul Inf</b>	<b>Lim Azul Sup</b>	<b>Lim Am Sup</b>	<b>Lim Rojo Sup</b>
Río Lluta en Alcerreca	-99999	1.8	1.95	2.5
Río Lluta en Tocontasi	-99999	1.9	2.2	3
Río Ticnamar en Angostura	-99999	99999	99999	99999
Río San Jose en Ausipar	-99999	1.5	2.43	3
Río Camarones en Chilpe	-99999	99999	99999	99999
Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire	-99999	99999	99999	99999
Q. Tarapaca en Sibaya	-99999	1.4	1.75	2.5
Río Loa antes Represa Lequena	-99999	1.19	2.25	3
Río Loa en Catuncalla	-99999	99999	99999	99999
Río Siloli antes B.t. Fcab	-99999	99999	99999	99999
Río San Pedro en Parshall 2 (Codelco)	-99999	0.56	99999	99999
Río Loa en Salida Embalse Conchi	-99999	0.77	1.12	1.43
Río Loa en Vado Santa Barbara (Doh)	-99999	99999	99999	99999
Canal Grande	-99999	99999	99999	99999
Canal San Antonio	-99999	99999	99999	99999
Canal Buen Retiro	-99999	99999	99999	99999
Canal Quilchire	-99999	99999	99999	99999
Canal los Ramirez	-99999	99999	99999	99999
Río Salado A. J. Curti	-99999	1.25	1.4	1.5
Río Salado en Sifon Ayquina	-99999	0.79	1.17	1.46
Canal el Tronco	-99999	99999	99999	99999
Canal la Prensa	-99999	99999	99999	99999
Canal Lay Lay	-99999	99999	99999	99999
Canal Nuñez	-99999	99999	99999	99999
Canal Topater	-99999	99999	99999	99999
Río Loa antes Zona Agrícola Quillagua	-99999	99999	99999	99999
Río Copiapo en Pastillo	-99999	99999	99999	99999
Río Copiapo en la Puerta	-99999	1.5	1.7	2
Río Huasco en Algodones	-99999	2	2.5	2.8
Río Elqui en Algarrobal	-99999	1.01	1.59	1.77
Río Grande en las Ramadas	-99999	1.86	2.19	2.58
Río Choapa en Cuncumen	-99999	1.2	1.9	2.2
Río Cuncumen Ante Junta Choapa (Chacay)	-99999	0.5	0.7	1.3
Canal Alim. Embalse Corrales en B.t. Coiron	-99999	99999	99999	99999
Río Petorca en Peñon o Hierro Viejo	-99999	1.1	1.3	1.6

Río Alicahue en Colliguay	-99999	99999	99999	99999
Río Aconcagua en Chacabuquito	-99999	1.8	2	2.1
Río Aconcagua en San Felipe	-99999	1.9	2.3	2.5
Río Putaendo en Resguardo los Patos	-99999	0.8	1	1.3
Río Aconcagua en Romeral	-99999	2.3	2.4	2.7
Río Maipo en el Manzano	-99999	3.55	4.05	4.7
Río Molina antes Junta San Francisco	-99999	99999	99999	99999
Estero Yerba Loca antes Junta San Francisco	-99999	99999	99999	99999
Río San Francisco antes Junta Estero Yerba Loca	-99999	99999	99999	99999
Estero Arrayan en la Montosa	-99999	1.9	1.9	1.9
Río Mapocho en los Almendros	-99999	1.7	1.9	2.3
Río Mapocho Rinconada de Maipu	-99999	3.5	99999	5.5
Río las Leñas Ante Junta Río Cachapoal	-99999	99999	99999	99999
Río Cortaderal Ante Junta Río Cachapoal	-99999	99999	99999	99999
Río Cachapoal 5 Km. Aguas Abajo Junta Cortaderal	-99999	99999	99999	99999
Río Pangal en Pangal	0.602	2.2	2.6	2.9
Río Cachapoal en Pte Termas de Cauquenes	-99999	99999	99999	99999
Canal Sauzal en Puente Termas	-99999	99999	99999	99999
Río Claro en Hacienda las Nieves	-99999	2	2.58	2.92
Río Cachapoal en Puente Arqueado (Ca)	10.27	15	99999	99999
Río Claro en el Valle	-99999	2.5	3.02	3.24
Río Tinguiririca Bajo los Briones	-99999	2.64	3.02	3.24
Canal Teno en Km. 13.465	-99999	99999	99999	99999
Estero Chimbarongo en Ruta 5	-99999	99999	99999	99999
Estero Chimbarongo Bajo Embalse Convento Viejo	-99999	99999	99999	99999
Estero Chimbarongo en Puente el Huape	-99999	99999	99999	99999
Río Tinguiririca en los Olmos (Ca)	-99999	99999	99999	99999
Lago Rapel en Llallauquen	101.5	105	99999	99999
Embalse Rapel en el Muro (Ca)	100	105	99999	99999
Río Teno después de Junta con Claro	-99999	3.3	3.8	4.3
Río Colorado en Junta con Palos	-99999	3	3.5	3.9
Río Palos en Junta con Colorado	-99999	1.9	2.2	2.5
Río Mataquito en Licanten	-99999	5.5	6.4	7
Laguna Del Maule	2152	2194	99999	99999
Laguna de la Invernada	1283.55	1322	99999	99999
Canal Ad. Maule C. Pehuenche	0.87	5	5.2	5.5
Canal Melado en los Hierros	-99999	3.2	3.25	3.3
Río Melado en Zona de Presa	10	14	14.5	15
Embalse Melado	642.91	651	99999	99999
Río Melado en el Salto	1.04	4	4.5	5
Río Claro en San Carlos	13	16	16.5	17
Río Maule en Armerillo	0	4	4.5	5
Canal Maule Norte en Aforador	0.08	2.5	3	3.5

Canal de Evacuacion C. Pehuenche	0	4	4.5	5
Embalse Colbun	-99999	99999	99999	99999
Canal Maule Norte Alto en Paso Nevado	-99999	99999	99999	99999
Río Maule en Longitudinal	-99999	4	4.6	5
Canal Maule Sur en Aforador	-99999	99999	99999	99999
Canal de Restitucion Sur 2	-99999	99999	99999	99999
Canal de Restitucion Sur 3	-99999	99999	99999	99999
Canal San Clemente	-99999	99999	99999	99999
Canal Duao Zapata	-99999	99999	99999	99999
Río Perquillauquen en San Manuel	-99999	99999	99999	99999
Río Longavi en la Quiriquina	-99999	3.8	4.6	5.4
Río Achibueno en la Recova	-99999	2	2.7	3
Río Ancoa en el Morro	-99999	2.4	3	3.5
Canal de Restitucion Sur 1	-99999	99999	99999	99999
Río Loncomilla en las Brisas	-99999	7.9	10	11
Canal Maule Norte Bajo en Puente Centinela	8	12	13	14
Quebrada Colorado en Desagüe Laguna los Temos	-99999	99999	99999	99999
Quebrada Colorado Bajo Sistema Maitenes	-99999	99999	99999	99999
Río Claro en Rauquen	-99999	4	5.3	6.2
Río Maule en Forel	-99999	7.9	10	11
Río Ñuble en San Fabian N 2	-99999	5	6	7
Río Chillan en Esperanza N 2	-99999	99999	99999	99999
Canal de la Luz en Chillan	-99999	99999	99999	99999
Río Diguillin en San Lorenzo (Atacalco)	-99999	99999	99999	99999
Río Itata en Balsa Nueva Aldea	-99999	99999	99999	99999
Río Itata en Paso Hondo	-99999	99999	99999	99999
Río Itata en Coelemu	-99999	99999	99999	99999
Estero Bellavista en Tomé	-99999	99999	99999	99999
Río Andalien Camino a Penco	-99999	99999	99999	99999
Estero Nonquen Frente U. Del Bio Bio	-99999	99999	99999	99999
Río Andalien en Puente Trinitarias	-99999	99999	99999	99999
Río Bio-bio en Llanquen	0	2.5	3	3.4
Río Bio Bio en Angostura Ralco 1	2.65	5.8	6	7
Río Bio Bio Ante Junta Huiru Huiru	0.2	4.5	5	5.9
Embalse Ralco	-99999	99999	99999	99999
Río Pangué en Captacion	0.05	1.7	2	2.3
Río Bio Bio Ante Junta Pangué	0	6	7	10
Embalse Pangué	499.17	513.05	99999	99999
Río Biobio en Rucalhue	-99999	5	5.5	6
Río Biobio en Longitudinal	-99999	99999	99999	99999
Río Duqueco en Cerrillos	-99999	99999	99999	99999
Estero Paillihue en Ex Longitudinal Sur	-99999	99999	99999	99999
Estero Quilque en los Angeles	-99999	99999	99999	99999
Canal Alto Polcura	0.46	1.9	2.1	2.3

Laguna de la Laja (Lm)	1330.28	1350	99999	99999
Canal de Descarga Central Antuco	-99999	99999	99999	99999
Río Polcura en Cuatro Junta	-99999	1.8	2.1	2.4
Canal de Descarga Central el Toro	-99999	2.6	2.8	3
Canal Abanico en Km 049	-99999	99999	99999	99999
Canal Zañartu después Bocatoma Río Laja	-99999	99999	99999	99999
Canal Collao	-99999	99999	99999	99999
Canal Mirrihue	-99999	99999	99999	99999
Río Laja en Tucapel	-99999	2	3	3.5
Canal Laja Camino a Tucapel	-99999	99999	99999	99999
Canal Laja-diguillín	-99999	99999	99999	99999
Río Laja Ag.arr. Del Salto (Rec.r.laja)	-99999	99999	99999	99999
Estero Hualqui en Desembocadura	-99999	99999	99999	99999
Río Biobio en Desembocadura	-99999	2.8	3	3.2
Río Curanilahue en Curanilahue	-99999	99999	99999	99999
Estero Plegarias antes de Jta Río Curanilahue	-99999	99999	99999	99999
Río Leiva en Puente Camino a Contulmo	-99999	99999	99999	99999
Río Cholchol en Cholchol	-99999	5.36	7.48	9.33
Río Cautin en Rari-ruca	0.67	2.32	2.7	3.8
Río Cautin en Cajon	0.7	3.51	3.97	4.27
Río Tolten en Teodoro Schmidt	-99999	3.68	4.42	4.72
Río Fui en Desagüe Lago Pirihueico	0.42	4	5.2	6.1
Río Cruces en Rucaco	-99999	3.1	3.7	4.5
Río Gol Gol en Puente N° 2	-99999	99999	99999	99999
Río Rahue en Desague Lago Rupanco	-99999	99999	99999	99999
Río Negro en Chahuilco	-99999	5.1	6.7	10.3
Río Puelo en Carrera Basilio	10	13.5	14.8	16
Río Futaleufu en la Frontera	-99999	3	3.6	4
Río Simpson Bajo Junta Coyhaique	-99999	4.37	4.967	5.293
Río Aysen en Puerto Aysen	-99999	99999	99999	99999
Río Ibañez en Desembocadura	-99999	99999	99999	99999
Río Baker en Desague Lago Bertrand	0.69	10	99999	99999
Río Cochrane en Cochrane	-99999	99999	99999	99999
Río Baker en Angostura Chacabuco	3	13	99999	99999
Lago Cachet 2 en Glaciar Colonia	-99999	99999	99999	99999
Río Colonia en Nacimiento	-99999	99999	99999	99999
Río Baker en Colonia	-99999	99999	99999	99999
Río Baker Bajo Ñadis	1.8	19	99999	99999
Río Mayer en Desembocadura	-99999	99999	99999	99999
Lago O'higgins en Villa O'higgins	0	22	99999	99999
Glaciar O'higgins	-99999	99999	99999	99999
Río Pascua en Desagüe Lago O'higgins	0	10.7	99999	99999
Río Pascua Ante Junta Río Quetru	0.88	10.88	99999	99999
Río Punta Eva en Puerto Eden	-99999	99999	99999	99999
Río Paine en Parque Nacional 2	-99999	99999	99999	99999

Lago Dickson	-99999	2.8	3.5	4
Lago Paine	-99999	99999	99999	99999
Lago Nordenskjöld	-99999	99999	99999	99999
Lago Pehoe	-99999	99999	99999	99999
Río las Chinas en Cerro Guido	-99999	99999	99999	99999
Río las Chinas antes Desague Del Toro	-99999	99999	99999	99999
Lago el Toro en Estancia Paine	-99999	99999	99999	99999
Río Grey antes Junta Serrano	-99999	99999	99999	99999
Río Serrano en Desembocadura	-99999	99999	99999	99999
Río Serrano en Desague Lago Del Toro	-99999	99999	99999	99999
Río San Juan en Desembocadura	-99999	99999	99999	99999
Río Tres Brazos antes Bt. Sendos	-99999	99999	99999	99999
Río las Minas en Bt. Sendos	-99999	99999	99999	99999
Canal de Trasvase Estero Llau-llau	-99999	99999	99999	99999
Río Rubens en Ruta N 9	-99999	99999	99999	99999
Río Penitente en Morro Chico	-99999	99999	99999	99999
Río Caleta en Tierra Del Fuego	-99999	99999	99999	99999
Río Azopardo en Desembocadura	-99999	99999	99999	99999
Río Grande en Tierra Del Fuego	-99999	99999	99999	99999
Río Robalo en Puerto Williams	-99999	99999	99999	99999
Lago Navarino	-99999	99999	99999	99999
Estación Prueba 1	-99999	99999	99999	99999

**Cuadro N° 4.2**  
**Estaciones satelitales de precipitación y umbrales**

<b>Estacion</b>	<b>Lim Azul Sup</b>	<b>Lim Am Sup</b>	<b>Lim Rojo Sup</b>
Bahia Yendegaia	99999	99999	99999
Belen	0	99999	99999
Bitsch Alto	99999	99999	99999
Cameron	99999	99999	99999
Canal de la Luz en Chillan	99999	99999	99999
Canal de Trasvase Estero Llau-llau	99999	99999	99999
Canal Sauzal en Puente Termas	99999	99999	99999
Candelario Mancilla	99999	99999	99999
Cerro Calan	40	99999	99999
Cerro Castillo	99999	99999	99999
Cerro Mirador	99999	99999	99999
Cupo	99999	99999	99999
El Tatio	99999	99999	99999
Embalse Pangué	99999	99999	99999
Embalse Ralco	99999	99999	99999
Estero Bellavista en Tomé	99999	99999	99999

Estero Hualqui en Desembocadura	99999	99999	99999
Estero Nonguen Frente U. Del Bio Bio	99999	99999	99999
Estero Plegarias antes de Jta Río Curanilahue	99999	99999	99999
Estero Quilque en los Angeles	99999	99999	99999
Estero Yerba Loca antes Junta San Francisco	99999	99999	99999
Glaciar O'higgins	99999	99999	99999
Glaciar San Rafael	99999	99999	99999
Lago Cachet 2 en Glaciar Colonia	99999	99999	99999
Lago Dickson	99999	99999	99999
Lago el Toro en Estancia Paine	99999	99999	99999
Lago Navarino	99999	99999	99999
Lago Nordenskjold	99999	99999	99999
Lago O'higgins en Villa O'higgins	99999	99999	99999
Lago Paine	99999	99999	99999
Lago Parrillar	99999	99999	99999
Lago Pehoe	99999	99999	99999
Linzor	99999	99999	99999
Porvenir	99999	99999	99999
Punta Arenas	99999	99999	99999
Putre (Dcp)	99999	99999	99999
Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire	99999	99999	99999
Q. Tarapaca en Sibaya	99999	99999	99999
Quebrada de Macul	99999	99999	99999
Rancagua (Cachapoal - Dcp)	99999	99999	99999
Río Aconcagua en Chacabuquito	30	99999	99999
Río Aconcagua en Romeral	99999	99999	99999
Río Aconcagua en San Felipe	99999	99999	99999
Río Alicahue en Colliguay	99999	99999	99999
Río Ancoa en el Morro	99999	99999	99999
Río Aysen en Puerto Aysen	99999	99999	99999
Río Azopardo en Desembocadura	99999	99999	99999
Río Baker en Angostura Chacabuco	99999	99999	99999
Río Biobio en Desembocadura	99999	99999	99999
Río Bio-bio en Llanquen	99999	99999	99999
Río Biobio en Longitudinal	99999	99999	99999
Río Biobio en Rucalhue	80	80	99999
Río Cachapoal 5 Km. Aguas Abajo Junta Cortaderal	99999	99999	99999
Río Cachapoal en Puente Arqueado (Ca)	99999	99999	99999
Río Caleta en Tierra Del Fuego	99999	99999	99999
Río Camarones en Chilpe	99999	99999	99999
Río Cautin en Cajon	99999	99999	99999
Río Cautin en Rari-ruca	99999	99999	99999
Río Chillan en Esperanza N 2	99999	99999	99999
Río Choapa en Cuncumen	99999	99999	99999
Río Cholchol en Cholchol	99999	99999	99999

Río Claro en Rauquen	30	99999	99999
Río Cochrane en Cochrane	99999	99999	99999
Río Colonia en Nacimiento	99999	99999	99999
Río Diguillin en San Lorenzo (Atacalco)	99999	99999	99999
Río Duqueco en Cerrillos	99999	99999	99999
Río Fui en Desagüe Lago Pihueico	99999	99999	99999
Río Grande en Tierra Del Fuego	99999	99999	99999
Río Huasco en Algodones	99999	99999	99999
Río Ibañez en Desembocadura	99999	99999	99999
Río Itata en Coelemu	99999	99999	99999
Río Laja Ag.arr. Del Salto (Rec.r.laja)	99999	99999	99999
Río Laja en Tucapel	99999	99999	99999
Río las Chinas en Cerro Guido	99999	99999	99999
Río las Minas en Bt. Sendos	99999	99999	99999
Río Leiva en Puente Camino a Contulmo	99999	99999	99999
Río Lluta en Alcerreca	99999	99999	99999
Río Loa antes Represa Lequena	99999	99999	99999
Río Loncomilla en las Brisas	30	99999	99999
Río Longavi en la Quiriquina	99999	99999	99999
Río Mapocho en los Almendros	40	99999	99999
Río Mapocho Rinconada de Maipu	99999	99999	99999
Río Mataquito en Licanten	99999	99999	99999
Río Maule en Armerillo	99999	99999	99999
Río Maule en Forel	99999	99999	99999
Río Melado en el Salto	99999	99999	99999
Río Molina antes Junta San Francisco	99999	99999	99999
Río Negro en Chahuilco	99999	99999	99999
Río Ñuble en San Fabian N 2	99999	99999	99999
Río Paine en Parque Nacional 2	99999	99999	99999
Río Palos en Junta con Colorado	99999	99999	99999
Río Pangal en Pangal	99999	99999	99999
Río Pascua Ante Junta Río Quetru	99999	99999	99999
Río Penitente en Morro Chico	99999	99999	99999
Río Perquilauquen en San Manuel	99999	99999	99999
Río Petorca en Peñon o Hierro Viejo	99999	99999	99999
Río Punta Eva en Puerto Eden	99999	99999	99999
Río Putaendo en Resguardo los Patos	99999	99999	99999
Río Rahue en Desague Lago Rupanco	99999	99999	99999
Río Robalo en Puerto Williams	99999	99999	99999
Río Rubens en Ruta N 9	99999	99999	99999
Río Salado en Sifon Ayquina	99999	99999	99999
Río San Juan en Desembocadura	99999	99999	99999
Río Serrano en Desembocadura	99999	99999	99999
Río Simpson Bajo Junta Coyhaique	99999	99999	99999
Río Teno después de Junta con Claro	99999	99999	99999

Río Ticnamar en Angostura	99999	99999	99999
Río Tinguiririca Bajo los Briones	50	99999	99999
Río Tolten en Teodoro Schmidt	99999	99999	99999
Russfin	99999	99999	99999
Salado Embalse	99999	99999	99999
San Fernando	99999	99999	99999
San Gregorio	99999	99999	99999

Un resumen de la información recibida se presenta en el Cuadro N° 4.3 adjunto.

**Cuadro N° 4.3**  
**Resumen de la información recibida**

189 estaciones fluviométricas satelitales de alerta					
	Con	Sin			
Alerta Azul inferior	33	156			
Alerta Azul superior	85	104			
Alerta Amarilla (superior)	69	120			
Alerta Roja (superior)	70	119			
Tipo de cauce	Canal	Ríos, esteros o quebradas	Lagos y lagunas	Embalse	Otros
	36	132	12	5	4

113 estaciones meteorológicas satelitales de alerta		
	Con	Sin
Alerta Azul (superior)	8	105
Alerta Amarilla (superior)	1	112
Alerta Roja (superior)	0	113

**b) José Miñano, DGA**

El 01/12/09 se entrevistó al Sr. José Miñano, Jefe de la Subdivisión de Hidrometría y encargado del Banco Nacional de Aguas del Departamento de Hidrología de la Dirección General de Aguas.

[jose.mignano@mop.gov.cl](mailto:jose.mignano@mop.gov.cl)

4493765

Como encargado del Banco Nacional de Aguas, José Miñano recibe las estadísticas de todas las estaciones del país incluyendo las estaciones satelitales, las analiza para comprobar la calidad de ellas, y luego, si es necesario, las corrige. No maneja el sistema de alerta de crecida ya que no trabaja en “tiempo real”, sino que trabaja en la operación de la red fluviométrica, la mantención de las estaciones, mediante una coordinación con las Oficinas Regionales y con las estadísticas varios meses después de su generación. También se ocupa de la actualización de las curvas de descarga.

Cuando se detectan errores sistemáticos en las mediciones de las estaciones satelitales, se le informa a la oficina receptora, para que incluya una corrección en el proceso de transcripción de la información recibida en valores, para las futuras mediciones.

Sin embargo, cuando se corrigen a posteriori estadísticas provenientes de estaciones satelitales, los cambios efectuados no se actualizan en la base de datos satelitales, quedando en los registros datos erróneos que se encuentran corregidos en las estadísticas definitivas editadas por el Banco Nacional de Aguas. Para solucionar este problema, durante el 2009, mediante un trabajo de consultoría, se desarrolló una aplicación computacional que devuelve los datos de niveles limnimétricos corregidos al sistema satelital, con lo cual automáticamente se ajustan los caudales.

En cuanto a las relaciones de pronóstico, señala que Fernando Escobar estuvo encargado de revisar que la aplicación computacional de las relaciones de pronóstico funcionara de acuerdo con las fórmulas. Las relaciones fueron establecidas solamente para aquellos puntos donde se podía efectuar un pronóstico en base a información satelital.

Como posibles mejoras al sistema de alerta, el Sr. Miñano propone la implementación de nuevas estaciones satelitales a lo largo del país, principalmente en las partes altas de las cuencas, de forma de poder pronosticar crecidas en sectores más bajos con mayores tiempos de antelación. José Miñano piensa que, en cuanto a nuevas estaciones satelitales y equipamiento satelital de estaciones no antiguas, se han efectuado un 10% de las mejoras propuestas por los consultores Brown y Ferrer en los estudios de investigación de sistema de crecidas fluviales de los años 1986 a 1988, incluidos en la revisión bibliográfica.

También menciona la importancia de revisar los caudales umbrales para la activación de las alertas tempranas, ya que la proliferación de mensajes de alerta a las personas encargadas en las regiones tiene por consecuencia que en general no se tomen en cuenta.

**c) Erich Weidensläufer**

El 01/12/09 se entrevistó al Sr. Erich Weidensläufer, Jefe de la Subdivisión de Meteorología del Departamento de Hidrología de la Dirección General de Aguas.

[erich.weidenslaufer@mop.gov.cl](mailto:erich.weidenslaufer@mop.gov.cl)

4493764

Por lo general, el personal de las Direcciones Regionales de Aguas determina cuándo algunos de los ríos entra en crecida con niveles de agua que empiezan a ser preocupantes. Para ello utilizan los caudales umbrales derivados de los resultados de los estudios de investigación de sistema de crecidas fluviales de los años 1987 y 1988 de Brown y Ferrer. En el caso de cauces no incluidos en estos informes, se basan en criterios propios que resultan de su experiencia en terreno.

Cuando uno de los ríos alcanza su caudal crítico, las Direcciones Regionales avisan a la DGA central, que empieza a monitorear las estaciones satelitales correspondientes y a dar instrucciones al personal regional para monitorear en el caso que se necesite. Las Direcciones Regionales también avisan a la Intendencia Regional, la que oficializa la alerta ante la ONEMI.

En base a la observación continua de los caudales y las precipitaciones entregados por las estaciones satelitales, Erich Weidensläufer determina aquellos eventos meteorológicos que podrían provocar crecidas críticas. Pocas veces ha tenido que avisar a las Direcciones Regionales de una situación crítica que no había sido detectada previamente en la región.

Erich Weidensläufer también avisa a la oficina receptora de datos satelitales cuando es necesario poner en marcha el modelo de pronóstico, el cual es operado por Juan Vilches.

El Sr. Weidensläufer utiliza criterios propios para evaluar la criticidad de los eventos meteorológicos, basados en una precipitación acumulada en alguna estación representativa asociada a una altura de la línea de nieve. Estos criterios están plasmados en la siguiente Figura N° 4.2. De esta forma se puede hacer una idea del área aportante pluvial, que es el parámetro fundamental para evaluar la importancia de la crecida.

La zona central es la más crítica en términos de protección frente a crecidas extremas ya que concentra casi la mitad de la población chilena, y en las orillas de sus ríos se encuentran viviendas y poblaciones, y superficies agrícolas de alto valor para el país.

Para esta región se tienen las estaciones satelitales Portillo y Cerro Calán, que entregan datos de precipitación y de temperatura muy relevantes para determinar la altura de la isoterma cero y la probabilidad de observar una crecida importante más abajo. Para la VIa región, también de alto valor agrícola, se ocupa la estación satelital Termas del Flaco.

Weidensläufer maneja un pronóstico meteorológico de intensidad de precipitación y de distribución espacial de la precipitación, ambos a tres días, que entrega el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile a través de su página [www.met.dgf.uchile.cl](http://www.met.dgf.uchile.cl). En base a este pronóstico, se puede alertar a la región.

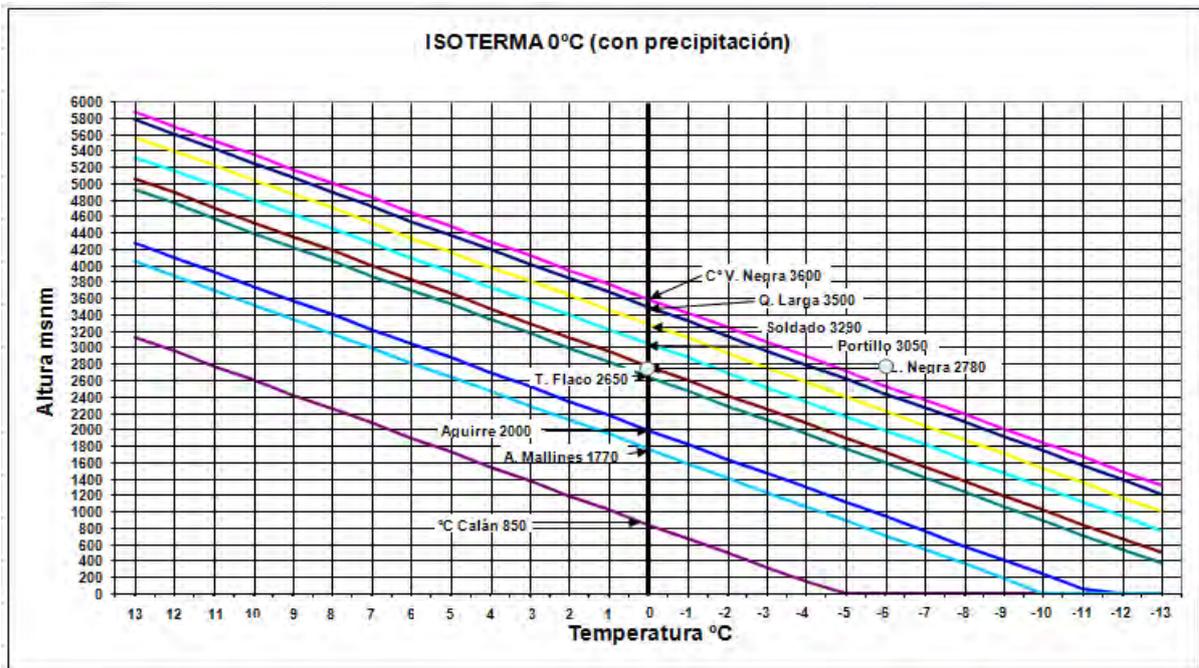
En la experiencia de Weidensläufer, una altura de la isoterma 0°C sobre los 2800 m en las regiones III y IV, de 2100 m en las regiones V, Metropolitana y VI, y de 1700 m para las regiones VII y VIII, puede indicar un aumento peligroso de los caudales.

En cuanto a la hidrología (modelos y relaciones de pronóstico, tiempos de antelación) e hidrometría (cobertura de puntos monitoreados) recomienda conversar con Brahim Nazahala de la subdivisión de Procesos y Desarrollo.

Finalmente estima poco factible determinar alguna tendencia o variación en la altura de la línea de nieve, debida al calentamiento global, en base a las estadísticas, por las siguientes razones:

- se necesitaría por lo menos 70 a 80 años de mediciones para poder estimar alguna tendencia
- las estaciones satelitales registran información solamente desde el año 2000
- el glaciar Echaurren, que es el más estudiado de Sudamérica, cuenta apenas con 40 años de balance de masa de hielo
- hay que tomar en cuenta fenómenos cíclicos como La Niña o El Niño que influyen bastante en la altura de nieve acumulada observada.

**Figura N° 4.2**  
**Altura de la línea de nieve en función de la temperatura en la estación respectiva**



Fuente: Dirección General de Aguas, División de Hidrología

## **4.2 Entrevistas por videoconferencia**

El día 16 de Diciembre de 2009 se realizó un día de entrevistas por videoconferencia, de 30 a 40 minutos por región, a través de las cuales se informó al personal regional de hidrología de la realización del estudio, y se le pidió su colaboración según está señalado en los Términos de Referencia del presente estudio. La colaboración solicitada consistió en responder por escrito un cuestionario en el que se pidió, fundamentalmente, caracterizar el sistema actual de alerta de crecidas, señalar qué aspectos requerían de revisión y si había que ampliarlo con estaciones o variables adicionales en función de eventos recientes.

Además, se conversó de diversos temas durante la videoconferencia, los cuales se reproducen aquí, en la medida que no están incluidos en las respuestas escritas al cuestionario.

### **Región XV**

Algunas mediciones de estaciones de cabecera están informadas mediante observadores.

Se pueden evitar daños si la alerta se da en la mañana: en este caso, el personal de la DGA se puede contactar con los diferentes observadores en los horarios en que ellos están disponibles o dispuestos a recolectar mediciones o sea entre las 9.00 y las 18.00 aproximadamente y avisar a las autoridades una crecida que llegaría alrededor del medio día.

En el caso contrario (alerta de noche), es más difícil que se pueda monitorear y tomar las medidas necesarias para proteger los sectores más vulnerables.

El año 2001 hubo una alerta roja en Azapa, en Arica se cortó el puente. También hubo crecida en el Lluta. Con las crecidas, hay zonas que quedan aisladas. Pero no han evacuado personas.

### **Región I**

Hay dos estaciones satelitales, en la quebrada de Camiña y en la quebrada de Tarapacá. La estación en Quebrada de Camiña no transmite.

Durante la última crecida importante en el 2001, no había personal en las oficinas de la DGA Regional. Por lo tanto no se pudieron tomar las medidas necesarias. No hay experiencia en temas de emergencia.

Los daños generados por crecidas se localizan especialmente en las quebradas de Camiña, Tarapacá y Aroma, debido a la mayor densidad poblacional y superficie de uso agrícola.

Las estaciones fluviométricas están diseñadas para caudales pequeños por lo que en general no se pueden medir las crecidas adecuadamente.

No hay un sistema de alerta definido. No se miden bien las crecidas. No hay estudios. Falta una estación en la Quebrada de Aroma, que debiera ser satelital, dadas las grandes distancias que no se pueden recorrer en caso de emergencia.

## **Región II**

Las crecidas se generan en la parte alta del Loa. El río Salado es el más crítico. Las crecidas se mitigaron con el embalse Conchi. Sin embargo, en el evento del año 2001 hubo un mal manejo del embalse, que provocó daños importantes hacia aguas abajo. Los principales daños corresponden a captaciones altas de las empresas sanitarias. Aguas arriba del embalse Conchi no hay grandes problemas con las crecidas.

En relación con el río Salado alto, se podrían lograr tiempos de antelación del orden de 1 día a 1 día y medio.

Observan más el sector donde ocurren las precipitaciones que el monto de las mismas. De hecho las lluvias son por lo general cortas, intensas, caen en altura y generan gran arrastre. Ocurren por lo general entre las 4 de la tarde y las 3 de la mañana, por lo que solamente se puede tener el dato del monto precipitado en la mañana, comunicándose directamente con algún observador.

Las estaciones pluviométricas en general no son satelitales. Los observadores llaman todos los días en la mañana. Hay pocas estaciones de precipitación en línea. Ocupan las previsiones de precipitaciones de una página del gobierno argentino. Se requerirían más estaciones pluviométricas satelitales, porque no hay buena cobertura de celular.

Las alertas de San Pedro en Parshall en general no son aguas naturales, sino que miden aguas de trasvase de las captaciones de Codelco. Responden a una exigencia de transparencia de parte de las comunidades lugareñas, en relación con el aprovechamiento de los derechos de agua de CODELCO. También hay control satelital en las captaciones de Toconce, Inacaliri y Linzor, todas de Codelco.

Aguas Antofagasta avisa a la DGA cuando empieza a llover en Toconce. También usan los registros de Argentina para anticipar eventos de precipitación.

La definición de umbrales en la actualidad es informal, debe ser revisada. No hay estudios de crecidas, el registro de crecidas no es bueno. Las secciones triangulares son aptas para caudales pequeños, pero no para crecidas.

## **Región III**

El tema de los umbrales nació con las estaciones satelitales y la posibilidad de tener información en tiempo real. Pero no se conoce ni se ha implementado en la región. Los umbrales existentes se implementaron a nivel central (Ismael Pasten), en base a las crecidas mayores. No hay sistema de alerta en la región.

El encargado de hidrología aparentemente ha cambiado mucho en el último tiempo. La persona que más sabe de la historia hídrica en la DGA Regional, sería Rubén Castillo, que estaba con licencia en el momento de la videoconferencia.

En la última crecida en el año 1997 el río Copiapó no desbordó. Pero el limnógrafo fue arrastrado por la crecida, de modo que no hay registro. Últimamente se ha invadido bastante el cauce del río Copiapó con

plantaciones de parrones, poblaciones y basurales por lo que existen nuevos sectores en riesgo en caso de crecida.

Es de conocimiento popular que una lluvia de 10 min provoca una crecida del río Copiapó y que 2 lluvias en 2 días seguidos generan una crecida grande.

#### **Región IV**

El sistema actual de alerta incluye estaciones no satelitales, que tienen observadores y que se controlan con visitas al lugar. Ellos saben los tiempos que demoran las crecidas en trasladarse.

Tiempos de traslado:

3 horas entre río Elqui en Algarrobal y embalse Puclaro

4 horas entre río Grande en Las Ramadas y Puntilla San Juan (embalse Paloma)

3 horas entre río Choapa en Cuncumén y Salamanca

El embalse Puclaro existe desde el año 2000. La última crecida del año 1997 sobrepasó la cota de la ruta 41.

El Elqui tiene crecidas de deshielo. Ha habido 1800 m<sup>3</sup>/s en La Serena (2002), con el embalse Puclaro vertiendo (vertedero de capacidad 2300 m<sup>3</sup>/s). Cortes de caminos.

En 1987, el embalse Paloma logró disipar una crecida de 3.000 m<sup>3</sup>/s, lo que permitió defender los puentes carreteros ubicados aguas abajo de esa obra y que colapsan con caudales que superen los 220 m<sup>3</sup>/s.

Gracias a un convenio con la empresa minera Pelambre, se implementarán 5 nuevas estaciones en la cuenca del río Choapa, midiendo alturas de agua y datos de calidad de agua.

La isoterma 0° tiene importancia en cuanto a la magnitud de las cuencas pluviales en eventos de precipitación.

Las curvas de descarga están relativamente bien actualizadas.

Los valores de los umbrales no necesitan actualización.

#### **Región V**

Los valores umbrales provienen de la práctica y de la experiencia. Necesitan actualización ya que han mejorado las condiciones del cauce del río Aconcagua desde las últimas grandes crecidas en los años 1987 y 1997. La DOH ha hecho defensas fluviales, cuyo comportamiento no se ha podido validar, porque no ha habido grandes crecidas en forma posterior a su construcción.

Las zonas más conflictivas son Panquehue (población) y Quillota (zona agrícola), en el Aconcagua. 200 m<sup>3</sup>/s en Aconcagua en Chacabuquito genera problemas en Panquehue. El año 1997 se habría inundado el sector de Hijuelas.

(Nota del consultor: El sector de Panquehue quedará protegido contra crecidas con la nueva ruta CH-60, que en ese tramo pasará por el borde sur del río Aconcagua.).

En 1987 se inundó Viña del Mar, en el estero Marga Marga. Pusieron estaciones en Quilpué y Hotel O'Higgins, pero entre ambas hay sólo minutos de desfase.

En la estación Juncal debiera haber registro satelital de caudales y temperaturas.

El Putaendo tendrá el embalse Chacrillas.

### **Región Metropolitana**

El valor del sistema de alerta o control de crecidas de la DGA es poder dar una alerta temprana a la población. Se hace a través de la Municipalidad.

La DGA debe emitir las resoluciones que ordenan el cierre de bocatomas en el período de invierno. Previo a las crecidas es importante fiscalizar y controlar el cierre de los canales, para que no se produzcan inundaciones a través de ellos. Hay canales que evacúan aguas lluvias y pueden generar problemas a la población.

En Santiago se requiere un sistema de predicción de la ubicación de la isoterma 0<sup>a</sup> durante los próximos días, y un pronóstico de precipitaciones.

Las crecidas ocurren en quebradas no controladas de forma imprevisible por lo general en forma de un aluvión. Puede ocurrir algo en un lugar donde no ha ocurrido nada antes.

Es necesario revisar los umbrales, especialmente en el río Mapocho, que hoy está canalizado, y cuyas crecidas ya no serían un problema, dada la capacidad de la canalización (Q = 1250 m<sup>3</sup>/s). En la última alerta roja, el 07/09/09, no se provocó ningún daño, ni en el Mapocho ni en el Maipo. Melipilla se inunda. Hay que revisar los umbrales.

En el Maipo hay problemas con la extracción no controlada de áridos, que provocan la socavación de los pilares de los puentes.

Se necesita levantar un catastro de las nuevas poblaciones establecidas en las zonas ribereñas de los ríos de la región.

Es necesario establecer umbrales para la Quebrada de Ramón. Incluir la temperatura del aire en zonas eventualmente nivales.

**Región VI**

Los umbrales se establecen en función de las crecidas que generaron daño. El sistema de alerta considera temperaturas La última actualización de umbrales es del año pasado. El problema es que, cada año, con las crecidas, se van los instrumentos, cambian los lechos, se modifica la curva de descarga, y con ello cambian los umbrales. Con Hidrología están buscando un sistema para evitar que se pierdan las estaciones e instrumentos al primer golpe de crecida. Recomendación: observar las trazas de las crecidas.

Tienen determinado el tiempo desde las cabeceras de los ríos hasta la ruta 5. Son 3-4 horas, y en ese lapso no se puede hacer mucho.

En el río Rapel, hay inundaciones en la desembocadura. Pero el embalse tiene un modelo de prevención de crecidas.

**Región VII**

Hay estaciones satelitales hace doce años. Los valores umbrales no han sido revisados últimamente. Los umbrales se definen a partir de las trazas que se han observado en las crecidas.

La temperatura del aire es una variable importante especialmente en la generación de crecidas de primavera (septiembre). La precipitación es importante en cuencas intermedias.

Las crecidas grandes se llevan las estaciones.

La DH tiene un estudio del año 2000, Planes maestros de manejo de cauces, para los ríos Mataquito, Maule y Perquilauquén.

Debe encontrarse una relación entre la precipitación, la isoterma 0° y el caudal, para las zonas amagadas.

**Región VIII**

En la región hay observadores incluso donde no hay estaciones, que cooperan con la DGA en determinados eventos. Las Juntas de Vecinos también ayudan cuando hay crecidas. Incluso las comunas tienen sus planes locales propios de alertas de crecidas.

No es necesario revisar umbrales, ellos son representativos. Hay 17 estaciones satelitales.

Lo que se necesita es un aporte en relaciones de pronóstico a corto plazo.

Por otro lado, hoy sólo usan niveles de río para las alertas. Podría incorporarse la variable de precipitación, y el control de embalses mediante la aplicación de la ley de embalses.

Tomar en cuenta la próxima implementación de 2 nuevas centrales hidroeléctricas en el río Laja en Puente Perales, y en el río Biobío bajo junta estero Pangue.

Víctor Romero, Coordinador Regional de Emergencia, lleva los informes de las alertas.

### **Región IX**

Hay una estación satelital que dejó de transmitir, la de Teodoro Schmidt. De Temuco a la costa se inundan terrenos solamente, cerca de Carahue y Nueva Imperial.

No hay memoria de alguna alerta roja, sólo azul y amarilla. Las alertas amarillas provienen en general de las estaciones Cautín en Rariruca y Cautín en Cajón. En el sistema falta alguna estación hacia la costa.

En cuanto a los umbrales existentes, se estiman adecuados, no requerirían revisión.

Se necesitaría la implementación de estaciones para monitorear las crecidas debidas al derretimiento de las nieves del volcán Llaima cuando éste entra en erupción (sectores de Vilcún, Melipeuco y Cherquenco).

### **Región XIV**

El sistema de alerta tiene una sola estación, río Cruces en Rucaco, que alerta tanto los máximos como los mínimos. En general, en esta región hay mucha regulación de los lagos.

En cuanto a crecidas, los puntos críticos son el cruce de la ruta 5 del río Llollehue en La Unión, y los terrenos agrícolas adyacentes.

Las estación satelital en el río Fui no es relevante para el sistema de alerta de crecidas ya que se ubica aguas arriba de los lagos.

Desde que existe esta Dirección regional, no han tenido oportunidad de activar las alertas.

### **Región XI**

Tienen 31 estaciones fluviométricas en la región, de las cuales 12 son satelitales. Están ubicadas en las cuencas de los ríos Aysén, Baker y Pascua. Hacia el norte no hay estaciones satelitales.

En el río Simpson hay umbrales, para proteger las zonas inundables entre Coyhaique y Aysén. En los ríos Baker y Pascua, y en el lago O'Higgins hay umbrales azules y amarillos.

Llevar un monitoreo específico de los niveles del lago Cachet (y lo tendrán para el lago Colonia), para observar el fenómeno de vaciamiento brusco de los lagos glaciares. La alerta está definida a través de una variación interhoraria del nivel del lago. También se observan variaciones de la temperatura del agua durante estos eventos.

Los eventos son muy bruscos, por ejemplo, los caudales del río Baker se elevan de 1500 a 3500 m<sup>3</sup>/s, en pocas horas. Se han registrado 5 eventos en el último período de un año y cuatro meses.

Se espera asesoría para la definición de los umbrales de las alertas amarillas y rojas que no existen, y un sistema de alerta de sequías.

También solicitan satelizar la estación del río Cisnes, porque Puerto Cisnes sufre inundaciones en sectores industriales y rurales.

## **Región XII**

Hay 34 estaciones en total en la región, todas satelitales. Esperan llegar a 40. Dentro de ellas, están las estaciones del sistema de alerta. La implementación de plataformas satelitales se justifica en esta región por la poca accesibilidad hacia los lugares de medición.

Dickson es la estación más antigua. Se producen alertas de verano por deshielo en la cuenca del Paine y alertas de invierno por precipitación en el río Las Minas que afecta la ciudad de Punta Arenas.

Se necesita definir los umbrales ya que no están definidos en la actualidad.

### **4.3 Contenido del cuestionario**

De acuerdo con lo planificado, después de la videoconferencia se envió a todas las regiones el cuestionario con las preguntas y solicitud de información que se detalla a continuación.

#### **I. Sistema actual de alerta de crecidas**

1. ¿Tienen o no un sistema de alerta de crecidas en funcionamiento?
2. ¿Qué estaciones lo componen?  
Satelitales – No satelitales  
(Listado de estaciones de control, y tipo)
3. ¿Qué variables se miden?  
Niveles de ríos  
Niveles de lagos  
Precipitaciones  
Temperatura  
Otras  
(En el mismo listado, variables asociadas)
4. ¿A qué zonas amagadas se asocia el sistema de alerta (estaciones de control) actual?  
(Listado de zonas amagadas asociadas a las estaciones de control.)
5. ¿Hay estaciones en canales? ¿Qué sentido tienen los umbrales en los canales de riego o hidroeléctricos?

#### **II. Umbrales**

6. ¿Cuándo y cómo se establecieron los umbrales? ¿Cómo se han actualizado? ¿Cuándo se actualizaron por última vez?
7. ¿Hay antecedentes escritos sobre el establecimiento de los umbrales?  
(Aportarlos por favor.)
8. ¿Hay umbrales que no funcionan bien y deben ser revisados? ¿Por qué razón?  
(Listado de umbrales a revisar y problema asociado.)
9. ¿Usan relaciones de pronóstico de corto plazo para el establecimiento de umbrales?

### III. Extensiones del sistema actual

10. 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.)
11. ¿Qué nuevas estaciones de control recomiendan para cubrir las zonas amagadas no incluídas en el sistema de alerta actual?  
(Listado de nuevas estaciones)
12. ¿Se requiere controlar más variables en el sistema actual? ¿Cuáles sugiere?  
(Listado de variables adicionales a considerar.)
13. ¿Se puede pensar en estaciones de control no satelitales para que integren el sistema de alerta de crecidas?  
(Listado de estaciones no satelitales viables)
14. ¿Requieren DCP en alguna de las estaciones existentes?  
(Recomendaciones para transformar estaciones no satelitales en satelitales.)

### IV. General

15. ¿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.
16. ¿Hay estudios locales o regionales que puedan recomendar, que aporten a este tema?  
(Listado de estudios recomendados)

**Figura N° 1**  
**Modelo para entrega de información sobre el sistema actual de alerta de crecidas**

N°	ESTACIÓN	Satelital SI o NO	Tipo de estación (fluvio.,pluvio, otras)	Altura máxima histórica	Ubicación Zonas amagadas asociadas	Si es estación en canal, describir la función	UMBRALES DE ALERTAS				ACCESO A ESTACION		COORDENADAS			
							SIN ALERTA	AZUL	AMARILLA	ROJA	Fecha de actualización	Umbral requiere revisión?	INVIERNO	VERANO	NORTE	ESTE
							hasta	desede - hasta	dewde-hasta	mayor que						
	<b>HOYA RIO ELQUI</b>															
1	Río del Toro en Junta Río de La Laguna	NO	Fluviométrica	0.76							Regular	Bueno	6683750	394597		
2	Río Turbio en Varillar	NO	Fluviométrica	1.56							R	B	6686365	351815		
3	Río Claro en Rivadavia	NO	Fluviométrica	2.58							R	B	6682500	350000		
4	Río Cochiguaz en El Peñón	NO	Fluviométrica	1.53							Malo	B	6666765	361630		
5	Estero Derecho en Alcohuaz	NO	Fluviométrica	1.15							M	B	6655764	356187		

#### **4.4 Respuestas al cuestionario**

Las respuestas de todas las regiones al cuestionario, se entregan en el Anexo 4.4.1 Respuestas al cuestionario, del Anexo Digital.

Los cuadros con la caracterización regional de los respectivos sistemas de alerta, se entregan en la carpeta 4.4.2 Listado de estaciones sistema de alerta, del Anexo Digital.

Las respuestas al cuestionario y los listados se sistematizaron en un archivo Excel, llamado Resumen respuestas regiones, que se entrega en el Anexo 4.4.3 del Anexo Digital. En dicho archivo se encuentran dos hojas, una llamada Síntesis, que contiene la totalidad de las respuestas a la totalidad de las preguntas, y una llamada Análisis, en la que se ha seleccionado las respuestas que indican los requerimientos relacionadas con la presente consultoría, las estaciones sobre las cuales hay algún requerimiento, los umbrales existentes en la DGA Central, los umbrales informados por la región en los listados solicitados (que a veces no coinciden), la existencia de relaciones de pronóstico de corto plazo de BF, y la información de eventos con daño recolectada en la DGA y en la ONEMI.

**CAPÍTULO 5****SIG****5.1 Estaciones satelitales y umbrales**

En la DGA División Estudios y Planificación se obtuvo las coberturas de todas las estaciones satelitales, fluviométricas y meteorológicas, actualizadas a enero de 2010.

A partir de dicha información, se generó una cobertura para cada tipo de estación. La cobertura de estaciones pluviométricas se llama satelitales-nivel.shp, y contiene 206 estaciones. La cobertura de estaciones meteorológicas se llama satelitales-meteo.shp y tiene 129 estaciones. Las coberturas se encuentran en la carpeta 5. SIG del Anexo Digital.

La diferencia en el número de estaciones satelitales fluviométricas entre la División de Estudios e Hidrología, se explicó de la siguiente forma:

- Hay 16 estaciones satelitales incluidas en la cobertura de Estudios, que no están incluidas en el listado de Hidrología. Son estaciones con flujómetro, miden caudales, no tienen curva de descarga, y no son consideradas estaciones fluviométricas de la DGA. Corresponden a un programa especial para transparentar las extracciones en tiempo real, que evita conflictos entre los usuarios con derechos de aprovechamiento:
  - o Captación de Aguas Antofagasta en Lequena (II)
  - o Captación de Aguas Antofagasta en Quinchamale (II)
  - o Captación de Aguas Antofagasta en Toconce (II)
  - o Captación de Aguas Antofagasta en Puente Negro (II)
  - o Captación de Codelco en Calama (II)
  - o Captación de Codelco en Inacaliri (II)
  - o Captación de Codelco en Salado-Hojalar (II)
  - o Captación de Codelco en Linzor (Toconce) (II)
  - o Captación de SQM en Pedro de Valdivia (Vergara) (II)
  - o Captación de SQM en Maria Elena (II)
  - o Captación de SQM en Coya Sur (II)
  - o Captación de FCAB en Siloli (II)
  - o Canal Chunchurri Bajo (II)
  - o Estero Las Garzas (VI)
  - o Maule bajo bocatoma Central Pehuenche (VII)
  - o Vertedero Emb. Colbún (VII)
  
- Hay una estación, El Huape en Cunaco, que está incluida en el listado de estaciones satelitales de la División de Estudios, pero no es satelital.

La diferencia en el número de estaciones satelitales meteorológicas se explicó de la siguiente manera:

- El listado de Hidrología no incluye Portillo y Termas del Flaco, ambas satelitales, que debieran ser incluidas.

- Hay otras 18 estaciones que faltan en el listado de Hidrología:
  - o San Pedro en Parshall (II)
  - o Loa en salida Embalse (II)
  - o Salado antes junta Curti (II)
  - o Portezuelo El Gaucho (II)
  - o Cerro Vega Negra (IV)
  - o Quebrada Larga Cota 3500 (IV)
  - o El Soldado (IV)
  - o Laguna Negra (RM)
  - o Terrazas Oficinas Central DGA (RM)
  - o Lo Aguirre (VII)
  - o Estero Paillihue en Ex-Longitudinal Sur (VII)
  - o Alto Maillines (VII)
  - o Curanilahue en Curanilahue (VII)
  - o Pascua en desagüe Lago O'Higgins (XI)
  - o Glaciar Tempano o Estacion Prueba 1 (XII)
  - o Lago Sarmiento (XII)
  - o Río Verde (XII)
  - o Villa Tehuelche (XII)
  
- Hay 3 estaciones que faltan en la cobertura de Estudios:
  - o Río Perquilauquén en San Manuel
  - o Río Rahue en Desagüe Lago Rupanco
  - o Lago El Toro en estancia Paine

La cobertura de estaciones satelitales obtenida de la División de Estudios se corrigió, agregando las estaciones faltantes y sacando la estación no satelital. De este modo, las coberturas corregidas de estaciones fuvimétricas y pluviométricas se llaman:

- satelitales-nivel-corr.shp, con 205 estaciones
- satelitales-meteo-corr.shp, con 132 estaciones

Estas coberturas corregidas incluyen en su base de datos toda la información original de las coberturas de la División de Estudios, y además, toda la información generada en el presente estudio, incluida en el Cuadro Maestro, detallada en el Cap. 6.

## **5.2 Coberturas de zonas amagadas**

De acuerdo con la información proporcionada por la DGA y la ONEMI, se generó una cobertura de zonas inundadas, cubiertas o no cubiertas con estaciones de alerta, en la cual se ubicó espacialmente las zonas amagadas informadas por ambas entidades, el cauce que desbordó, comuna, sector afectado, y las fechas cuando éstas estuvieron disponibles.

La cobertura se llama zonas-amagadas.shp, como se señala en el Cuadro 5.1. Ambas se incluyen en la carpeta 5. SIG del Anexo Digital.

### 5.3 Coberturas de puntos que cuentan con una relación de pronóstico de corto plazo

En el Anexo Digital se entrega además, una cobertura en que se ha incluido la ubicación de todos los puntos que cuentan con una relación validada de pronóstico de corto plazo. Hay muchos otros puntos para los cuales se propuso relaciones de pronóstico de corto plazo en los estudios de BF, pero que por alguna de las siguientes razones (entre otras), no se consideraron validadas:

- porque no dieron buenos resultados
- porque no tuvieron un alto nivel de priorización por su bajo nivel de riesgo
- porque había restricciones presupuestarias

La cobertura se llama rel-pron-cp-bf.shp.

El Cuadro N° 5.1 presenta todos los puntos en que hay una relación de pronóstico de corto plazo desarrollada por BF.

**Cuadro N° 5.1**  
**Relaciones de pronóstico de corto plazo desarrolladas por BF**

N°	Punto relación	Código estación DGA	Operativa
1	Aconcagua en San Felipe + 4 hrs, con Precip.	05410005-1	SI
2	Aconcagua en Romeral + 2 hrs, con Precip. y sintetizada	05423003-6	SI
3	Mapocho en Puente Lo Curro + 4 hrs, con Aint= Area intermedia	05722049-K	SI
4	Mapocho en Los Almendros + 4 hrs, con Precip. y recursiva	05722002-3	SI
5	Arrayán en La Montosa + 4 hrs	05722001-5	SI
6	Mapocho en Rinconada + 4 hrs, Temp > 10º, Pp < 70 mm, con Precip.	05737002-5	NO
7	Mapocho en Rinconada + 4 hrs, Temp < 10º, Pp > 70mm, con Precip.	05737002-5	NO
8	Mapocho en Rinconada + 4 hrs, Temp > 10º, Qma > 30% Qmr, con Precip.	05737002-5	NO
9	Maipo en El Rosario + 8 hrs, con Precip.	05717003-4	NO
10	Angostura en Valdivia de Paine + 6 hrs, con Precip.	05716001-2	NO
11	Cachapoal entre Oliviar y Junta Claro + 6 hrs	06003048-0	NO
12	Cachapoal en Puente Arqueado + 6 hrs	06019003-8	SI
13	Rapel en Rapel + 2 hrs	06056001-3	NO
14	Mataquito en Licantén + 6 hrs, con Precip.	07123001-5	SI
15	Claro en Rauquén + 6 hrs	07379002-6	NO
16	Maule en Constitución + 6 hrs	07383001-K	SI
17	Ancoa en Linares + 2 hrs	07355001-7	NO
18	Ancoa en Linares + 6 hrs, con Precip."	07355001-7	NO
19	Itata en General Cruz + 4 hrs	08124001-9	NO
20	Itata en General Cruz + 6 hrs	08124001-9	NO
21	Itata en General Cruz + 4 hrs, con Precip.	08124001-9	NO
22	Itata en Cerro Negro + 4 hrs	08133001-8	NO
23	Itata en Nueva Aldea + 4 hrs	08135002-7	NO
24	Ñuble en Longitudinal + 4 hrs	08115001-K	NO
25	Ñuble en Confluencia + 4 hrs	08119002-K	NO
26	Bío Bío en Rucalhue + 4 hrs, con Precip.	08317001-8	NO
27	Bureo en Mulchén + 4 hrs, con Precip.	08332001-K	NO
28	Mulchén en Mulchén + 4 hrs, con Precip.	08330001-9	NO

29	Duqueco en Villucura + 2 hrs, con Precip.	08323002-9	NO
30	Bío Bío en Junta Río Vergara (Pte.Coihue) + 4 hrs	08334001-0	NO
31	Vergara en Puente Vergara + 4 hrs, Q de Vergara en Tijeral	08358049-6	NO
32	Vergara en Puente Vergara + 4 hrs, Q de Malleco en Collipulli	08358049-6	NO
33	Bío Bío en San Rosendo + 4 hrs	08334049-5	NO
34	Bío Bío en San Rosendo + 4 hrs, con Precip.	08334049-5	NO
35	Bío Bío en San Rosendo + 6 hrs	08334049-5	NO
36	Bío Bío en Desembocadura + 4 hrs	08394001-8	NO
37	Bío Bío en Desembocadura + 6 hrs	08394001-8	NO
38	Chol-Chol en Chol-Chol + 10 hrs	09116001-3	NO
39	Chol-Chol en Nueva Imperial + 14 hrs	09118001-4	NO
40	Cautín en Temuco + 3 hrs	09129001-4	NO
41	Cautín en Temuco + 7 hrs	09129001-4	NO
42	Imperial en Carahue + 6 hrs	09150001-5	NO

El número de horas indica el tiempo de antelación que este pronóstico permite.

#### 5.4 Coberturas de umbrales

Finalmente, una vez completada todo el análisis y rellenado el Cuadro Maestro cuyo contenido se detalla en el capítulo 6, se generaron dos coberturas con la información de umbrales, antiguos y propuestos en el presente estudio, además de una gran cantidad de información compendiada para cada estación. Estas coberturas se llaman:

- umbrales-nivel.shp
- umbrales-meteo.shp,

y contienen todos los resultados del estudio.

**CAPÍTULO 6****DETERMINACIÓN DE UMBRALES****6.1 Identificación de estaciones de control y recopilación de estadísticas**

A partir de las zonas amagadas, se seleccionaron las estaciones, especialmente satelitales pero también no satelitales, que permitieran generar algún tipo de alerta en las zonas amagadas.

En cuanto a las estadísticas satelitales, la DGA entregó toda la información existente hasta la fecha, (noviembre 2009) junto con un programa para visualizar fácilmente los diferentes parámetros registrados por cada una de las estaciones. El programa se llama DCPUsSantiago\_local1. Se cuenta con información satelital de niveles, caudales, precipitaciones instantáneas y acumuladas, temperaturas del aire y curvas de descargas, para el período 2001-2009. Lamentablemente la información no está siempre completa.

Para completar la información de las estaciones satelitales en un período más amplio, y para investigar el comportamiento de otras estaciones, no satelitales, la DGA también permitió el acceso al BNA, desde donde se recogió la información necesaria de caudales, precipitaciones, temperaturas y curvas de descarga.

De esta forma, cuando se contó con todos los antecedentes necesarios, se pudo efectuar un análisis ad hoc para las situaciones en que se solicita una revisión de los umbrales, y proponer umbrales en estaciones de control para las zonas actualmente vigentes.

En el Cuadro Maestro adjunto, que se obtuvo a partir del cuadro original de estaciones satelitales con sus umbrales, se agregó la siguiente información obtenida de la región, y generada en el presente estudio:

- umbrales que se manejan en la región
- umbrales por revisar o definir
- solicitudes adicionales de la región que superan el alcance del presente estudio, pero que debieran ser tomadas en cuenta para estudios o acciones posteriores
- existencia de una relación de pronóstico de corto plazo
- operativa o no en programa DGA central
- umbrales de caudal definidos en el presente estudio (no impreso en el cuadro, por falta de espacio, pero se encuentra en cada caso en el texto, y también en el archivo digital)
- umbrales de nivel definidos en el presente estudio.

En el Cuadro, que en principio sólo contiene estaciones satelitales, se han agregado en rojo las estaciones no satelitales para las cuales desde la región se ha solicitado definir un umbral. Estas estaciones también fueron analizadas, y de ser posible, se les definió un umbral.

**6.2 Análisis y establecimiento de umbrales**

El análisis de las estadísticas se efectuó por región. Los archivos Excel que contienen los análisis realizados se entregan en el archivo 6.2 Análisis del Anexo Digital.

A continuación se presenta el análisis ordenado por regiones.

**XVª Región de Arica y Parinacota****a) Sistema de alerta actual**

Hay un sistema de alerta de crecidas en la actualidad para el monitoreo de las quebradas del Río Lluta y del Río San José. Sin embargo, hay estaciones satelitales también en la quebrada de Camarones, por lo que el sistema de alerta podría ser ampliado a esa quebrada.

El sistema se compone de 8 estaciones satelitales y 2 no satelitales. Las estaciones satelitales son:

- Río Lluta en Alcérreca, fluviométrica, con umbral definido, pero diferentes a nivel central y en la región. Según la región, no necesita revisión.
- Río San José en Ausípar, fluviométrica, con umbral definido, no necesita revisión
- Río Lluta en Tocontasi, fluviométrica, tiene umbrales definidos, pero son diferentes en el nivel central y en la región. Se ubica directamente en la zona amagada que controla.
- Río Ticnamar en Angostura, fluviométrica (sin umbral)
- Quebrada Camarones en Chilpe, fluviométrica (sin umbral)
- Quebrada Camarones en Chilpe, pluviométrica (sin umbral)
- Belén, pluviométrica (con umbral definido)
- Putre, pluviométrica (con umbral definido)

Las dos estaciones no satelitales son:

- Río Camarones en Conanoxa, fluviométrica (sin umbral)
- Chapiquiña, pluviométrica (con umbral definido)

Existe un informe del año 2004, en el cual se realizaron algunos análisis de precipitaciones y caudales. Los niveles de los umbrales han cambiado muy poco ya que las zonas de medición no han variado mucho en su sección o punto de registro. Estos umbrales son utilizados como guías ante las lluvias y posibles crecidas de manera de poder mantener informados a Direcciones y otras oficinas regionales, cuando se activa la secuencia de avisos.

**b) Solicitud de la región**

Dentro del marco del presente estudio, la región solicita revisar los umbrales de la estación Lluta en Tocontasi.

En la estación fluviométrica Río Ticnamar en Angostura: hay un umbral empírico de 5 m<sup>3</sup>/s, caudal que se estima podría provocar problemas para los canales del río San José y en las localidades de Ausípar y Livilcar. Este umbral debe ser revisado.

Las estaciones fluviométricas Camarones en Chilpe y Camarones en Conanoxa (asociadas a la parte baja de la cuenca del río Camarones), no tienen umbrales definidos. Se solicita definir umbrales.

Las estaciones pluviométricas Belén, Chapiquiña y Putre tienen un umbral empírico de 15 a 20 mm de precipitación acumulada en 3 días en cualquiera de estas estaciones, para avisar que el río San José (respectivamente el río Lluta) va a crecer y para dar aviso de cierre al canal Azapa en el sector de Ausípar.

No se requeriría incorporar más variables al sistema satelital.

**c) Identificación eventos de anegamiento**

De acuerdo con lo informado por la DGA, en el evento del año 2001 el río Lluta se llevó el puente de Arica.

Complementariamente, el siguiente cuadro presenta los resultados de la revisión de los estudios de frentes extremos editados por la ONEMI: fecha, cauce en cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.1  
Eventos extremos consolidados por ONEMI para Región XV**

Ene-Mar 2001	<i>"Informe Consolidado Precipitaciones Estivales Altiplánicas Ene-Mar 2001"</i>			
Ene-Mar 2001	XV	Río Lluta	?	Poconchile, Valle Hermoso, Sora, Tocontase, Bocanegra, Chacabuco y Cooperativa
Ene-Mar 2001	XV	Acha	Arica	Acha y Cerro Sombrero
Ene-Mar 2001	XV	Estero Camarones	Camarones	Quebrada Cordillera

**d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

No existen relaciones de pronóstico formalmente desarrolladas para este estudio.

**e) Solicitud adicional de la región**

Se sugiere equipar con DCP la estación Camarones en Conanoxa.

También se propone cubrir la localidad de Codpa, que es una zona amagada no cubierta en la actualidad, con la estación Codpa en Cala Cala, que actualmente se ubica 2 km aguas arriba del pueblo de Codpa, pero que debe ser rehabilitada. Se sugiere su rehabilitación en otro punto, 5 km aguas arriba del pueblo.

**f) Análisis y resultados**

**Río Lluta en Alcérreca**

Como evento extremo de referencia se analizó el verano 2001. El 15 de febrero de 2001 se registra oficialmente un caudal de 356 m<sup>3</sup>/s en Lluta en Alcérreca. Este caudal fue muy destructivo, y está muy por sobre la definición de la curva de descarga, que llega hasta 155 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 2.80 m.

El umbral de alerta roja se sitúa en un nivel de 2.5 m, equivalente a un caudal de 85 m<sup>3</sup>/s en la curva de descarga actual. No hay antecedentes como para modificar este umbral de alerta roja.

De acuerdo con lo asumido para las alertas amarilla y azul, ellas serían las siguientes:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	43	68	85
Nivel en m	2.22	2.4	2.80

Los umbrales determinados por la región son un poco más bajos. Será resorte de la región implementar los umbrales que considere los más apropiados.

### Río Lluta en Tocontasi

Para realizar el análisis de esta estación, se procedió a identificar todas las crecidas simultáneas de las estaciones Lluta en Alcérreca y Lluta en Tocontasi, registradas en forma satelital. El registro simultáneo abarca los años 2004 a 2009. Dentro de ese lapso, se encontraron 39 eventos simultáneos, que se grafican en la Figura N° 6.1, para los cuales se puede observar lo siguiente:

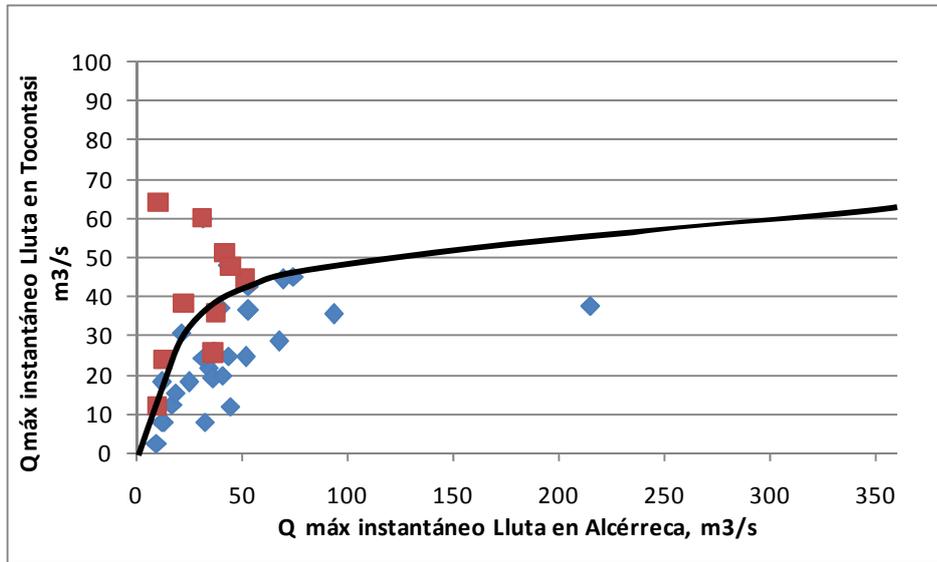
- De los limnigramas, se obtiene que el desfase típico entre peaks es de 9 horas, pero varía entre 6 y 12 horas.
- En la Figura N° 6.1 se aprecia que las grandes crecidas en Alcérreca no se transmiten de la misma forma a Tocontasi, sino que muy amortiguadas, como lo indica la curva negra. Sin embargo, en los limnigramas se observa que estas crecidas dejan el lecho entregando un flujo base más alto por varias semanas.
- Cuando en condiciones de flujo base alto se produce otra crecida, es posible que los valores de Tocontasi superen los de Alcérreca. Es el caso de los valores señalados con un punto rojo.
- Las crecidas más grandes registradas en Tocontasi son de unos 60 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo el evento mayor, de 2001, lamentablemente no quedó registrado. Sólo se puede obtener, a partir de todos los datos, la siguiente información para ese evento extremo en Tocontasi:
  - \* El caudal fue mayor que 30 m<sup>3</sup>/s. De acuerdo con la relación entre caudales medios diarios e instantáneos en dicha estación, presentada en la Figura N° 6.2, el caudal podría haber alcanzado unos 60 a 70 m<sup>3</sup>/s.
  - \* El nivel máximo registrado fue de 1.46 m en enero, sin embargo la crecida de febrero fue aún mayor, y destruyó la estación. La curva de descarga de esa época, está definida sólo hasta 1 m, para caudales de 30 m<sup>3</sup>/s. Esto muestra que la crecida de enero debe haber sido de unos 60 m<sup>3</sup>/s, pero la crecida de febrero fue aún mayor, posiblemente unos 70 m<sup>3</sup>/s o algo más.

La información presentada permite sugerir dejar el umbral de alerta roja en unos 60 m<sup>3</sup>/s, equivalentes hoy al nivel de 2.80 m, nivel máximo definido en la actual curva de descarga. Los niveles de alerta amarilla y azul correspondientes serían los siguientes:

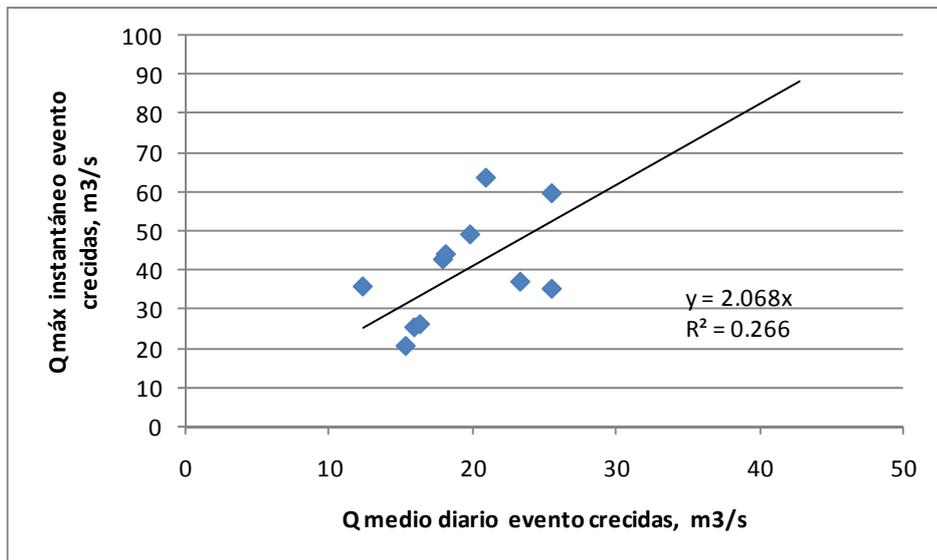
	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	30	48	61
Nivel en m	2.25	2.6	2.80

El umbral rojo es más bajo (más seguro) que el umbral definido por la región. Los demás umbrales, definidos de acuerdo con el criterio propuesto, resultan más altos que los umbrales regionales actuales.

**Figura N° 6.1**  
**Relación entre caudales máximos instantáneos Lluta en Alcérreca y Lluta en Tocontasi**



**Figura N° 6.2**  
**Relación entre caudal medio diario y caudal máximo instantáneo para eventos de crecidas Lluta en Tocontasi**



### **Camarones en Chilpe y Camarones en Conanoxa**

En la quebrada de Camarones, el evento extremo también fue el del verano 2001. Sin embargo, el registro de caudales comienza recién el año 2006 en Chilpe y el año 2004 en Conanoxa. Sin registro de caudales del evento extremo registrado, y siendo muy escasa la estadística de caudales máximos, aún no se puede definir umbrales en estas estaciones.

### **Codpa en CalaCala**

La quebrada de Codpa tiene más información. Hay una estadística de caudales máximos instantáneos anuales de 27 años de longitud, dentro de la cual destacan dos valores muy altos, de 14.91 m<sup>3</sup>/s en 1998, y de 11.18 m<sup>3</sup>/s en 1999. El evento del año 2001 en este sector fue menor, de 4.58 m<sup>3</sup>/s.

Sin embargo, no hay información de fechas en que se hubiera amagado la localidad de Codpa u otra cercana, como para establecer un umbral.

La estación tiene una curva de descarga que llega hasta un caudal de 3.90 m<sup>3</sup>/s para un nivel de 0.90 m. Por lo tanto, no se pueden establecer niveles para los caudales altos. Tampoco tiene sentido establecer un umbral de niveles en una estación que se está tratando de cambiar de lugar.

Lo único que se puede hacer en esta estación, es establecer preliminarmente un umbral de alerta roja en forma de caudal, que podría ser, por ejemplo, de 10 m<sup>3</sup>/s. Los umbrales correspondientes amarillo y azul serían de 8 y 5 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

### **San José en Ausípar**

La estadística de San José en Ausípar abarca 21 años entre 1989 y 2010, además de un período más antiguo que no es de utilidad para el presente análisis.

Se dispone del dato de un evento de anegamiento en Arica, cuando el 15 de febrero de 2001 el caudal en San José de Ausípar fue de 79.35 m<sup>3</sup>/s. Se reportan daños en Quebrada de Acha y Cerro Sombrero. Sin embargo, hubo una crecida aún mayor en esa estación, que fue el 21 de enero de 1998, de 198 m<sup>3</sup>/s.

La curva de descarga actual de esta estación llega hasta un caudal de 11 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 2.30 m, cercano al actual umbral amarillo de 2.43 m. El umbral de alerta roja actual es de 3.00 m, se desconoce el caudal para tal nivel. El umbral actual de alerta azul corresponde a un nivel de 1.50 m, con un caudal de 3.40 m<sup>3</sup>/s.

De acuerdo con los antecedentes expuestos, se observa que el caudal de 79,35 m<sup>3</sup>/s de 2001 probablemente sobrepasa fuertemente el umbral rojo. Es decir, se generarían daños con mucho menos que este caudal. De hecho, no existe curva de descarga para caudales superiores a 11 m<sup>3</sup>/s, porque no es frecuente que el caudal extremo supere este valor. Por ello, cualquier caudal entre 11 y 79,35 m<sup>3</sup>/s podría constituirse en alerta roja.

En forma preliminar, se puede asumir que es adecuado establecer un umbral amarillo cuando los caudales superan la parte alta de la curva de descarga, es decir, 11 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 2.30 m. Los demás umbrales se desprenden de éste, como se señala en el cuadro adjunto.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	7	11	14
Nivel en m	1.94	2.30	¿2.5?

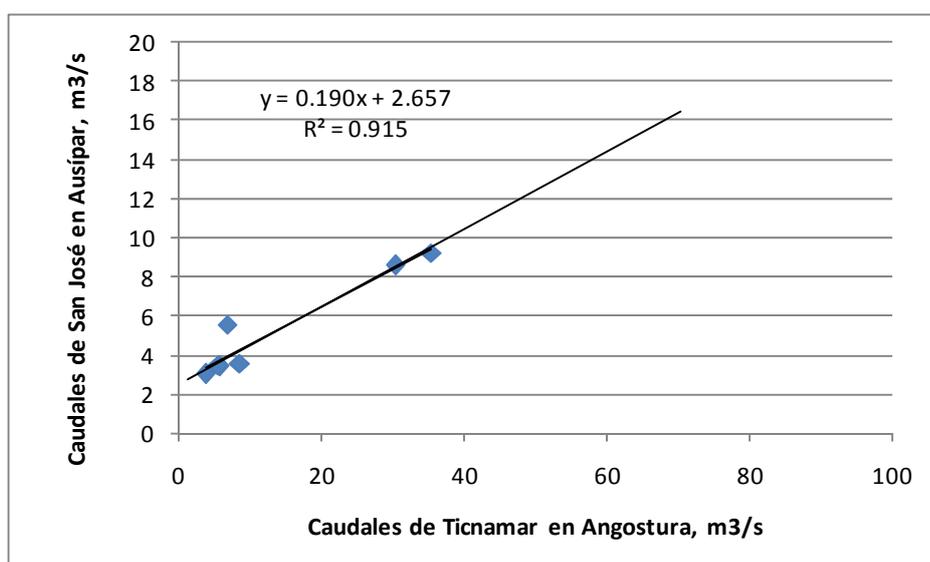
### Ticnamar en Angostura

La estadística de Ticnamar en Angostura es muy corta, abarca sólo 4 años a partir del años 2006. No registra los eventos de anegamiento del año 2001, y no registra daños en el período en que hay registro. En estas condiciones, no es posible definir umbrales en esta estación.

Sin embargo, preliminarmente podría establecerse un umbral en asociación con lo que ocurre en San José en Ausípar.

Buscando relacionar los eventos de crecidas de ambas estaciones, se llegó a que hay eventos registrados simultáneamente en ambas estaciones, (aunque sólo menores), en los años 2006 y 2007. La relación que se establece entre estos eventos es la que se presenta en la Figura N° 6.3.

**Figura N° 6.3**  
**Relación de caudales de crecidas entre Ticnamar en Angostura y San José en Ausípar**



Aplicando la ecuación de la figura, se puede determinar los caudales de Ticnamar en Angostura en función de los de San José en Ausípar, y así obtener los umbrales de la primera, en asociación con la segunda.

Así, los umbrales de Ticnamar en Angostura podrían ser, preliminarmente, los siguientes:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	23	44	60
Nivel en m	2.95	3.51	¿3.9?

### Umbral de precipitación para Lluta en Alcérreca

Para analizar el efecto de las precipitaciones en las crecidas, se adoptó la metodología de relacionar los caudales máximos extremos en alguna estación de interés, con la suma de las precipitaciones del evento que generó la crecida.

La estación Lluta en Alcérreca se relacionó con las precipitaciones de Putre, Alcérreca y Visviri. Las relaciones obtenidas se muestran en la Figura N° 6.4 adjunta.

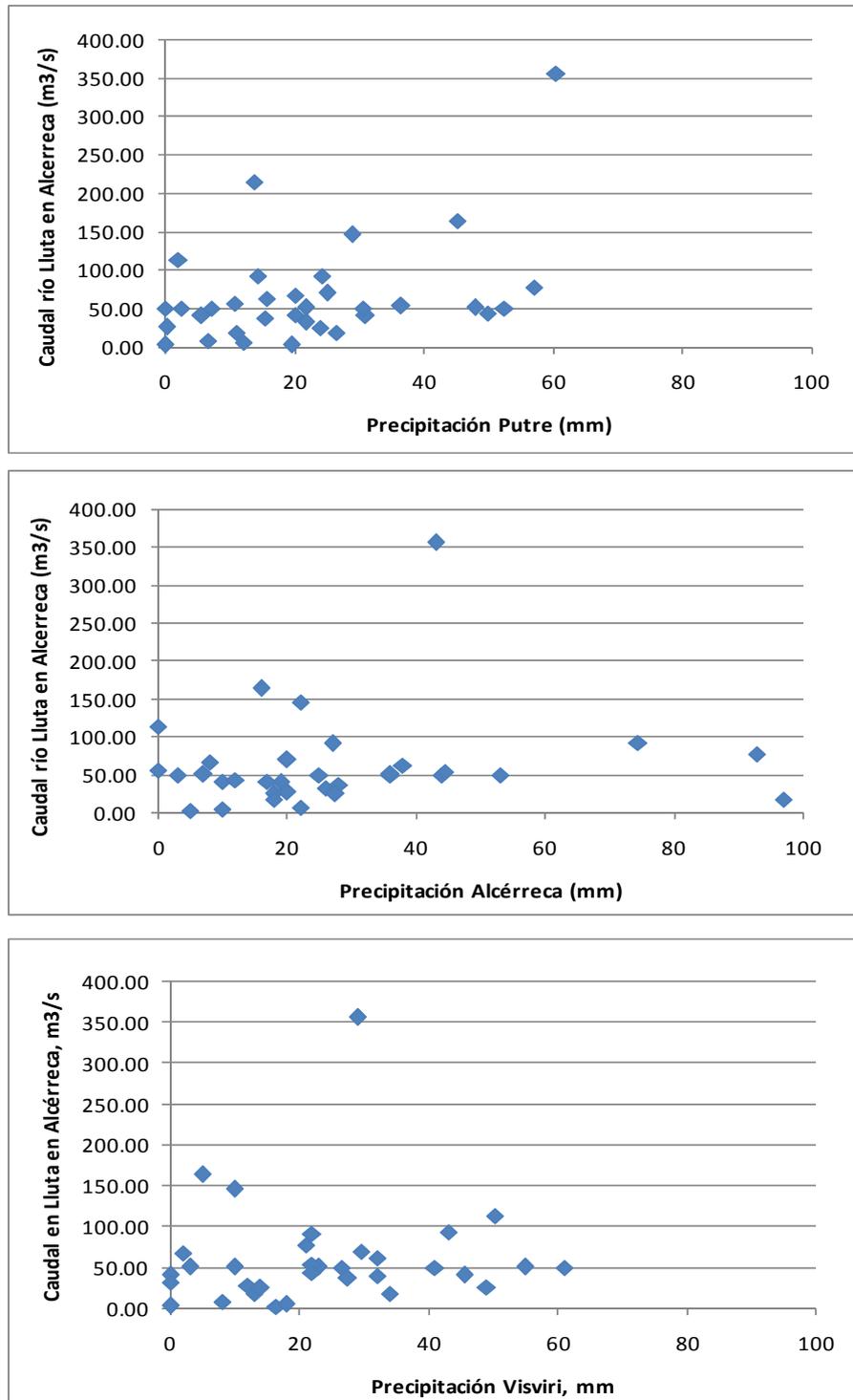
En dicha figura, se observa que las precipitaciones de ninguna estación en particular explican adecuadamente lo que ocurre con los caudales. De hecho, en todos los casos, hay grandes caudales en ausencia de precipitación de alguna de las estaciones pluviométricas. Esto se explica porque el caudal es el resultado de la precipitación en cualquiera de las estaciones pluviométricas analizadas. Matemáticamente, esta lógica se expresa a través de la suma de las precipitaciones.

Por ello, se intentó una relación del caudal de Lluta en Alcérreca con la suma de las precipitaciones de los eventos en cada una de las tres estaciones analizadas.

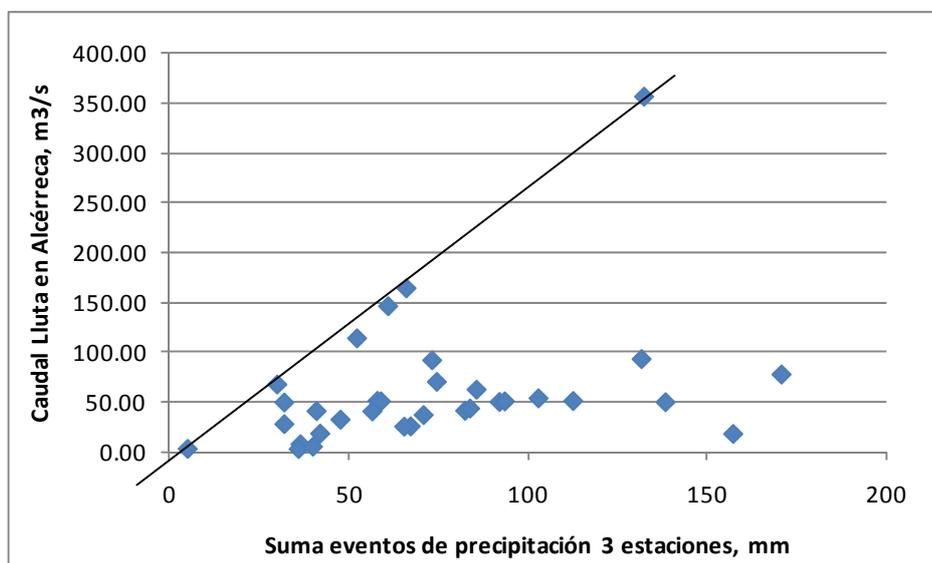
El resultado se muestra en la Figura N° 6.5. A partir de dicha figura, si bien es cierto que tampoco explica a cabalidad los caudales generados, en especial los más pequeños, sí se puede apreciar que hay una excelente relación entre las precipitaciones y los caudales grandes. Esta relación es un umbral que muestra el caudal al que se puede llegar en el río Lluta en Alcérreca, a partir la suma de precipitaciones en las tres estaciones Putre, Alcérreca y Visviri.

A partir de esta relación, se puede encontrar un umbral de precipitación que active la alerta azul. Se puede estimar que el caudal de alerta azul en Lluta en Alcérreca, de 43 m<sup>3</sup>/s, se puede generar a partir de una precipitación conjunta de las tres estaciones Putre, Alcérreca y Visviri, acumulada por evento, de 20 mm.

**Figura N° 6.4**  
**Relación entre caudal de crecida de Lluta en Alcérreca y precipitación**



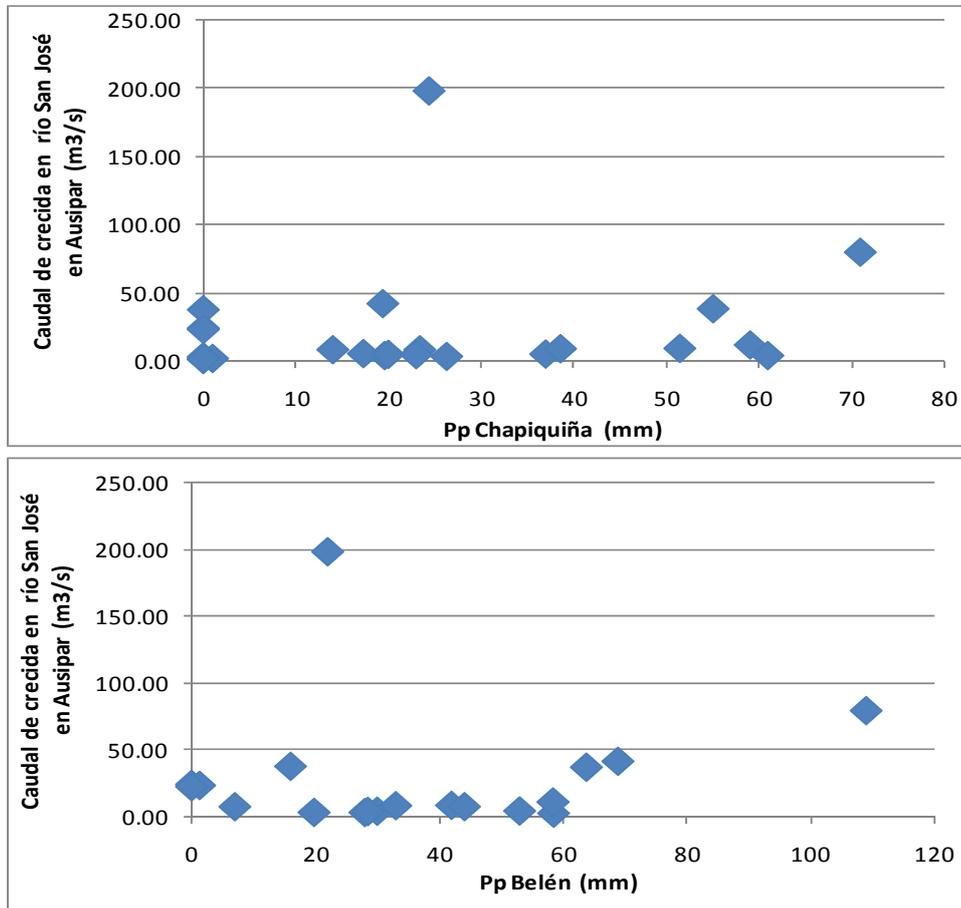
**Figura N° 6.5**  
**Relación entra caudal de crecida de Lluta en Alcérreca y suma de precipitaciones de 3 estaciones**



#### **Umbral de precipitación para San José en Ausípar**

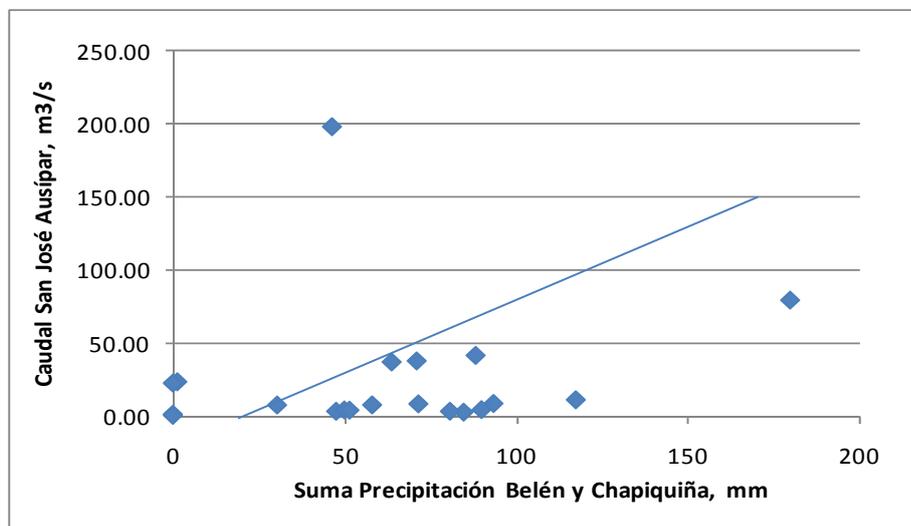
Se relacionó el caudal de San José con las precipitaciones acumuladas por evento, en las estaciones satelitales de la cuenca aportante, que son Belén y Chapiquiña. Como se observa en la Figura N° 6.6, no se aprecia ninguna relación clara. En especial, las precipitaciones de estas estaciones no explican el gran evento de caudal que hubo en enero de 1998.

**Figura N° 6.6**  
**Relación caudal de crecida en San José Ausípar y precipitación pro evento en Belén y Chapiquiña**



También se buscó explicar los caudales a partir de la suma de los eventos en ambas estaciones, para ampliar el rango espacial de influencia, con el siguiente resultado:

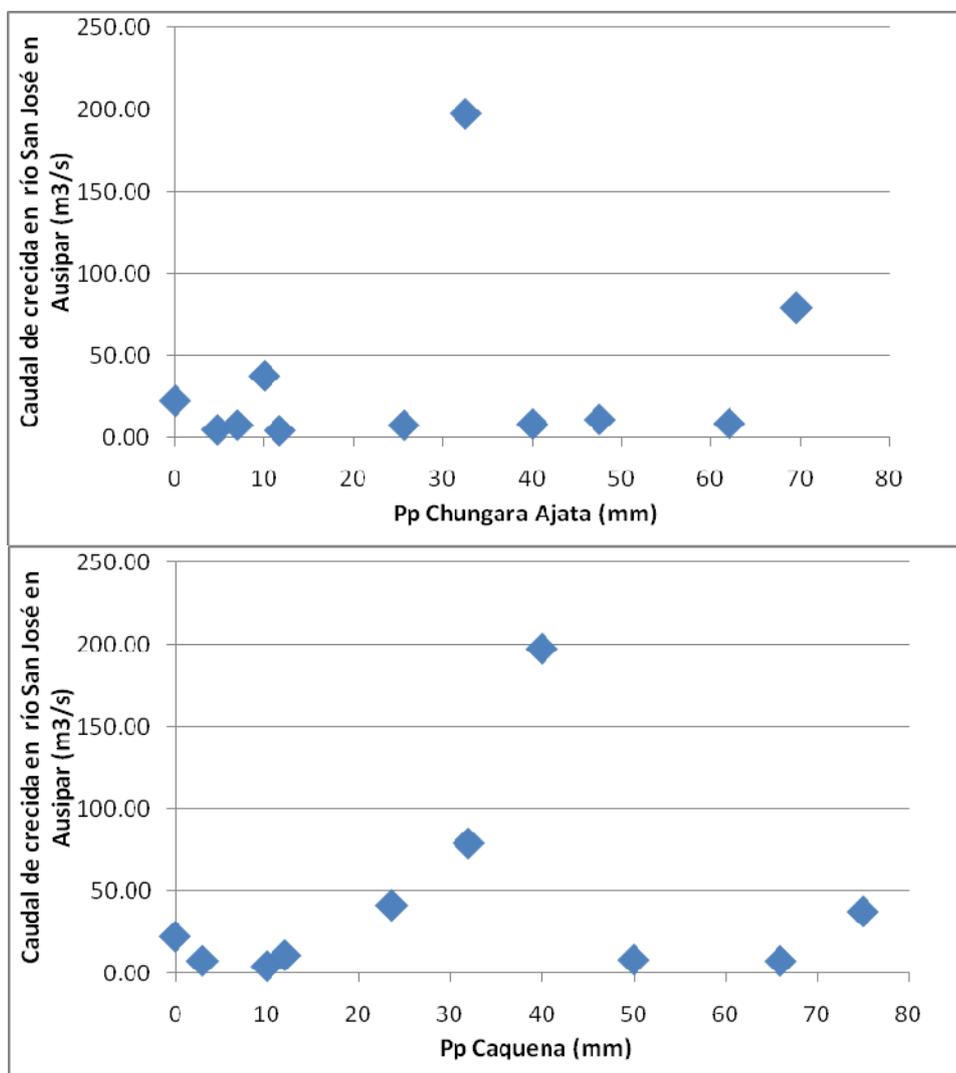
**Figura N° 6.7**  
**Relación caudal de crecida en San José Ausípar y suma precipitaciones bajas Belén y Chapiquiña**



Las estaciones Belén y Chapiquiña no permiten, ni individualmente ni en conjunto, explicar los caudales en San José en Ausípar, por lo que no es posible establecer un umbral de precipitaciones.

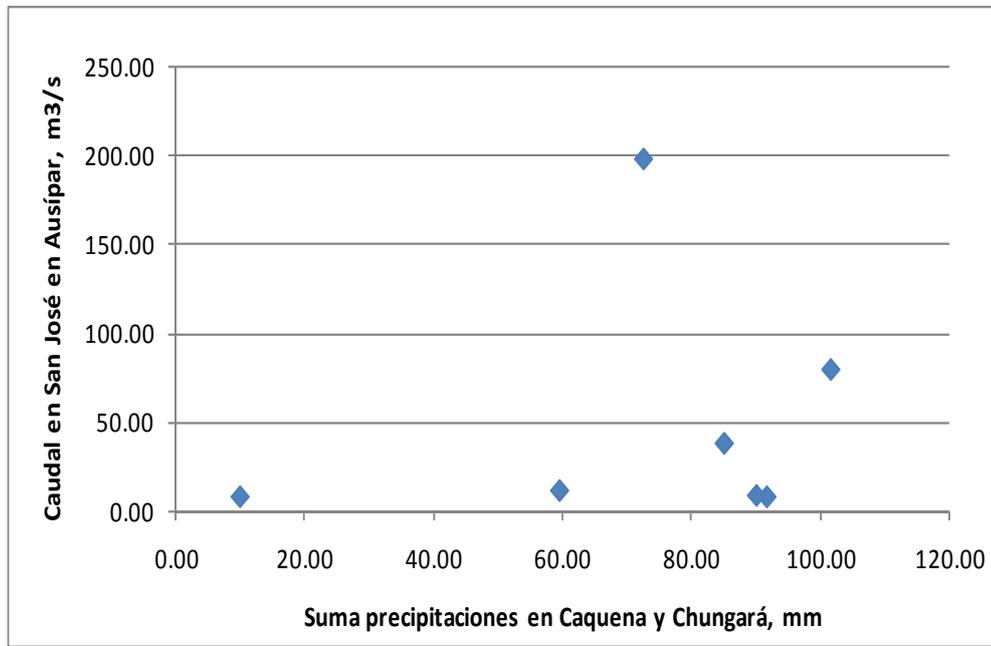
Por lo anterior, se buscó estaciones pluviométricas que explicaran mejor los caudales, en especial los grandes eventos de 1998 y 2001. Se encontró que podrían ser las estaciones altiplánicas, de las cuales tienen información durante dichos eventos las estaciones altas de Chungará y Caquena. Con ellas se intentó la misma relación, entre caudales y precipitación acumulada por evento, con el resultado que se observa en la Figura N° 6.8 adjunta.

**Figura N° 6.8**  
**Relación caudal de crecida en San José Ausipar y precipitaciones en Chungará y Caquena**



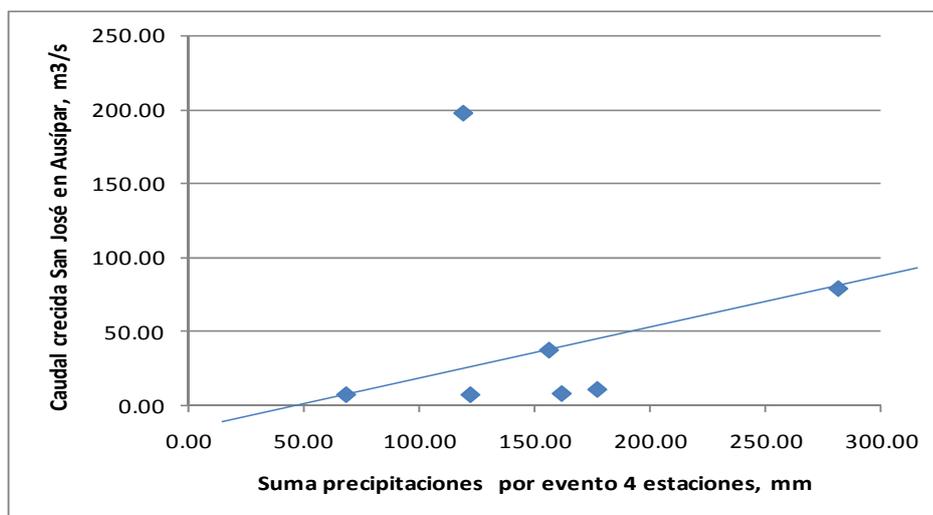
La suma de ambas estaciones pluviométricas entrega la siguiente relación con los caudales:

**Figura N° 6.9**  
**Relación caudal de crecida en San José Ausípar y suma precipitaciones altas Caquena y Chungará**



Sin embargo, como la relación tampoco es muy buena, se intentó explicar los caudales a partir de la suma de las precipitaciones en todas las estaciones señaladas. El resultado fue el siguiente:

**Figura N° 6.10**  
**Relación entre caudales de crecida en San José Ausípar y suma precipitaciones por evento de 4 estaciones**



Se observa que al no tomar en cuenta el único valor muy alto de crecida en San José, el resto de los puntos parecen mostrar la existencia de un umbral.

De acuerdo con esta observación, se puede decir lo siguiente:

- Aparece un caudal sensible en San José una vez que la suma de las precipitaciones de las cuatro estaciones Belén, Chapiquiña, Caquena y Chungará superan los 50 mm por evento.
- Estimativamente, el caudal puede superar el umbral azul (7 m<sup>3</sup>/s) cuando en una o varias estaciones, en un mismo evento, se llega a superar los 65 mm de precipitación.
- Sería conveniente tener información satelital de precipitación en algunas estaciones altas, como Chungará y Caquena.

Recomendación final para la región:

Como el régimen de caudales de crecida aparentemente depende más de precipitaciones altiplánicas que precordilleranas, es necesario equipar algunas estaciones altas, como Visviri, Alcérreca, Chungará y Caquena, para tener la posibilidad de avanzar un pronóstico acertado de crecidas en los ríos Lluta y San José antes de su paso por la ciudad de Arica.

Nota: Todos los umbrales deben ser verificados por la región antes de ser implementados en el sistema.

**Iª Región de Tarapacá****a) Situación actual**

En esta región no hay un sistema de alerta implementado. Sólo hay dos estaciones satelitales, Camiña 3 km arriba de Tarcavire, actualmente fuera de funcionamiento, y Tarapacá en Sibaya. Esta última tiene sus tres umbrales definidos. Ambas son pluviométricas y fluviométricas.

No se requiere medir más variables.

No se piensa que sea posible incluir estaciones no satelitales al sistema, ya que en esta región no existe otro método de comunicación debido a la ubicación geográfica de las estaciones.

No se requiere implementación de DCP en otras estaciones existentes, salvo recuperar Camiña en Tarcavire.

**b) Solicitud de la región**

En esta región se solicita revisar el umbral de Quebrada de Tarapacá en Sibaya, y definir un umbral para la estación Camiña 3 km arriba de Tarcavire.

**c) Identificación de zonas amagadas**

A nivel de la DGA regional, se han identificado tres sectores, los cuales tienen un potencial de anegamientos de poblados directamente relacionados con la agricultura. Estos poblados también son importantes en cuanto a número de habitantes, en relación con la totalidad de habitantes de la Pampa de Tamarugal. El año 2001 se vieron afectados los poblados de Huara de la Quebrada de Aroma, y los de la quebrada de Camiña.

**Cuadro 6.2**  
**Zonas amagadas según información DGA Regional**

<b>QUEBRADA CAMIÑA</b>	
<b>Estación Fluviométrica:</b> Camiña en Tarcavire	
<i>Superficie: 2.780 Km<sup>2</sup></i>	
<b>Pueblos afectados</b>	<b>Habitantes</b>
Camiña	168
Francia	54
Chapiquilla	87
Cuisama	69
Quistagama	61
Saiña	44
Moquilla	106
Calatambo	30
<b>Total (aprox)</b>	<b>619</b>

<b>QUEBRADA DE AROMA</b>	
<b>Estaciones Fluviométricas:</b> No existen	
<i>Superficie:</i> 1.845 Km <sup>2</sup>	
<b>Pueblos afectados</b>	<b>Habitantes</b>
Huara	956
<b>Total (aprox)</b>	<b>956</b>

<b>QUEBRADA DE TARAPACA</b>	
<b>Estaciones Fluviométricas:</b> Tarapacá en Sibaya(DCP), Coscaya en Saitoco	
<i>Superficie:</i> 1.731 Km <sup>2</sup>	
<b>Pueblos afectados</b>	<b>Habitantes</b>
Sibaya	62
Limacsiña	64
Huaviña	62
Mocha	17
Achacagua	64
Coscaya	7
Poroma	10
Laonzana	31
Pachica	60
Caigua	4
Tarapacá	135
Huarasiña	20
<b>Total (aprox)</b>	<b>536</b>

El siguiente cuadro presenta los resultados de la revisión de los estudios de eventos extremos consolidados, editados por la ONEMI, con la fecha del evento, cauce en el cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.3**  
**Eventos de inundación según informe consolidado de ONEMI para Región I**

Ene-Mar 2001	<i>"Informe Consolidado Precipitaciones Estivales Altiplánicas Ene-Mar 2001"</i>		
Ene-Mar 2001	I	Río Camiña	Camiña

**d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

No existen para esta región.

### e) Solicitudes adicionales de la región

Se espera poder gestionar la recuperación de la estación satelital Camiña en Tarcavire (que actualmente no funciona), así como equipar con DCP la estación Coscaya en Saitoco, y crear una estación satelital en la quebrada de Aroma, para alertar la localidad de Huara.

### f) Análisis y resultados

Los eventos de 2001 fueron suficientemente grandes como para haber ocasionado efectos de amagamiento en algunos lugares, y por lo tanto, pueden servir de umbral de alerta roja.

Se revisaron las estadísticas de caudal máximo instantáneo de Tarapacá en Sibaya, Camiña en Tarcavire (no tiene suficientes datos, sólo tres años entre 2006 y 2009) y Coscaya en Saitoco.

En Coscaya en Saitoco, los valores de caudal máximo del año 2001, efectivamente son los más grandes de la estadística existente (1985-2010). En Tarapacá en Sibaya (1994 a 2009) es aún mayor la crecida de Febrero de 2004.

De acuerdo con las curvas de descarga actuales, se asignaron los umbrales de nivel que se observan en los Cuadros adjuntos.

#### Tarapacá en Sibaya

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	13	20.8	26
Nivel en m	2.14	2.30	¿2.40?

#### Coscaya en Saitoco

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	2.75	4.40	5.50
Nivel en m	0.95	1.20	1.33

#### Camiña 3 km arriba Tarcavire: sin datos

Nota: Los umbrales definidos en este estudio deben ser verificados por la región antes de ser implementados.

## **IIª Región de Antofagasta**

### **a) Situación actual**

Actualmente en la región se tiene implementado un sistema de alerta de crecidas, con 6 estaciones fluviométricas en los cauces del río Loa y río Salado (afluente del río Loa), y 4 estaciones pluviométricas en el sector alto de la región, todas satelitales:

- Río Loa antes de Represa Lequena (3 umbrales definidos)
- Río Loa en salida Embalse Conchi (3 umbrales definidos)
- Río Loa en Vado Santa Bárbara (sin umbral)
- Río Loa antes de Zona Agrícola de Quillagua (sin umbral)
- Río Salado antes junta río Curti (3 umbrales definidos)
- Río Salado en Sifón Ayquina (3 umbrales definidos)
- Cupo (posee estación con Observador) (sin umbral)
- Linzor (sin umbral)
- El Tatio (sin umbral)
- Salado Embalse (sin umbral)

Los sectores amagados asociados, o que interesa alertar, corresponden principalmente a las localidades de Lasana, Chiu – Chiu y Calama, además de los sectores aledaños al Tatio. Por otro lado, las estaciones también están asociadas a las captaciones de las empresas que tienen bocatoma directa desde el río Loa o sus afluentes en el sector medio alto de la cuenca, en especial a la sanitaria, en los sectores de Quinchamale, Lequena y Toconce.

Por otro lado, existen estaciones satelitales con control de extracciones para la mayoría de los canales con bocatoma directa desde el río Loa, en las localidades de Calama, Lasana y ChiuChiu, sin embargo no están asociadas al sistema de umbrales. Sin perjuicio de lo anterior, el sistema de alerta de crecidas tiene incidencia fundamental en el buen funcionamiento de dichos canales, dado que en eventos de crecidas, si no se logra cerrar con antelación las compuertas respectivas, los sedimentos transportados los dejarían inutilizables.

Actualmente, el personal que definió los umbrales no está trabajando en la región, y no se tienen registros del cuándo o el cómo. Durante el año 2008 se realizaron algunos cálculos muy sencillos y gruesos de altura normal, pero ningún tipo de actualización rigurosa.

En esta región no se puede pensar en incluir estaciones no satelitales al sistema de alerta de crecidas por la lejanía de los puntos de control. Existen observadores, pero se dificulta la entrega de información pues la gran mayoría no se encuentra al momento de retirar la información en terreno y no existen métodos de contacto, telefónico ni por radio.

### **b) Solicitud de la región**

Es necesario definir los umbrales para las estaciones de río Loa en Vado Santa Bárbara (zona amagada asociada embalse Conchi) y río Loa antes de zona agrícola de Quillagua (zona asociada a Quillagua y desembocadura desde el punto de vista de calidad del agua).

También debieran ser revisados los umbrales asociados a precipitación que activan el sistema de alerta (caso Cupo, Linzor, Salado Embalse, el Tatio, Lequena) en función de un análisis de registros históricos (de existir), pues actualmente no poseen umbrales de alerta.

En general se necesita definir umbrales asociados al par Precipitación – Escorrentía, para lo cual se debieran analizar las relaciones entre las distintas estaciones pluviométricas y fluviométricas. Se sugiere en lo posible formular relaciones de pronóstico de caudales en puntos de interés (Cupo, Linzor, etc.)

#### **c) Identificación de zonas amagadas**

Las zonas amagadas asociadas al grupo de estaciones del sistema de alerta, son: Toconce, Cupo, Caspana, Lasana, Chiu-Chiu, Calama, y aguas abajo de esta ciudad.

#### **d) Solicitudes adicionales de la región**

Actualmente el sistema de alerta no cubre toda la zona. Es importante equipar con transmisión remota (satelital, GSM/GPRS, etc.) e incluir en el sistema de alerta, varios puntos de control, como:

- Río Loa después de Junta río San Salvador (María Elena), estación fluviométrica, ubicada aguas arriba (aproximadamente 90 kilómetros) de la estación río Loa antes de Zona agrícola de Quillagua (zonas amagadas asociadas captación de SQM en María Elena, y Quillagua)
- Río San Pedro en Cuchabrache (zona asociada San Pedro de Atacama y Ayllus), fluviométrica
- Ollagüe (precipitación y temperatura de invierno altiplánico)

#### **e) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

No se usan relaciones de pronóstico de corto plazo, no existen.

#### **f) Análisis y resultados**

No se han identificado eventos de amagamientos (lugares y fechas) en esta región. Por este motivo, el análisis se intentó realizar a la luz del evento extremo del año 2001, que asoló gran parte del norte grande de Chile, con los resultados que se exponen.

#### **Río Loa en Vado Santa Bárbara**

La estadística existente es muy corta, comienza en 2006, y no contiene eventos de importancia, hecho que impide identificar caudales o eventos de inundación, y por lo tanto, umbrales.

#### **Río Loa antes zona agrícola Quillagua**

El análisis de los umbrales de calidad está fuera del alcance del presente estudio.

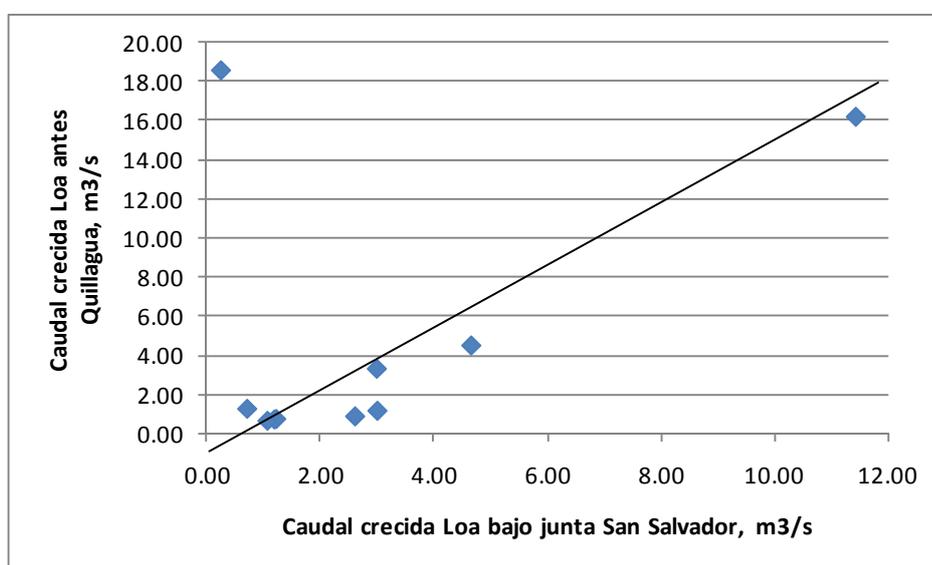
En cuanto al establecimiento de umbrales de caudal y nivel, es necesario contar con información sobre eventos de inundación (lugares y fechas), información de la que no se dispone para este sector.

De todas formas, para esta estación se ha realizado el siguiente análisis:

Esta estación también es relativamente nueva, comenzó a operar el año 1999, con una interrupción en los años 2002 a 2003.

Los caudales instantáneos máximos anuales de este corto período, sin embargo, se correlacionan bastante bien con los de la estación Loa bajo junta San Salvador, como se puede apreciar en la siguiente Figura N° 6.11.

**Figura N° 6.11**  
**Relación entre caudales de crecida en Loa bajo junta San Salvador y Loa en zona agrícola Quillagua**



Las crecidas más grandes en general corresponden a eventos del invierno boliviano. Sin embargo, se puede observar que hay un evento, que corresponde al 15 de septiembre de 2008, que se registra sólo en Quillagua, no en la zona de San Salvador, que fue confirmado a partir de la estadística de caudales diarios, y que por lo tanto, podría atribuirse tanto a un evento de lluvia en el curso bajo del Loa, como a un desembalsamiento del tranque Sloman.

Para verificar esto, se exploraron las estadísticas de precipitaciones de las estaciones Tranque Sloman, Coya Sur, Quinchamale, Conchi Viejo, Chiuchiu y Tocopilla, y la estadística de niveles del Tranque Sloman, para la fecha de septiembre 2008, con los siguientes resultados:

Tocopilla sin precipitación  
Tranque Sloman sin datos  
Coya Sur sin datos

Quinchamale sin precipitación  
 Conchi Viejo sin precipitación  
 Chiu Chiu sin precipitación  
 Tranque Sloman sin información

Sin haberse registrado precipitaciones en ninguna de las estaciones vecinas, en un amplio rango espacial, es difícil atribuir esta crecida a un evento de lluvias.

La revisión de la estadística diaria de Loa salida embalse Conchi muestra que no hay ningún evento mayor en dicha fecha. Esto permite descartar la crecida de 18 m<sup>3</sup>/s en Quillagua como errónea.

La localidad de Quillagua por lo tanto, puede ser alertada a partir de Loa bajo junta San Salvador, con la cual se relaciona en forma muy clara. Lamentablemente la crecida de 2001 no tiene dato para Loa en San Salvador, de modo que sería necesario contar con otra información de algún evento de crecida con daño, donde se tengan los datos de caudal, como para establecer un umbral.

### Umbrales de precipitación

Los umbrales de precipitación son los que activan las alertas azules de caudal en las diversas estaciones. Se tiene cinco estaciones de precipitación en las que se desea establecer umbrales: El Tatio, Linzor, Cupo, Salado Embalse y Lequena.

Se cuenta con niveles y caudales de alerta azul en las siguientes estaciones, entregados por la región:

**Cuadro N° 6.4**  
**Niveles y caudales de alerta en estaciones de la Región II**

Estación	Nivel Az	Nivel AM	Nivel Rojo	Caudal Az	Caudal Am	Caudal Rojo
Loa antes Rep. Lequena	1.19	2.25	3	9.1	28.06	47.8 *
Loa salida E. Conchi	0.77	1.12	1.43	10.4	19.9	30.3
Salado antes j. Curti	1.25	1.40	1.50	32.23 *	38.85 *	43.3 *
Salado en sifón Ayquina	0.79	1.17	1.46	8.3	18.2	28.4

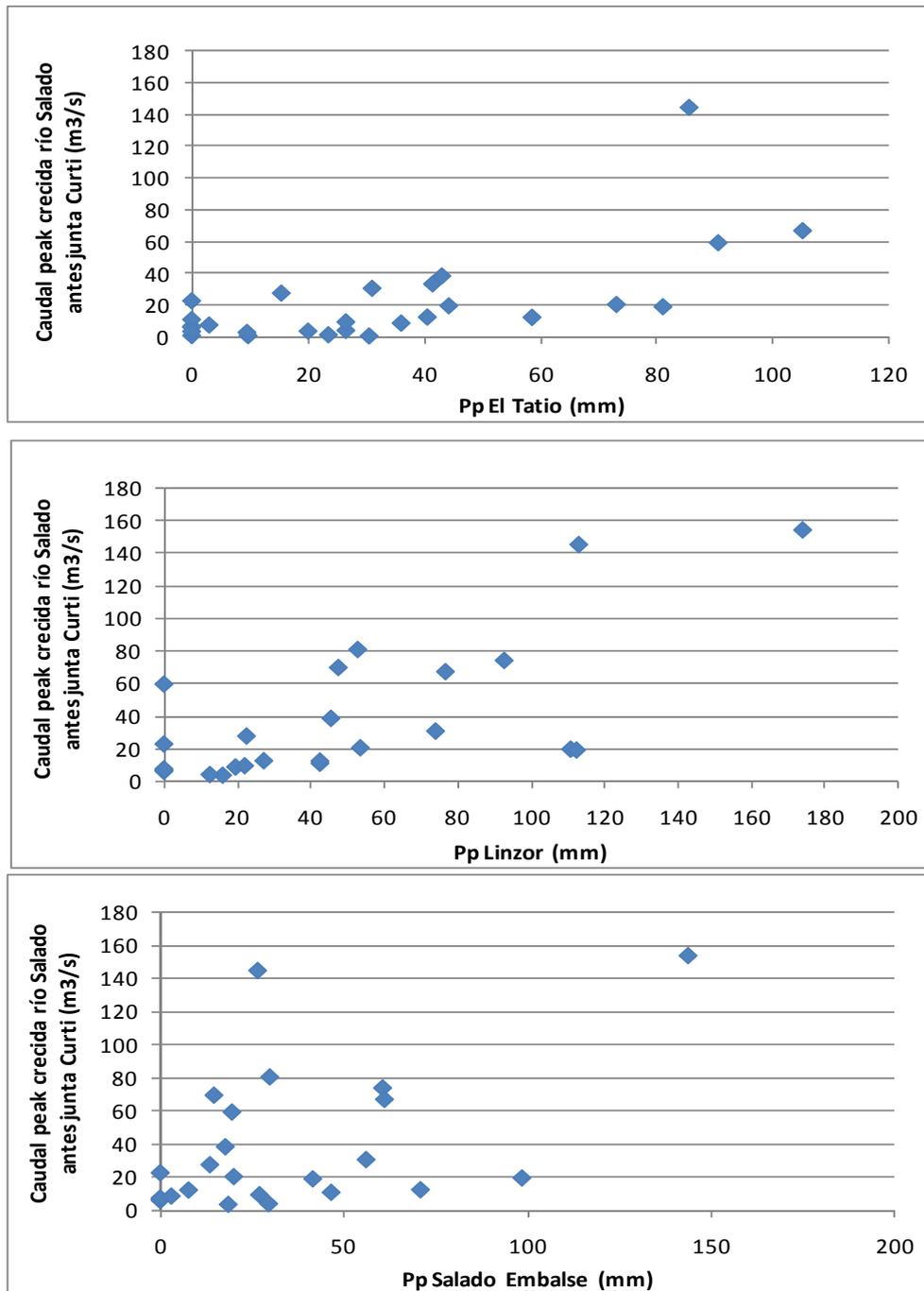
\* valores de nivel obtenidos de la curva de descarga anterior, porque la última (actual) no llega hasta los niveles necesarios.

A continuación se analiza la relación entre las precipitaciones y caudales de las estaciones mencionadas.

### Salado antes junta Curti

La relación entre los caudales de río Salado antes junta Curti y las precipitaciones por evento en las diferentes estaciones de precipitación, se intentó con las estaciones Tatio, Linzor y Salado Embalse, que se muestran en la Figura N° 6.12 adjunta.

**Figura N° 6.12**  
**Relación entre caudal de crecida Salado antes Curti**  
**y precipitaciones por evento en El Tatio, Linzor y Salado Embalse**

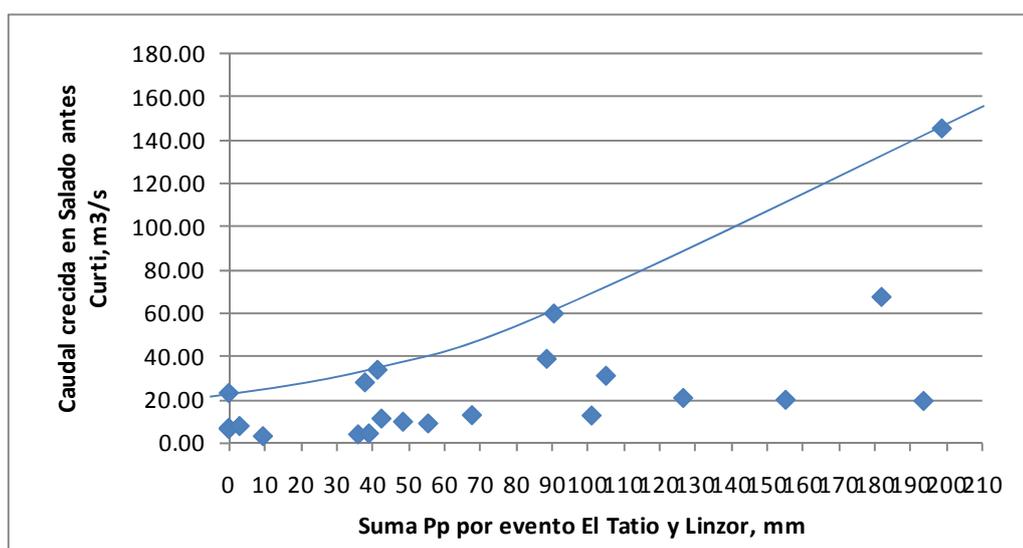


En esta figura se puede observar que las estaciones altas de Tatio y Linzor presentan una relación con los caudales de Salado antes Curti, no así la estación Salado Embalse, que está más baja, cerca de la estación de caudales, y que por esa razón seguramente no representa la cuenca, y no muestra una relación con dichos caudales.

Para confirmar el análisis de la relación entre los caudales de Salado antes Curti y las precipitaciones del Tatio y de Linzor, se relacionó el caudal del río Salado con la suma de las precipitaciones por evento del Tatio y Linzor, con el resultado de la Figura N° 6.13:

**Figura N° 6.13**

**Relación entre caudal crecida Salado antes junta Curti con suma precipitaciones El Tatio y Linzor**

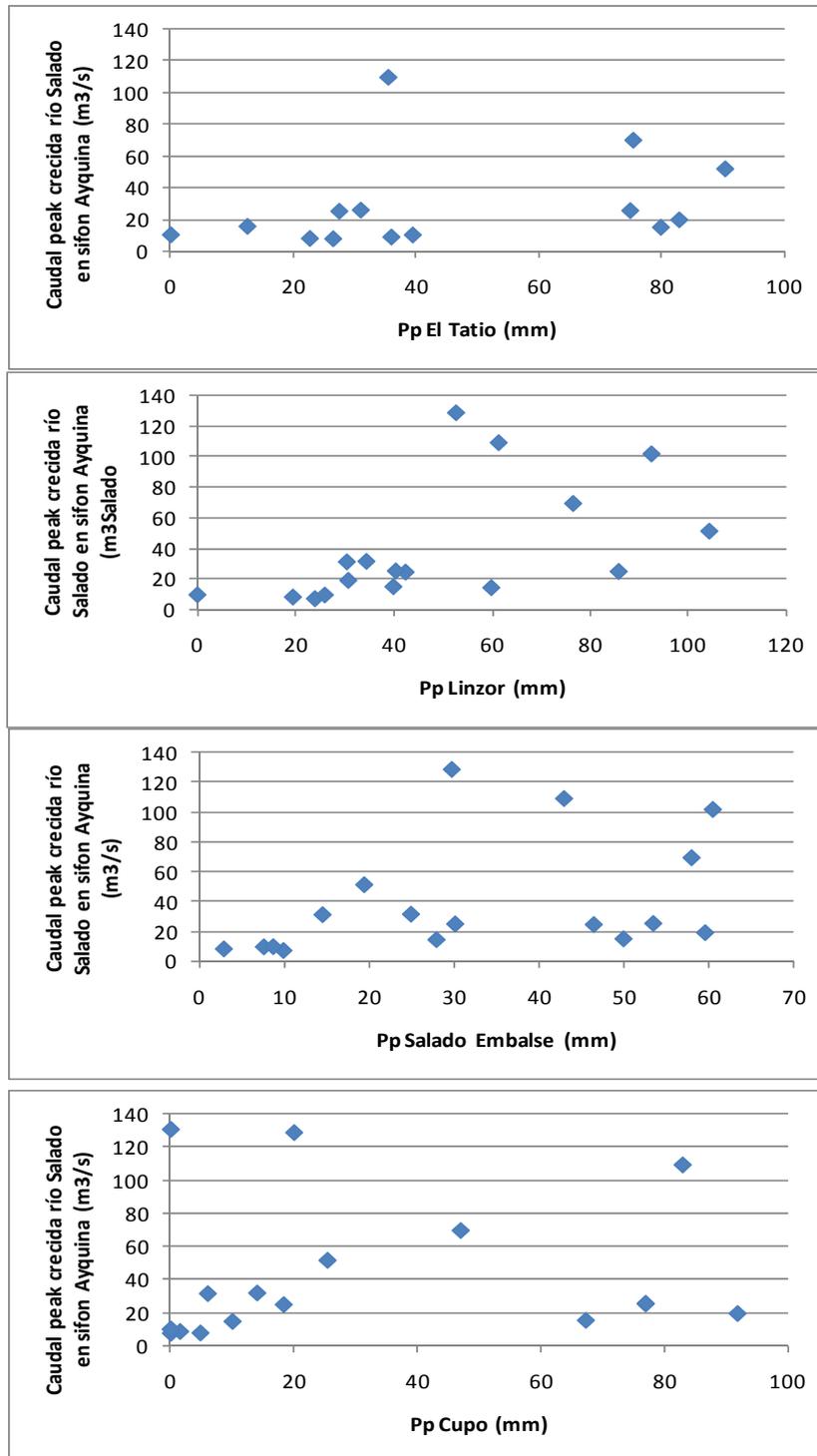


En esta figura es posible apreciar la existencia de un umbral de precipitaciones. Para el caudal de alerta azul, de 32.23 m³/s en Salado antes junta Curti, el umbral se sitúa en 27 mm de precipitación conjunta entre las estaciones Tatio y Linzor.

### Salado en sifón Ayquina

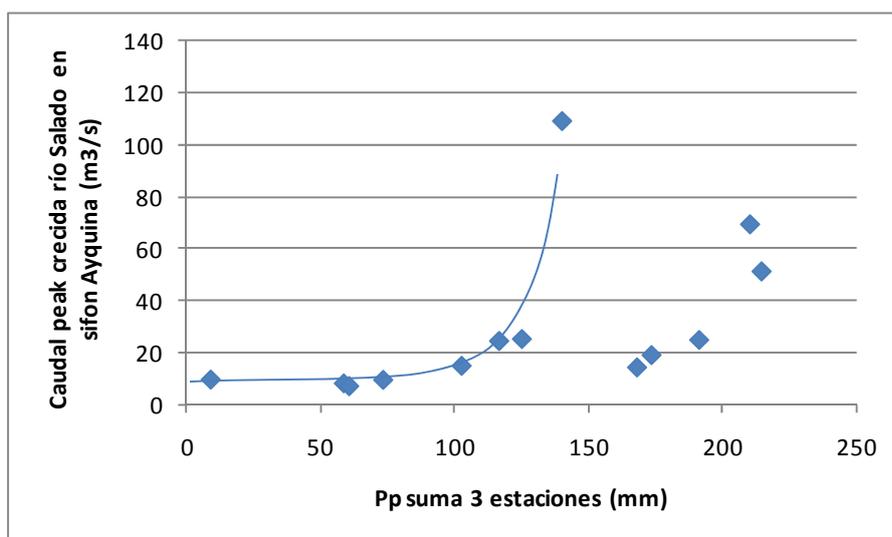
Para las crecidas en la estación Salado en sifón Ayquina, se intentó asociaciones con las precipitaciones en Cupo, El Tatio, Linzor y Salado Embalse, con los siguientes resultados:

**Figura N° 6.14**  
**Relación entre caudal Salado sifón Ayquina y precipitación en varias estaciones**



Se observa que Tatio, Linzor y Salado Embalse presentan una relación con los caudales de Salado en sifón Ayquina, pero Cupo menos. Por esta razón, se intentó una relación con la suma de las precipitaciones en las tres estaciones señaladas. El resultado de muestra en la Figura siguiente:

**Figura N° 6.15**  
**Relación caudal Salado sifón Ayquina y suma eventos de precipitación en tres estaciones**

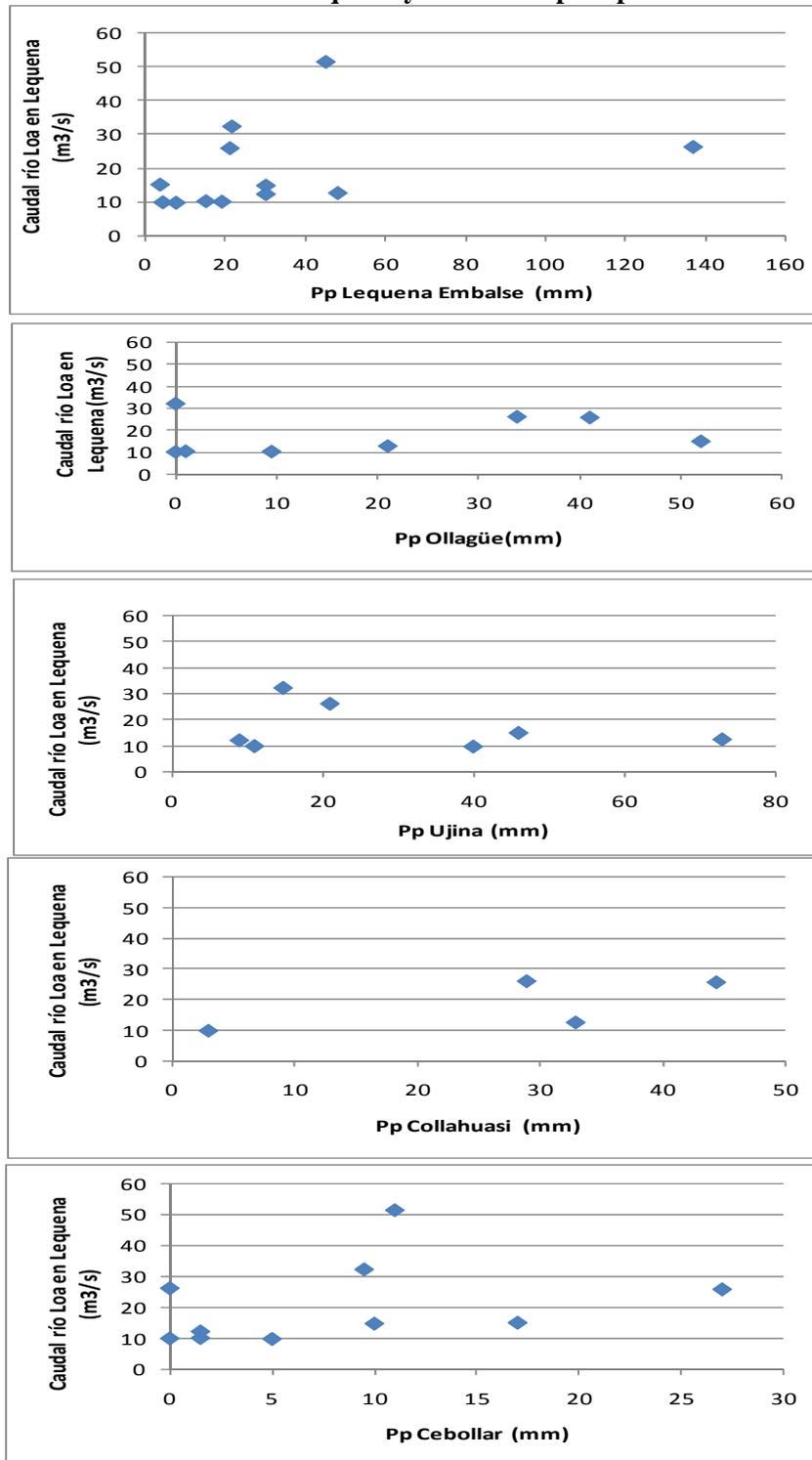


Del gráfico se puede observar que el caudal de alerta azul, de 8.3 m<sup>3</sup>/s, es superado significativamente a partir de una precipitación que supere los 70 mm como suma de las tres estaciones Tatio, Linzor y Salado Embalse.

### Loa en Lequena

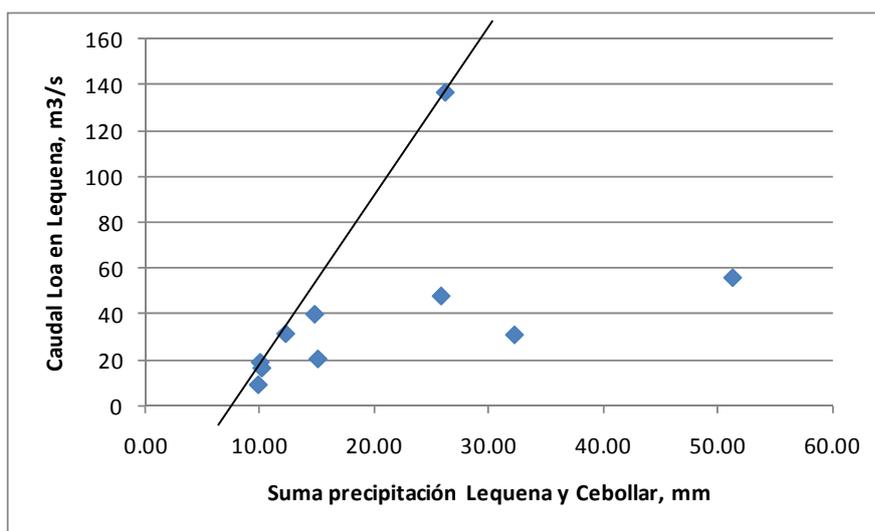
Para las crecidas de Loa antes Lequena, se intentó asociarlas con los eventos de precipitación de las estaciones de Lequena Embalse, Ollagüe, Ujina, Collahuasi y Cebollar, con los resultados de la Figura N° 6.16 adjunta.

**Figura N° 6.16**  
**Relaciones entre caudal en Loa en Lequena y eventos de precipitación en varias estaciones**



Según se puede observar en esta figura, las estaciones que mejor explican el caudal del Loa en Lequena, son Lequena y Cebollar. Por ello, se intentó relacionar ahora el caudal del Loa en Lequena, con la suma de las precipitaciones por evento, de ambas estaciones. El resultado es el siguiente:

**Figura N° 6.17**  
**Relación caudal Loa en Lequena con precipitaciones de Lequena y Cebollar**



En este caso, puede identificarse un umbral de precipitaciones, a través de la recta trazada en la Figura. El caudal umbral de alerta azul, de 9,1 m³/s, se alcanza con una precipitación conjunta de 9 mm en Lequena y Cebollar.

Recomendación para la región.

- Equipar la estación Loa después junta río San Salvador.
- Equipar algunas estaciones de precipitación más altas: Cebollar, Ollagüe.

Nota: Todos los umbrales deben ser revisados por la región antes de ser implementados.

**IIIª Región de Atacama****a) Sistema de alerta actual**

No hay un sistema de alerta de crecidas formalmente constituido pero se cuenta con 2 estaciones satelitales con los 3 umbrales definidos (Río Copiapó en la Puerta y Río Huasco en Algodones) y una estación satelital sin umbral definido (Río Copiapó en Pastillo).

Se ignora la forma en que se establecieron estos umbrales y si se han actualizado alguna vez.

**b) Solicitud de la región**

Por ser un tema que en general se ignora cómo se abordó y cómo se establecieron los umbrales, lo ideal sería revisarlos y actualizarlos para su correcto uso y entendimiento por parte de los encargados en la región.

**c) Identificación de zonas amagadas**

Según la información entregada por el personal de la oficina regional, la ciudad de Copiapó es una zona amagada que necesitaría estar incluida dentro de un sistema de alerta de crecidas. Sin embargo se propone rehabilitar la estación Río Copiapó en Copiapó para tal efecto, con las siguientes limitaciones:

- la estación se encuentra directamente en el sector amagado lo que no permite lograr un tiempo de antelación para la alerta
- a la fecha cuenta esta estación solo con registro de limnigrama
- el río está seco hace más de 10 años
- el costo de implementación y operación quizás no se justifican para tener un registro que justamente en crecida podría no funcionar, porque el río se puede llevar la estación y finalmente no se va a tener registro, tal como ocurrió con varias estaciones en 1997, año de la última crecida.

En cuanto a zonas amagadas, por otra parte, se revisó el estudio “Estudio Consultoría Análisis de Zona de Inundación del río Copiapó en comunas de Tierra Amarilla y Copiapó, III Región año 2002”, facilitado por la Dirección Regional.

Como resultado principal de interés se caracterizaron los sectores con problemas de inundación siguiente (tomando como Km 0 el puente Ojancos en Tierra Amarilla).

**Cuadro N° 6.5**  
**Caudal y período de retorno caudales sector Tierra Amarilla y Copiapó:**

T (años)	Caudal Máximo Instantáneo (m <sup>3</sup> /s)	
	Tierra Amarilla	Copiapó
5	5	7
10	10	15
25	24	34
50	47	64
100	93	116

Fuente: Análisis zonas de inundación río Copiapó, comunas de Tierra Amarilla y Copiapó, AC Ingenieros Civiles, Mayo 2004

- en este sector, el cauce del río presenta capacidad suficiente para crecidas entre 5 y 25 años de período de retorno.
- para crecidas con período de retorno entre 25 y 100 años se producen inundaciones entre los Km -4,00 y -3,15 a ambos lados del cauce, hacia terrenos agrícolas o sin uso.
- para crecidas de 50 y 100 años de período de retorno, entre los Km -3,15 y -1,50 las inundaciones afectan a asentamientos urbanos, cuyas propiedades se encuentran justo en el borde de la ribera derecha.
- entre los Km 1,00 a 0,00 para crecidas de 50 y 100 años, se producen desbordes que afectan principalmente la zona urbanizada de la ribera derecha, mientras que en la ribera izquierda son afectados terrenos agrícolas para crecidas de 100 años de período de retorno.

#### **Sector Ciudad de Copiapó:**

- en el sector ciudad de Copiapó la crecida de 5 años de Período de Retorno no genera inundaciones
- en la zona entre los Km 8,00 y 12,70 si bien no se producen inundaciones, la zona presenta una alta vulnerabilidad debido a la socavación que presentan los pretiles existentes sin revestimiento, agravada por la presencia de faenas de extracción de áridos sin regulación.
- entre los Km. 12,70 hasta el Km 18,40 se producen desbordes en ambas riberas que no afectan zonas urbanas
- desde el Km 12,70 hasta el Km 18,40 se producen desbordes de poca extensión en ambas riberas que afectan zonas puntuales, entre las que destacan el sector de planta Ojancos (Km 16,34 a 16,77), el sector Industrial – Comercial (Km 17,36 a 17,75) y el sector de la Universidad de Atacama (Km 18,27 a 18,40).

Según el material entregado por la región, en la cuenca del río Huasco, podrían haber algunas zonas con riesgo de inundación en la comuna de Alto del Carmen.

#### **d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

No hay relaciones de pronóstico para esta región.

#### **e) Solicitudes adicionales de la región**

No es necesario medir más variables y no se requiere implementación de DCP en alguna de las estaciones existentes.

#### **f) Análisis y resultados**

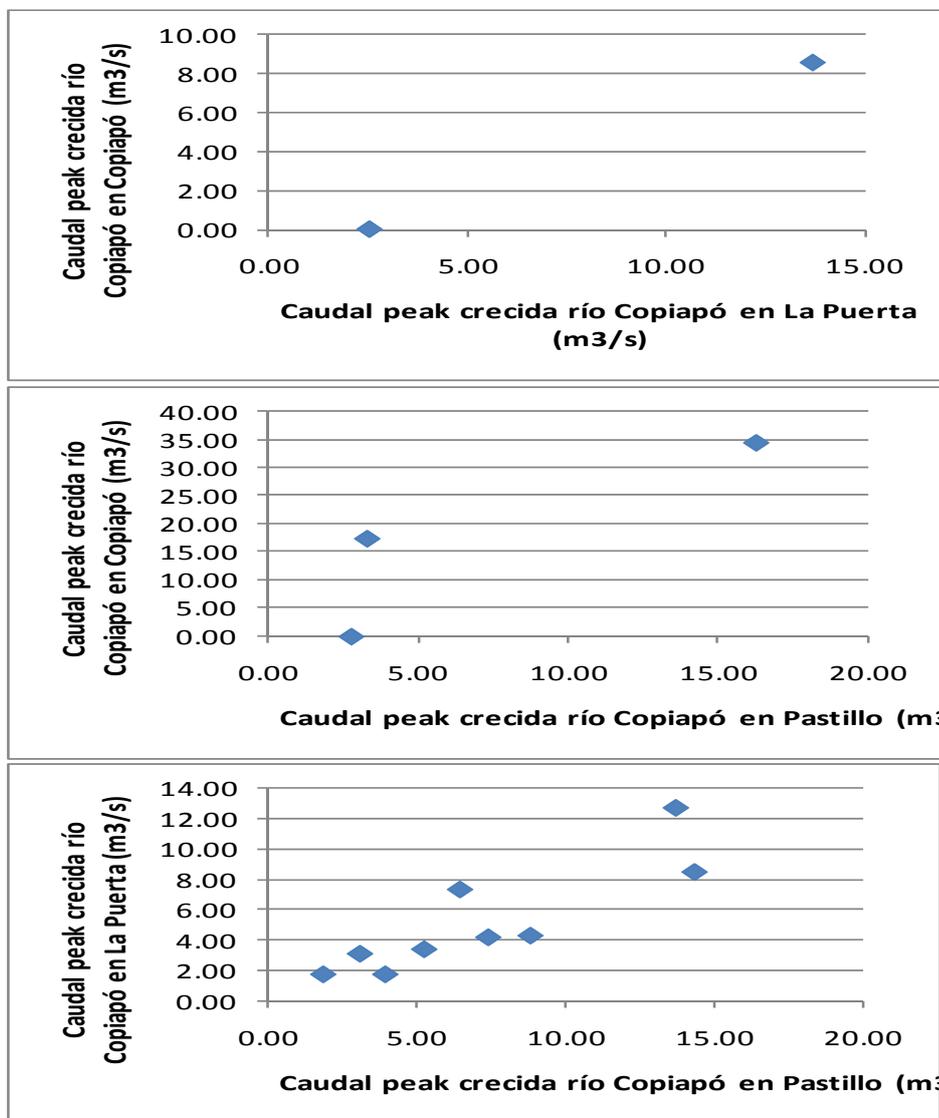
De acuerdo con lo señalado en los estudios, el caudal de alerta roja en las inmediaciones de la ciudad de Tierra Amarilla sería de unos 10 m<sup>3</sup>/s, y en Copiapó, de unos 15 m<sup>3</sup>/s. caudales por sobre los cuales podrían generarse inundaciones en diversos sectores.

Para generar una alerta en dichos sectores, se pensó que sería factible ocupar la estación satelital Río Copiapó en La Puerta, que se encuentra aguas abajo del embalse Lautaro, tratando de encontrar el caudal límite que ha generado anegamientos más abajo.

**Relaciones entre caudales de crecida**

Se intentó relacionar los caudales de crecida de Copiapó en La Puerta con Copiapó en Pastillo y con Copiapó en ciudad de Copiapó, para el período en que hay registro conjunto, sin ningún resultado útil, como se aprecia en la Figura N° 6.18 adjunta:

**Figura N° 6.18**  
**Relación de caudales de crecida Copiapó en Pastillo, La Puerta y Copiapó ciudad**



La relación entre caudales de crecida es difícil de establecer, porque no en todas las estaciones las crecidas máximas anuales son simultáneas. En una estación, la crecida máxima anual puede ser pluvial, mientras que en otra, es nival.

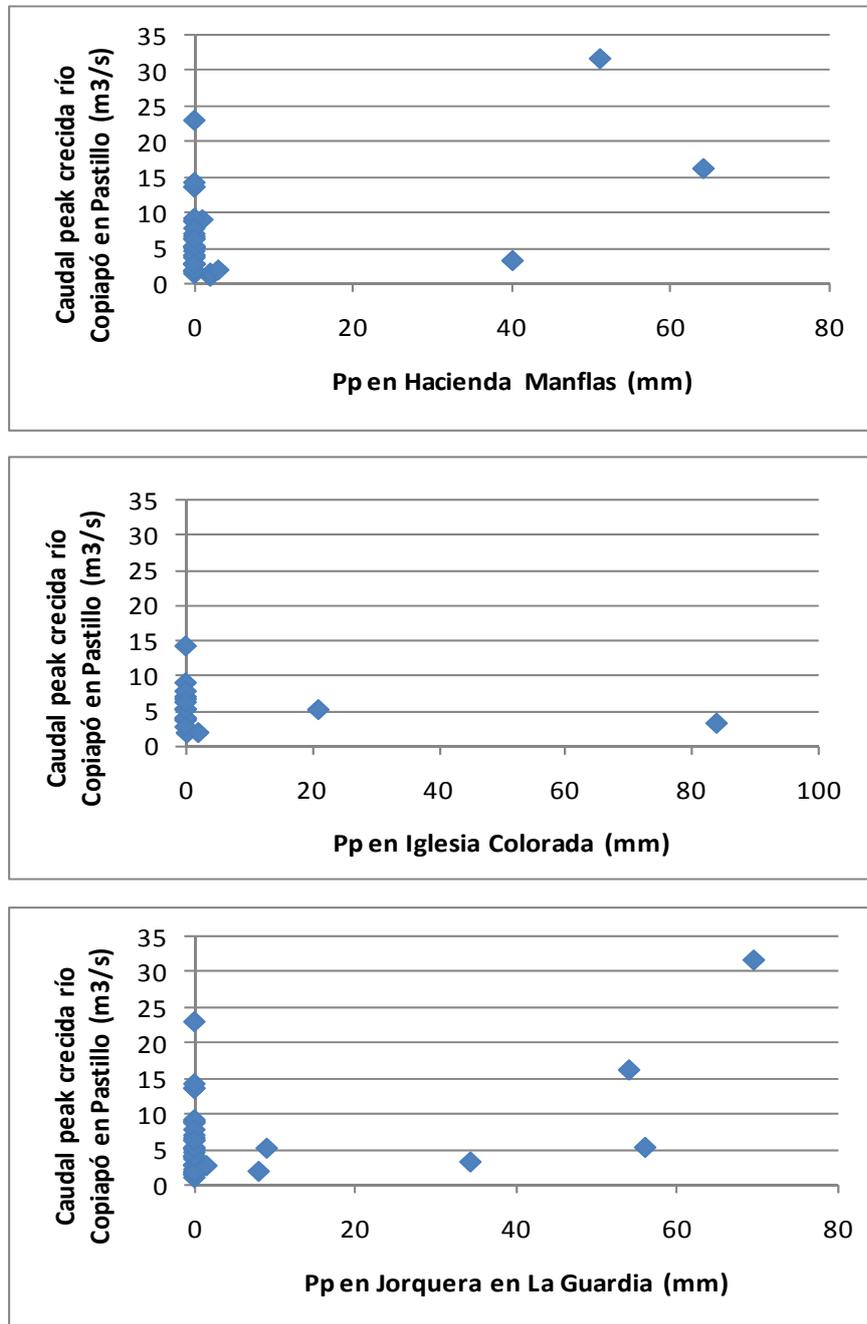
En la relación de caudales de crecida en Pastillo y en La Puerta se observa que la crecida de Pastillo queda en mayor o menor grado retenida en el embalse Lautaro. El grado de retención es variable y depende del estado del embalse y de su operación durante la crecida.

### **Relaciones entre caudales de crecida y precipitaciones**

Al observar la relación entre los caudales de crecida en Copiapó en Pastillo y la precipitación acumulada por evento, en las estaciones Hacienda Manflas, Iglesia Colorada y Jorquera en la Guardia, queda muy claro el régimen mixto de las crecidas. La Figura N° 6.19 muestra estas relaciones, donde se puede observar que muchas veces el caudal de crecida tiene su origen en la precipitación, pero muchas veces en el derretimiento, porque no hay ninguna precipitación durante la crecida.

Se observa entonces, que en este valle hay un régimen mixto entre altiplánico y mediterráneo, con crecidas de ambos tipos.

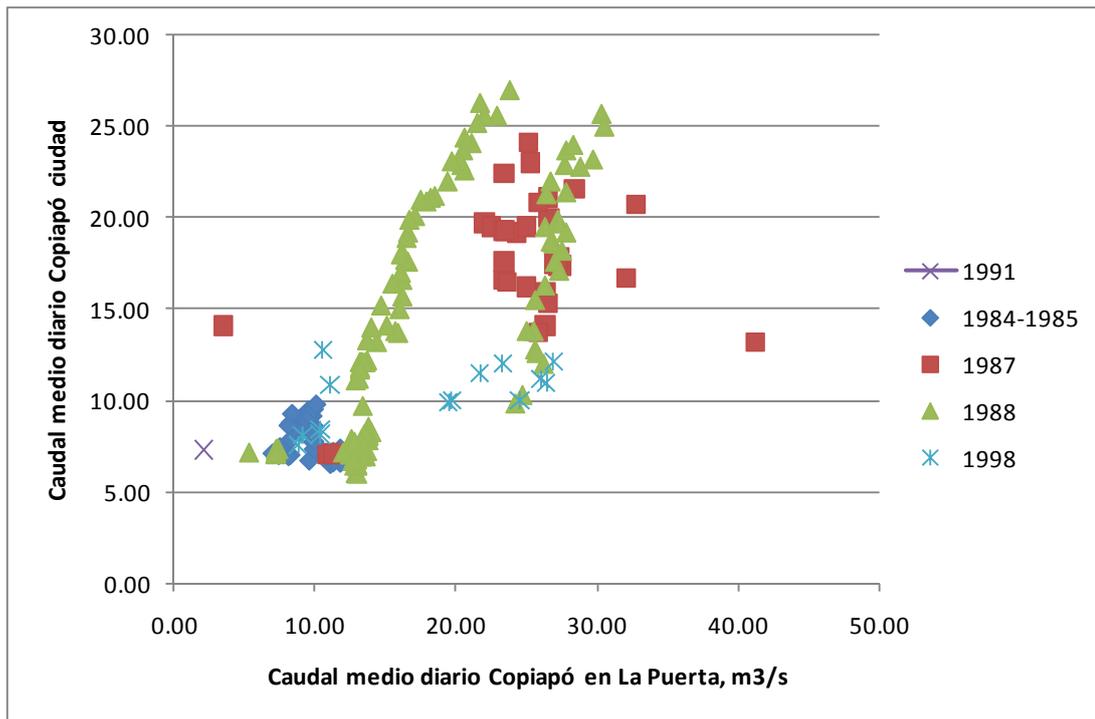
**Figura N° 6.19**  
**Relación entre crecidas de Copiapó en Pastillo y precipitaciones en diversas estaciones**



**Relación caudales diarios Copiapó en La Puerta y Copiapó en Copiapó**

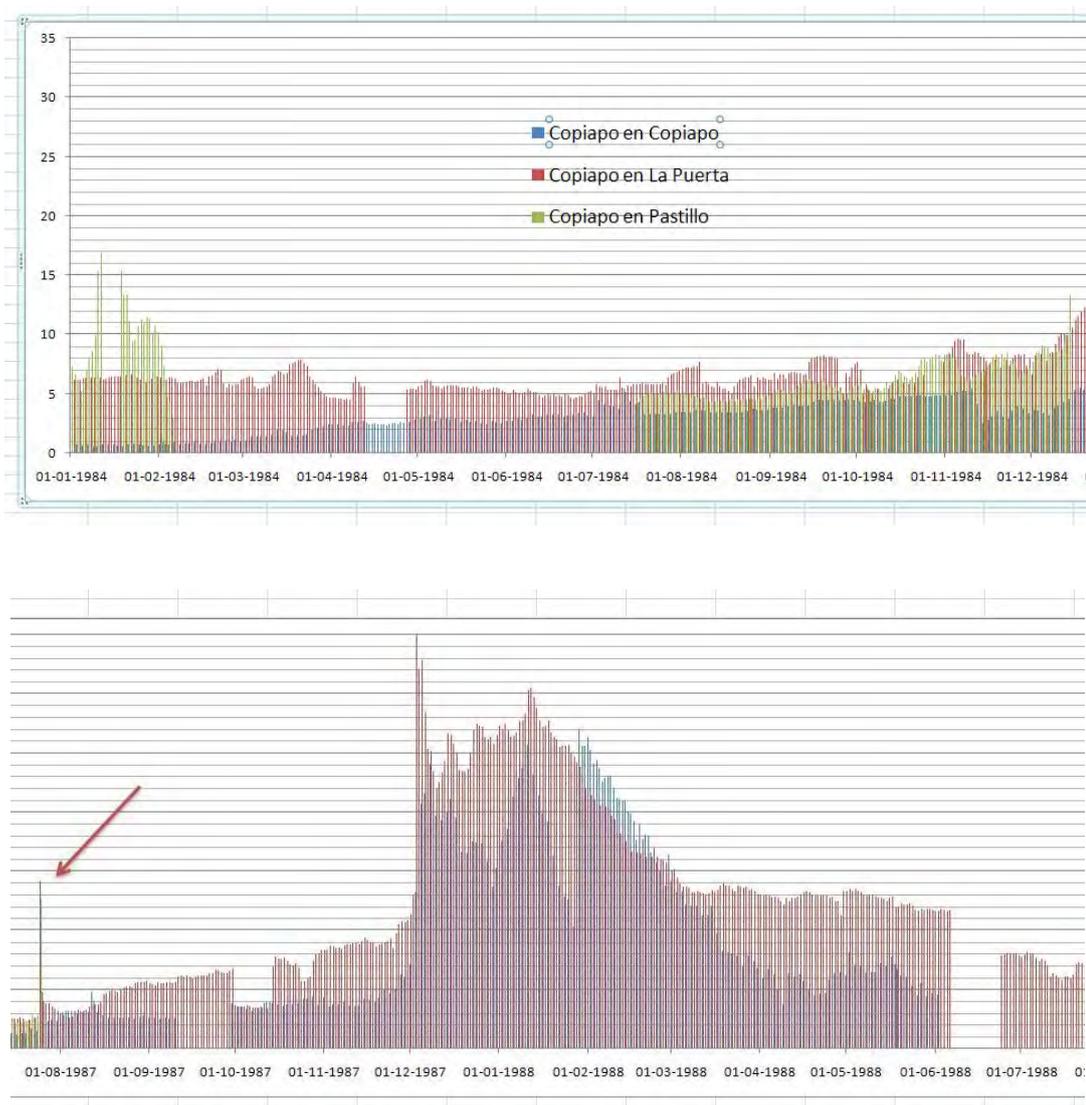
Como no se encontró ninguna relación entre caudales de crecidas, por falta de datos, se buscó una relación entre los caudales diarios de las estaciones señaladas. La ausencia de relación entre caudales diarios se puede observar en la Figura N° 6.20

**Figura N° 6.20**  
**Relación entre caudales diarios Copiapó en La Puerta y Copiapó Ciudad**



Para explicarse esta ausencia de relación, finalmente se optó por graficar las tres series de tiempo de los caudales diarios (Pastillo, La Puerta y Ciudad Copiapó) en forma simultánea, gráfico que se entrega en Anexos. En la Figura N° 6.21 se entrega un extracto de este gráfico.

**Figura N° 6.21**  
**Extracto de serie de tiempo de caudales diarios**



Analizando con detalle este gráfico en su totalidad, se puede observar lo siguiente para los caudales diarios:

- Las crecidas de Copiapó en Pastillo la mayoría de las veces son retenidas por el embalse Lautaro, aunque no siempre. Cuando son muy grandes, se transmite una onda de crecida hacia abajo.
- Los caudales de La Puerta, casi siempre son mayores que los de Copiapó. La diferencia (de hasta 8 a 10 m<sup>3</sup>/s) radica en los caudales captados por los canales.

- Hay ocasiones en que los canales están cerrados, en que el caudal de La Puerta no es alterado en el trayecto, y se observa exactamente el mismo caudal en Copiapó. Esto ocurre no necesariamente con ocasión de crecidas.
- Con ocasión de crecidas también se puede observar que los canales siguen captando, y reduciendo el caudal que llega a Copiapó.
- También ocurre que el caudal en Copiapó supera sensiblemente el caudal en La Puerta. (en hasta 7 m<sup>3</sup>/s a nivel de caudal medio diario). Esto se asocia con los aportes de la cuenca intermedia, en especial los aportes de la Quebrada de Paipote.

Se analizó la precipitación en la quebrada de Paipote (estaciones Elibor Campamento, Los Loros y Pastos Grandes) para los eventos de Julio 1987 y Febrero 1988, en que el caudal en Copiapó superó el caudal en La Puerta. Se pudo observar lo siguiente:

El evento de Julio 1987, una crecida de un día, efectivamente se debió a la precipitación, muy alta, de 16, 17 y 25 mm el día 21 de Julio y luego 58, 72 y 60 mm el día 24 de Julio, respectivamente en las tres estaciones de la cuenca intermedia.

El evento de febrero de 1988 es una consecuencia del derretimiento, en que se llenaron todos los acuíferos, y lo más probable es que el hecho de tener un caudal mayor en Copiapó que en La Puerta se explique por afloramientos ocasionales que se produjeron en el trayecto, dado el gran aporte de derretimiento en esa época.

Se observa que el caudal en la ciudad de Copiapó es una consecuencia de la forma en que se conjuga una gran cantidad de factores, y es muy complejo de predecir. Para anticipar algo sobre el caudal en Copiapó, es necesario conocer:

- el caudal en La Puerta,
- la condición meteorológica de la cuenca intermedia (y quebrada de Paipote),
- el estado (abierto o cerrado) de los canales, y
- el estado de los acuíferos.

El análisis conjunto de todas estas variables permitiría establecer situaciones de alerta para Copiapó, además de que se requiere una definición más clara del caudal de alerta roja, o caudal que genera daño. Este análisis sobrepasa el alcance del presente estudio.

Ante tal situación, no se puede proponer un esquema de umbrales diferentes al que entrega la región. Se recomienda mantenerlo y ajustarlo con ocasión de la siguiente crecida.

### **Huasco en Algodones**

No hay eventos (fechas y lugares) de amagamiento como para verificar los umbrales existentes. Si bien es cierto que parece haber zonas afectadas por inundación en el sector de Alto del Carmen, no hay estaciones satelitales que pudieran anticipar este amagamiento. La única estación satelital es Huasco en Algodones, y se encuentra aguas abajo.

Nota: No hay información como para modificar los umbrales establecidos por la región.

#### **IVª Región de Coquimbo**

##### **a) Sistema de alerta actual**

En esta región hay un sistema de alerta de crecida que cuenta con 32 estaciones, de las cuales solamente 4 son satelitales. Para cada una de las 32 estaciones los valores umbrales están definidos para las 3 alertas azul, amarilla y roja. Se establecieron con una de las crecidas más importante registrada en la región, que fue la del año 1997 y tomando como referencia los datos registrados en los años 1984, 1987, 1992. Todos los umbrales están funcionando, ya que están asociados al control hidrométrico.

##### **b) Solicitud de la región**

No se solicita ninguna revisión de umbral.

##### **c) Identificación de eventos de amagamiento**

Se mencionan como zonas amagadas no cubiertas por el sistema actual, las zonas ubicadas aguas abajo de los Embalses Puclaro, Recoleta, La Paloma, Cogotí, Corrales, Culimo y del Embalse El Bato una vez que entre en funcionamiento. Hay inquietud por la aplicación de la nueva ley de embalses. No se aportan eventos específicos de anegamiento.

##### **d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

No se han desarrollado relaciones de pronóstico de corto plazo para esta región.

##### **e) Solicitudes adicionales de la región**

En el sistema actual se requeriría controlar la variable calidad química. El tema está enfocado especialmente a las descargas de la minera Pelambres en los cauces de las cuencas de los ríos Choapa y Pupío. Además, se solicita implementar estaciones aguas arriba y abajo de los embalses, de modo de controlar estas variables en vista de la nueva ley de embalses.

Nota del consultor:

Si la alerta se refiere a las evacuaciones requeridas por la aplicación de la nueva ley de embalses, no viene el caso un sistema de alerta basado en estaciones, sino que un procedimiento formal de aviso a las instituciones correspondientes (Junta de Vigilancia, Vialidad, agua potable, etc.) con una anticipación preestablecida adecuada que permita tomar las medidas del caso.

Por último, se señala que se requiere DCP en las siguientes estaciones incluidas en el sistema actual:

- Río Illapel en Las Burras
- Río Elquí en Almendral
- Río del Toro en Junta Río La Laguna
- Río Grande en Puntilla de San Juan

##### **f) Análisis y resultados**

Esta región no requiere revisión de umbrales. Los requerimientos manifestados están fuera del alcance de la presente consultoría.

## **Vª Región de Valparaíso**

### **a) Sistema de alerta actual**

Según se puede apreciar en el listado del Anexo 4.4.2, esta región cuenta con un sistema de alerta de crecidas en funcionamiento, que incluye 7 estaciones satelitales de las cuales 6 son fluviométricas:

- Río Aconcagua en Chacabuquito: cubre la zona de la comunas de Los Andes y San Felipe
- Río Aconcagua en San Felipe: cubre la zona de la comunas de San Felipe y Panquehue
- Río Aconcagua en Romeral: cubre la zona de la comunas de La Calera y Quillota
- Río Putaendo en Resguardo Los Patos: cubre la zona de la comuna de Putaendo
- Río Petorca en Hierro Viejo: cubre el sector de Hierro Viejo
- Estero Alicahue en Colliguay: cubre el sector de Alicahue, comuna de Cabildo

También cuenta con la estación meteorológica de Portillo que mide nieve y temperatura.

De acuerdo con lo expresado en la encuesta, no se requeriría medir más variables y no se incluirían incluir estaciones no satelitales al sistema de alerta

### **b) Solicitud de la región**

Cada estación tiene sus 3 umbrales definidos que se han establecido con la crecida del año 1997 (¿1993?) pero no se han podido actualizar adecuadamente ya que desde esta fecha no ha habido otra crecida importante. La necesidad de revisar los umbrales se debe principalmente a la mejora de las defensas fluviales, lo que hace pensar que los umbrales actuales podrían estar muy bajos.

Se solicita revisar los 6 umbrales establecidos, y en lo posible, asociar un umbral de precipitación y temperatura a la estación Portillo, en función de los caudales que se generan.

### **c) Identificación zonas amagadas**

El sistema actual cubre todas las zonas amagadas, que de acuerdo con la información recopilada en la DGA regional, son las siguientes:

- Comunas de Los Andes-San Felipe
- Comunas de San Felipe-Panquehue
- Comunas de La Calera-Quillota
- Comuna de Putaendo
- Sector de Hierro Viejo
- Alicahue, comuna de Cabildo

Complementariamente, el siguiente Cuadro N° 6.6 presenta los resultados de la revisión de los estudios de frentes extremos editados por la ONEMI, con fecha, cauce en el cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.6**  
**Eventos registrados por la ONEMI para la Vª Región**

Junio 2002	"Informe Consolidado Sistema Frontal Zona Norte Centro y Sur 2-5 Junio 2002 "			
Junio 2002	V	Estero Llay-Llay	Llay-Llay	Las Peñas, Enrique Meiggs y El Sauce
Junio 2002	V	Estero Los Loros	Llay-Llay	Sectores urbanos ciudad de Llay-Llay
Junio 2002	V	Estero Santa Enriqueta	Llay-Llay	Sectores urbanos ciudad de Llay-Llay
Junio 2002	V	Estero Santa Julia	?	Puchuncavi
Mayo 2008	"Informe Consolidado Sistema Frontal 17 al 24 de Mayo 2008 "			
Mayo 2008	V	Estero Las Gualtatas	?	Sector Riecillo, KM28 ruta CH 60 Camino Internacional

**d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

A nivel central (Oficina Receptora Satelital) se llevan a cabo los cálculos de relaciones de pronóstico a corto plazo, que existen para Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Romeral (al parecer no se ocupan a nivel regional). Las relaciones de pronóstico permiten pronosticar lo siguiente:

- Río Aconcagua en San Felipe en base a los datos de caudal en Río Aconcagua en Chacabuquito y precipitación en San Felipe: se logra un tiempo de antelación máximo de 4 horas; de esta forma, en el estudio de BF 1987 se definió un valor umbral de 380 m<sup>3</sup>/s en Río Aconcagua en San Felipe para la alerta roja. Este valor se actualizó, ajustándolo a las nuevas condiciones de construcción de defensas fluviales, en el estudio de la referencia 2.14, quedando en 500 m<sup>3</sup>/s.
- Río Aconcagua en Romeral en base a los datos de caudal de Río Aconcagua en Chacabuquito y precipitación en Quillota: se logra un tiempo de antelación máximo de 10 horas; se definió un valor umbral de 900 m<sup>3</sup>/s en Río Aconcagua en Romeral para la alerta roja. Este valor se actualizó, ajustándolo a las nuevas condiciones de construcción de defensas fluviales, en el estudio de la referencia 2.14, quedando en 1800 m<sup>3</sup>/s.

**e) Solicitud adicional de la región**

En la región, se solicita la implementación de DCP en la estación Río Juncal en Juncal, para medir caudales instantáneos, y temperatura ambiental para determinar altura de la isoterma 0°C.

**f) Análisis y resultados**

De acuerdo con lo señalado en el estudio de BF de 1987, se tienen los siguientes umbrales:

- Umbral rojo Aconcagua en San Felipe: 380 m<sup>3</sup>/s (crecida Ago87)
- Umbral rojo La Calera y Quillota: 900 m<sup>3</sup>/s (crecida 1986)

Los umbrales de caudal definidos por la región (ésta es la única región que entregó umbrales en forma de caudal) son los siguientes, y parecen ser muy bajos en vista de lo señalado en el estudio de BF, especialmente los umbrales de Aconcagua en Romeral:

100, 120 y 180 m<sup>3</sup>/s para Aconcagua en Chacabuquito  
 150, 190 y 225 m<sup>3</sup>/s para Aconcagua en San Felipe y  
 200, 225 y 250 m<sup>3</sup>/s para Aconcagua en Romeral.

En el estudio del 1995 de BF, en que se verificaron y se validaron las relaciones propuestas en el estudio anterior, se propone subir el umbral para San Felipe a 500 m<sup>3</sup>/s y para Romeral a 1800 m<sup>3</sup>/s, cuando se termine la construcción de las defensas fluviales analizadas en el estudio de Manejo de Cuencas Críticas..

No se pudo obtener información que permita concluir si las defensas propuestas han sido o no construidas a la fecha de hoy. De este modo, no se conoce la forma y lugares en que el cauce pueda haberse modificado, ni los lugares donde aún puedan ocurrir inundaciones.

Sin embargo, en cuanto a inundaciones, no hay información de anegamientos en los últimos años en el río Aconcagua. Una de las zonas más vulnerables, Panquehue, será prontamente defendida por las defensas de la carretera CH-60, que pasará por el borde del río.

La ausencia de información, si bien por un lado puede indicar que no ha habido inundaciones en los últimos años, por otro lado también dificulta el análisis de la situación actual en la forma planteada. Por ello, se ha procedido a definir los umbrales en función de los caudales de alerta roja señalados en ambos estudios de BF. La región tendrá la responsabilidad de seleccionar los umbrales que corresponda, en función de sus propias experiencias y observaciones.

#### Aconcagua en San Felipe sin defensas fluviales

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	190	304	380
Nivel en m	2.35	2.76	2.98

\* valor extrapolado de la curva de descarga

#### Aconcagua en San Felipe con defensas fluviales

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	250	400	500
Nivel en m	2.58	3.03	3.30*

#### Aconcagua en Romeral sin defensas fluviales

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	450	720	900
Nivel en m	3.21	3.57	3.68

Aconcagua en Romera con defensas fluviales:

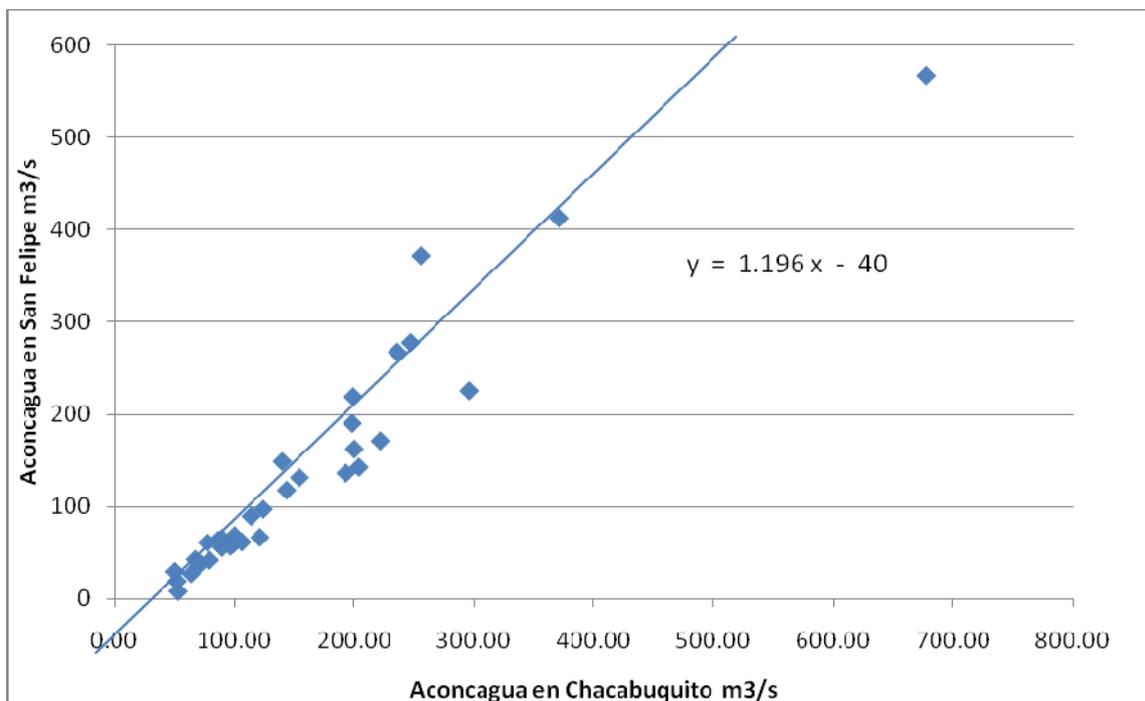
	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m3/s	900	1440	1800
Nivel en m	3.68	Fuera CD	Fuera CD

El caudal de 500 m3/s en San Felipe corresponde a un período de retorno de algo menor que 100 años  
 El caudal de 1800 m3/s en Romeral corresponde a un período de retorno de alrededor de 100 años. El período de retorno de 100 años corresponde al período de diseño de las defensa fluviales.

Lamentablemente no hay datos más actuales de fechas de inundaciones o daños para establecer los umbrales según la metodología establecida.

Lo que sí se pudo hacer fue establecer una relación entre los valores de crecida de Aconcagua en Chacabuquito y Aconcagua en San Felipe, en base a la cual es posible alertar a la segunda en función de la primera. La relación encontrada, para los caudales de crecidas simultáneas, es la siguiente:

**Figura N° 6.22**  
**Relación entre crecidas de Aconcagua en Chacabuquito y en San Felipe**



Para un caudal de daño de 380 m3/s en San Felipe, el caudal correspondiente en Chacabuquito sería de 351 m3/s, y los demás niveles de alerta como sigue:

Aconcagua en Chacabuquito para alertar San Felipe sin defensas fluviales:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	178	281	351
Nivel en m	2.40	3.00	Fuera CD

Asumiendo que el caudal generador de daños en San Felipe fuera de 500 m<sup>3</sup>/s en San Felipe, el caudal correspondiente en Chacabuquito sería de 451 m<sup>3</sup>/s, y los demás niveles de alerta como sigue:

Aconcagua en Chacabuquito para alertar San Felipe con defensas fluviales:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	225	361	451
Nivel en m	2.69	Fuera CD	Fuera CD

Sólo a modo de comparación, se ha buscado la mayor crecida del período reciente en todas las estaciones del sistema de alerta, y se han obtenido los niveles correspondientes a partir de las curvas de descarga actuales. Lamentablemente no se sabe qué daños generaron estas crecidas, ni dónde. Se observa que los caudales sobrepasan largamente los umbrales de alerta actuales.

**Cuadro N° 6.7**  
**Crecidas máximas registradas y niveles asociados**

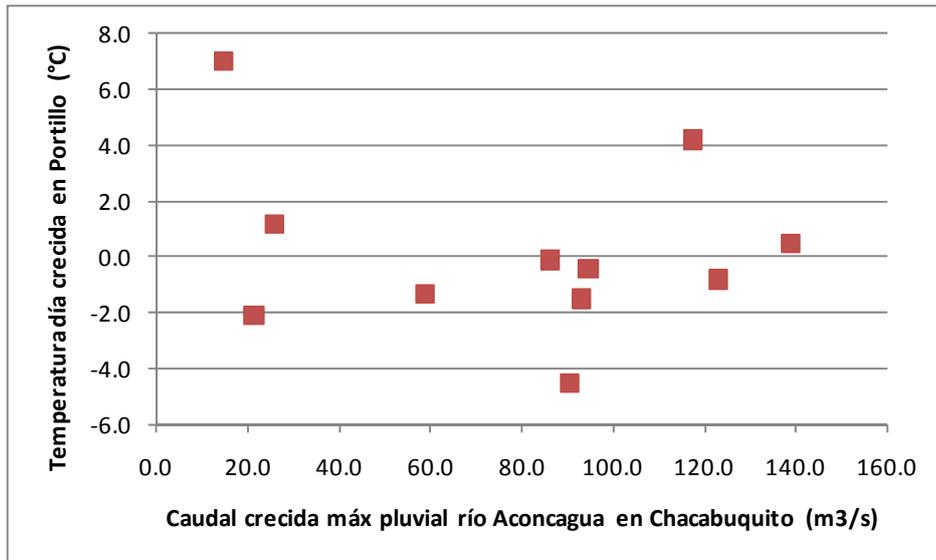
Estacion	Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Nivel (m)	CD hasta (m <sup>3</sup> /s)
Aconcagua en Chacabuquito	03-May-93	677.28	fuera CD	290
Aconcagua en San Felipe	03-May-93	567.20	fuera CD	447
Aconcagua en Romeral	23-Jul-02	829.25	3.61	
Petorca en Hierro Viejo	12-Jun-97	502.36	fuera CD	170
Alicahue en Colliguay	18-Jun-05	15.97	1.32	
Putando en resguardo Los Patos	08-Dic-97	135.08	fuera CD	90

Será tarea de la DGA Regional verificar los umbrales propuestos, cuando exista la información de daños por inundaciones que permita hacerlo. Los umbrales aquí presentados son una proposición del consultor, y están basados en caudales de diseño de las defensas fluviales que han sido propuestas para el río Aconcagua. Estos umbrales deberán ser corroborados por la región, en función del avance de tales obras.

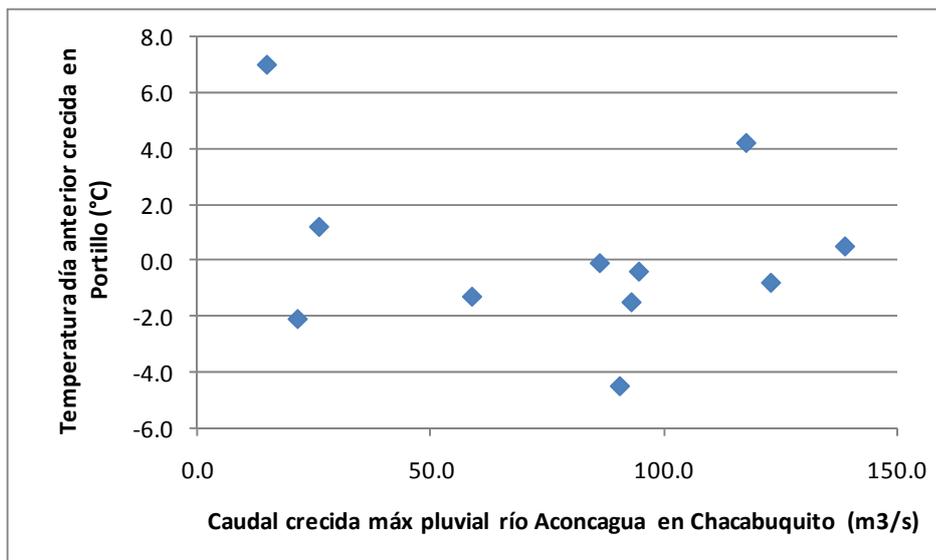
**Umbral de temperatura en Portillo**

En cuanto a la estación Portillo, se intentó relacionar las temperaturas con los caudales en Aconcagua en Chacabucuito, con el resultado que se ve en las Figuras N° 6.23 y 6.24 adjuntas:

**Figura N° 6.23**  
**Relación entre caudal y temperatura día de la crecida**



**Figura N° 6.24**  
**Relación entre caudal y temperatura día anterior a la crecida**



Según se puede apreciar, no hay una relación directa entre la temperatura y el caudal.

Se asume entonces que, de haber una relación entre el caudal y la temperatura, ésta podría manifestarse una vez que se incluya en el análisis el índice de precipitación antecedente, de acuerdo con la forma en que este índice fue definido en la Ref. 2.3, debido a que se trata de una zona semiárida. El análisis de esta relación no se puede realizar aún, debido a que el registro de temperaturas en Portillo tiene sólo 5 años de longitud, años por lo demás, en los cuales no se han registrado crecidas de importancia en el río Aconcagua. Se recomienda obtener una relación entre el caudal y la temperatura, en función de la precipitación y del índice de precipitación antecedente, en forma similar a lo que se ha hecho en dicho estudio para Mapocho en Los Almendros, cuando haya más datos en la estación.

**Región Metropolitana****a) Sistema de alerta actual**

Esta región cuenta con un sistema de alerta de crecidas que incluye las siguientes 4 estaciones satelitales, las cuales tienen cada una sus 3 umbrales definidos:

- Río Mapocho en Los Almendros
- Río Mapocho en Rinconada de Maipú
- Río Maipo en El Manzano
- Estero El Arrayan en La Montosa

Para la estación Río Mapocho en Rinconada de Maipú, según lo informado por la DGA central, el valor de la alerta amarilla no está definido, pero sí lo está en la región, con un valor de 4.00 m.

No hay antecedentes con respecto a la definición de estos umbrales ni a su actualización.

**b) Solicitud de la región**

Es necesario revisar todos los umbrales, especialmente los del río Mapocho, ya que en la última alerta roja el 07/09/09 no se registró ningún daño. Además, desde el nivel central se solicita revisar el umbral de precipitación de la estación Cerro Calán, porque se sabe que es dependiente de la temperatura.

No hay información al respecto de incluir o no más estaciones al sistema de alerta de crecidas.

**c) Identificación de zonas amagadas**

La DGA regional no entregó información de las zonas amagadas de la región, ya sea cubiertas como no cubiertas por el sistema de alerta de crecidas.

Complementariamente, el siguiente cuadro N° 6.8 presenta los resultados de la revisión de los estudios de frentes extremos editados por la ONEMI, con fecha, cauce en el cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.8**  
**Eventos registrados por la ONEMI para la Vª Región**

Junio 2002	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal Zona Norte Centro y Sur 2-5 Junio 2002 "</i>			
Junio 2002	R.M.	Varios canales	Santiago	Varios sectores
Junio 2002	R.M.	Estero Pangué	Melipilla	Lumbrera
Junio 2002	R.M.	Río Colina	Colina	Villa Esperanza
Junio 2002	R.M.	Zanjón de la Aguada	Santiago	Paraderos 12 y 14 Av. Pajaritos
Junio 2002	R.M.	Estero Pangué	María Pinto	Varias poblaciones
Junio 2002	R.M.	Estero Lampa	?	El Molino
Junio 2002	R.M.	Río Mapocho	Peñaflor	Terrenos empresa Bata

Agosto 2005	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 26, 27 y 28 Agosto 2005 "</i>			
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	La Reina	Varios sectores
Julio 2006	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 10 al 13 de Julio 2006 "</i>			
Julio 2006	R.M.	Estero Lampa	Lampa	Puente Santa Rosa
Julio 2006	R.M.	Río Clarillo	Pirque	Puente Blanco
Julio 2006	R.M.	Estero Colina	Lampa	Estación y ruta G-150
Julio 2006	R.M.	Río Mapocho	Talagante	Eyzaguirre
Julio 2006	R.M.	Estero Paine	Paine	
Mayo 2008	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 17 al 24 de Mayo 2008 "</i>			
Mayo 2008	R.M.	Canal de Ramón	La Reina	Puente Príncipe de Gales con Salvador Izquierdo
Mayo 2008	R.M.	Zanjón de la Aguada	San Joaquín	Av. Las Industrias
Mayo 2008	R.M.	Estero San Gabriel	San José de Maipo	
Mayo 2008	R.M.	Estero Colina	Colina	Santa Filomena y Estación de Colina

#### d) Relaciones de pronóstico de corto plazo

A nivel central, en la Oficina Receptora Satelital, se llevan a cabo los cálculos de relaciones de pronóstico de corto plazo para las estaciones que se muestran a continuación. Los resultados de los cálculos se transmiten a la Dirección Regional cuando se estima necesario o a pedido.

- Río Mapocho en Puente Lo Curro se calcula en base a los datos de caudal de Río Mapocho en Los Almendros y Estero Arrayán en La Montosa: se logra un tiempo de antelación máximo de 2 horas; se definió un valor umbral de 210 m<sup>3</sup>/s en Río Mapocho en Puente Lo Curro para la alerta roja.
- Río Mapocho Los Almendros se calcula en base a los datos de caudal de la misma estación y de la precipitación en Cerro Calán.
- Estero El Arrayán en La Montosa se calcula en base a los datos de caudal de la misma estación y de la precipitación en Quinta Normal.

También existen relaciones de pronóstico de corto plazo establecidas para los siguientes puntos en los estudios "Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales" desarrollados por BF Ingenieros Civiles para la DGA a fines de los años 80 y que no se calculan, ni a nivel central, ni a nivel regional.

- Río Mapocho en Rinconada de Maipú en base a los datos de caudal de Río Mapocho en Los Almendros y precipitación en Cerro Calán y en Quinta Normal. Se logra un tiempo de antelación máximo de 4 horas. Se definió un valor umbral de 900 m<sup>3</sup>/s en Río Mapocho en

Rinconada de Maipú para la alerta roja; este punto está asociado a las localidades con riesgo de inundación de Peñaflor, Talagante y El Monte.

- Río Maipo en El Rosario en base a los datos de caudal de Río Maipo en El Manzano y precipitación en Quinta Normal: se logra un tiempo de antelación máximo de 8 horas; se definió un valor umbral de 1500 m<sup>3</sup>/s en Río Maipo en El Rosario para la alerta roja; este punto está asociado a la localidad con riesgo de inundación de Isla de Maipo.
- Río Angostura en Valdivia de Paine en base a los datos de precipitación en Pirque. Se logra un tiempo de antelación máximo de 6 horas; se definió un valor umbral de 400 m<sup>3</sup>/s en Río Angostura en Valdivia de Paine para la alerta roja; este punto está asociado al riesgo de inundación de la localidad Valdivia de Paine.

#### **e) Solicitud adicional de la Región**

Se requiere DCP en las estaciones

- Río Maipo en El Manzano (precipitación),
- Río Maipo en San Alfonso y
- Río Colorado antes junta con Río Maipo.

#### **f) Análisis y resultados**

Los umbrales existentes de las estaciones se revisaron de la forma que se indica a continuación:

#### **Umbral de precipitación en Cerro Calán**

La medición de la precipitación y temperatura en Cerro Calán tiene por objetivo alertar la ciudad de Santiago contra crecidas del río Mapocho y estero Arrayán. La estación Cerro Calán, tiene un umbral de 40 mm con el cual se busca alertar a la ciudad de Santiago contra las crecidas del Mapocho.

Sin embargo, por un lado, en la DGA se sabe que el monto no es lo relevante, sino que además, lo es la temperatura, es decir, la ubicación de la isoterma 0°. Por esta razón, se utiliza el gráfico de la Figura N° 4.2, en base al cual se obtiene la altura de la línea de nieve (y con ello, el área aportante pluvial) en función de la temperatura en la estación Cerro Calán.

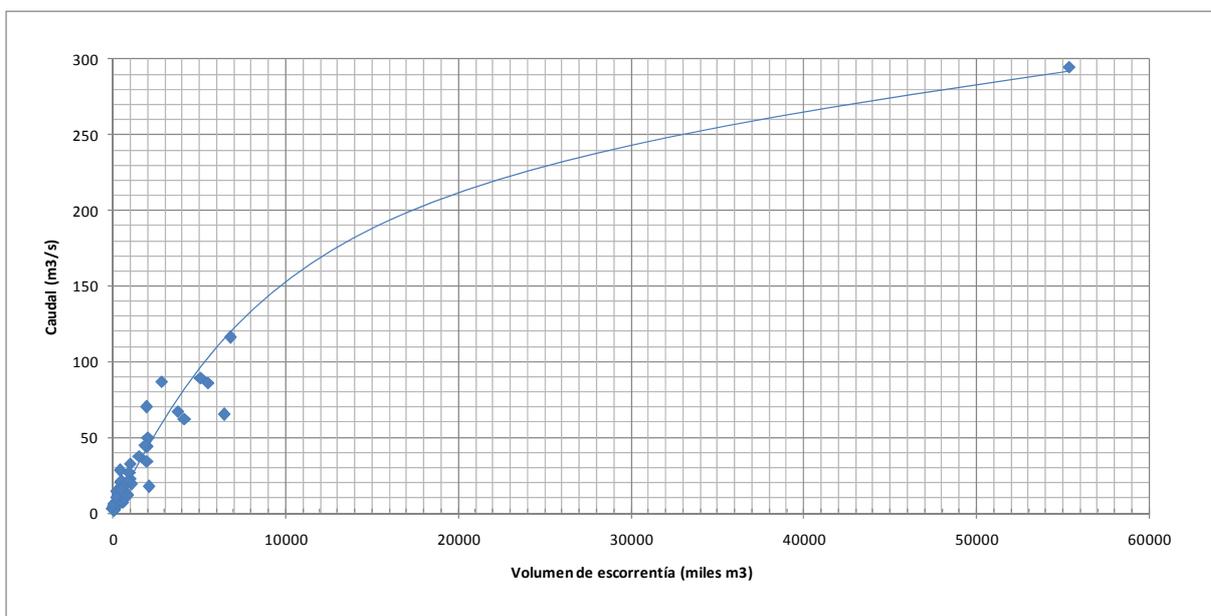
Pero por otro lado, también es necesario revisar si la precipitación de 40 mm es aún un buen umbral de alerta, en vista del aumento de capacidad del río Mapocho que generó la construcción de la Costanera Norte. Los mejoramientos de la canalización han permitido asegurar un cauce de 1250 m<sup>3</sup>/s, equivalente a un período de retorno de 100 años, dentro de la ciudad.

El contenido del análisis realizado se detalla a continuación.

Como se estableció en el estudio de la Ref. 2.3, en los caudales del río Mapocho (y muy probablemente también del Aconcagua y del Maipo), además de la precipitación y la temperatura, tiene gran influencia la condición de precipitación antecedente. Para incorporar adecuadamente este hecho en el análisis, se utilizaron los resultados del estudio de la Ref. 2.3, que usa información de precipitación y temperatura de la estación Quinta Normal.

En dicho estudio, a partir de la precipitación y de un índice de precipitación antecedente, se obtiene el volumen de escorrentía, el cual se corrige por un índice de temperatura basado en las temperaturas mínimas diarias durante la tormenta. El procedimiento se grafica en el ábaco de la Figura N° 2.1 De esta forma, el volumen de crecida resultante considera tanto la precipitación como la precipitación antecedente, y también la temperatura. Finalmente, se asocia el volumen escurrido con un caudal, según se aprecia en la Figura N° 6.25.

**Figura N° 6.25**  
**Relación entre Volumen de escorrentía y caudal Peak en Mapocho en Los Almendros**  
**(según Ref. 2.3)**



En el Cuadro N° 6.9 adjunto, se presentan tabulados los resultados del ábaco del estudio de la Ref. 2.3. En el mismo Cuadro, además, se agregó la transformación de volumen de escorrentía en caudal según la relación de la Figura N° 6.25, y la expresión del caudal como un nivel de acuerdo con la última curva de descarga. Todo esto se presenta para facilitar la aplicación de este conocimiento en lo que sigue del análisis, y en la práctica diaria.



El objetivo del siguiente análisis es encontrar la combinación de precipitaciones y temperaturas en Cerro Calán, que sea capaz de generar un caudal de 1250 m<sup>3</sup>/s en Mapocho en lo Curro.

Para ello, es necesario pasar primero por encontrar la combinación de caudales en las estaciones del río Mapocho en Los Almendros y en el estero Arrayan en La Montosa (a continuación respectivamente Q<sub>MA</sub> y Q<sub>AM</sub>), capaces de generar un caudal de 1250 m<sup>3</sup>/s en el río Mapocho en el Puente Lo Curro (Q<sub>PLC</sub>).

Según el estudio “Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa III); Regiones V y Metropolitana. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1987.”, se tiene la relación siguiente:

$$Q_{PLC} = Q_{MA} + Q_{AM} + Q_{int} \quad (1)$$

donde Q<sub>int</sub> es el caudal de la cuenca intermedia afluente al río Mapocho entre Los Almendros y el puente Lo Curro y se obtiene de la siguiente forma, en función de los rendimientos de las cuencas controladas

$$Q_{int} = \frac{A_{int}}{2} \cdot \left( \frac{Q_{MA}}{A_{MA}} + \frac{Q_{AM}}{A_{AM}} \right) \quad (2)$$

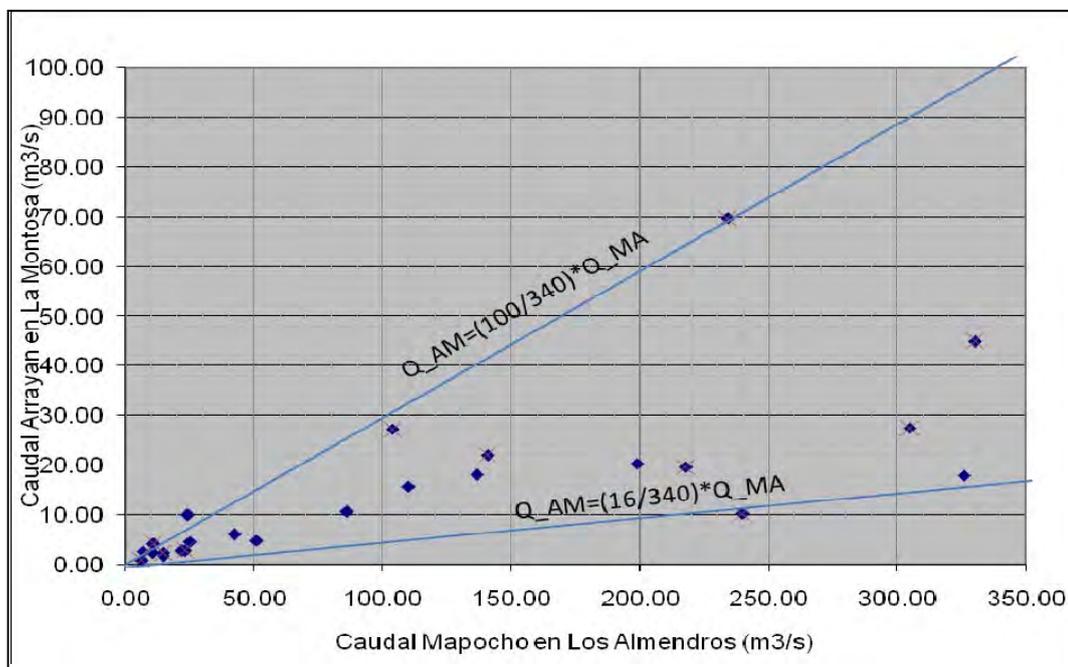
Donde

A<sub>MA</sub>, A<sub>AM</sub> y A<sub>int</sub> son las áreas aportantes pluviales correspondiendo respectivamente a las cuencas del río Mapocho en Los Almendros, estero El Arrayan en La Montosa y cuenca intermedia.

A<sub>MA</sub> y A<sub>AM</sub> se calcularon en base a las curvas hipsométricas respectivas y la altura de la isoterma 0°C calculada en base a la temperatura media en Cerro Calán el día de la crecida. La cuenca intermedia se considera netamente pluvial, por lo que tiene un área aportante pluvial constante A<sub>int</sub> igual a 164 km<sup>2</sup>.

La Figura N° 6.26 a continuación muestra los caudales extremos en el estero El Arrayan en La Montosa en función de los caudales del río Mapocho en Los Almendros para crecidas simultáneas en el período 1985-2010.

**Figura N° 6.26**  
**Caudales de crecida extremos máximos y mínimos en Arrayán en la Montosa**  
**en función de los caudales de Mapocho en Los Almendros**



Se observa que los puntos pueden incluirse entre dos rectas extremas definidas por las siguientes ecuaciones:

$$Q_{AM} = \frac{100}{340} \cdot Q_{MA} = 0,294 \cdot Q_{MA} \quad (3)$$

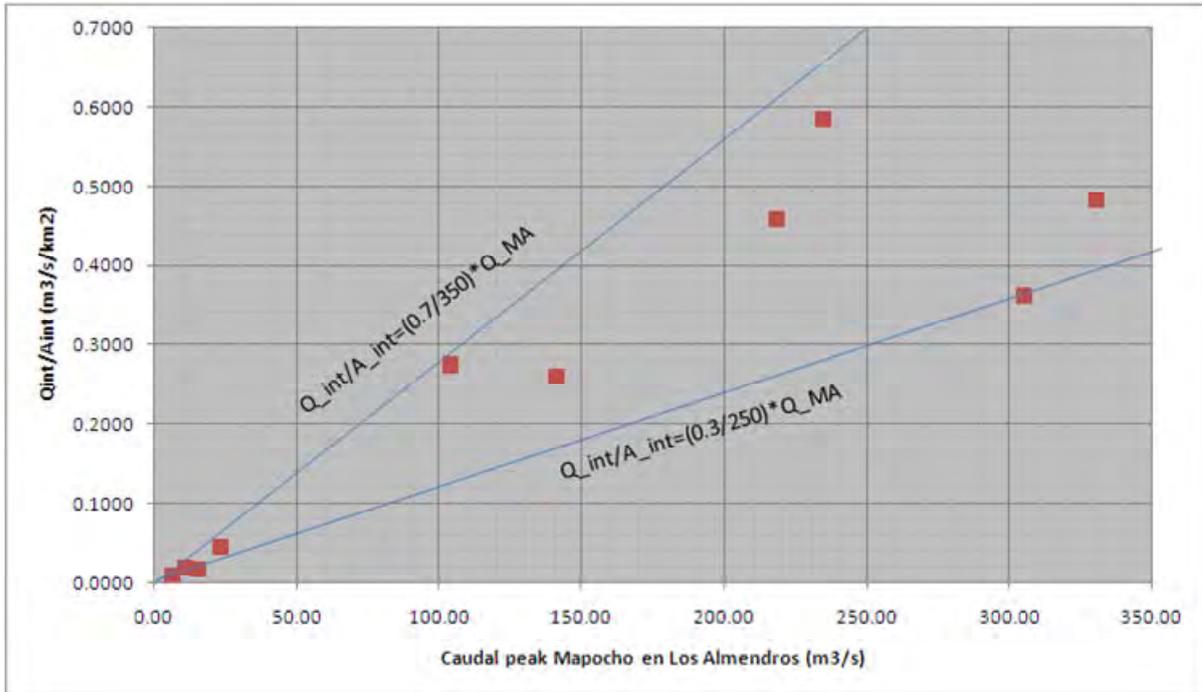
$$Q_{AM} = \frac{16}{340} \cdot Q_{MA} = 0,046 \cdot Q_{MA} \quad (4)$$

En la Figura 6.27 se graficó la relación entre el caudal en el río Mapocho en Los Almendros y el término

$$\frac{Q_{int}}{A_{int}} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{Q_{MA}}{A_{MA}} + \frac{Q_{AM}}{A_{AM}} \right)$$

que representa el rendimiento de la cuenca intermedia no controlada.

**Figura N° 6.27**  
**Rendimiento cuenca intermedia en función del caudal Mapocho en Los Almendros**



Se observa que los puntos pueden incluirse entre dos rectas extremas definidas por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{Q_{int}}{A_{int}} = \frac{0.7}{260} \cdot Q_{MA} \quad \circ \quad Q_{int} = \frac{0.7}{260} \cdot Q_{MA} \cdot 164 = 0,441 \cdot Q_{MA} \quad (5)$$

$$\frac{Q_{int}}{A_{int}} = \frac{0.3}{250} \cdot Q_{MA} \quad \circ \quad Q_{int} = \frac{0.3}{250} \cdot Q_{MA} \cdot 164 = 0,197 \cdot Q_{MA} \quad (6)$$

De las ecuaciones (1) a (6) se tienen 4 combinaciones, las cuales se resumen en el Cuadro N° 6.10 a continuación:

**Cuadro N° 6.10**  
**Combinaciones de caudales que dan 1250 m3/s en Mapocho en lo Curro**

<b>Combinación</b>	<b>Q_MA (m3/s)</b>	<b>Q_AM (m3/s)</b>	<b>Q_int (m3/s)</b>	<b>Q_PLC</b>
(4)-(6)	1005	46	199	1250
(3)-(5)	720	212	318	1250
(3)-(6)	841	39	370	1250
(4)-(5)	838	246	166	1250

Finalmente

$$720 < Q_{MA} < 1005$$

$$39 < Q_{AM} < 246$$

$$166 < Q_{int} < 370$$

Con estos rangos de caudales, se podría producir un caudal de 1250 m<sup>3</sup>/s en el Puente Lo Curro, el cual podría entenderse como un caudal de alerta roja.

Se observa que los caudales necesarios de observar en Mapocho en Los Almendros, superan largamente los rangos de los caudales para los cuales se desarrolló el análisis de la Ref 2.3. Dicho ábaco, fuertemente extrapolado, muestra que es casi imposible estimar en qué condiciones se podrían generar caudales mayores que 1250 m<sup>3</sup>/s en el río Mapocho en su paso por la ciudad de Santiago.

Como segunda parte del análisis, se busca ahora las combinaciones de precipitación y temperaturas que activen la alerta, es decir, que generen en el río Mapocho en Lo Curro, un caudal de alerta azul, de 625 m<sup>3</sup>/s (50% del caudal umbral de alerta roja).

Tomando el caudal de 625 m<sup>3</sup>/s como caudal del Mapocho en Puente Lo Curro, se pueden volver a calcular las combinaciones de caudales correspondientes: los resultados se encuentran en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 6.11**  
**Combinaciones de caudales que dan 625 m<sup>3</sup>/s en Mapocho en lo Curro**

<b>Combinación</b>	<b>Q_MA (m3/s)</b>	<b>Q_AM (m3/s)</b>	<b>Q_int (m3/s)</b>	<b>Q_PLC</b>
(4)-(6)	503	23	99	625
(3)-(5)	360	106	159	625
(3)-(6)	420	19	186	625
(4)-(5)	419	123	83	625

$$360 < Q_{MA} < 503$$

$$19 < Q_{AM} < 123$$

$$83 < Q_{int} < 186$$

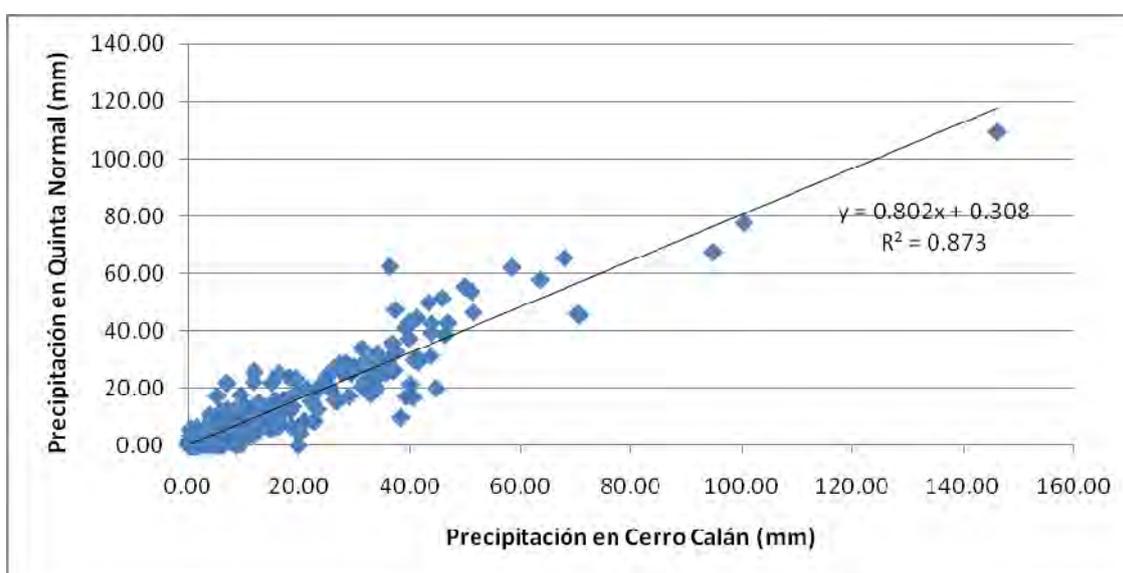
Observando el Cuadro N° 6.11, se aprecia que nuevamente los caudales están fuera del rango de valores para los que se dedujo el ábaco de la Figura N° 2.1, Cuadro N° 6.9. También la Figura N° 6.25 muestra que es muy difícil extrapolar un volumen de escorrentía a partir de un caudal tan alto, donde el desarrollo de la curva es desconocido.

Intentando un ejercicio para el caudal de 360 m<sup>3</sup>/s en Mapocho en Los Almendros, este caudal significaría un volumen de escorrentía de unos 80.000 m<sup>3</sup>, el cual requeriría para su generación, las siguientes condiciones:

- Precipitación total del evento (Quinta Normal representado por Terraza DGA) mayor que 150 mm (en Cerro Calán, mayor que 187 mm, según relación de la Figura N° 6.28 )
- Índice de precipitación antecedente (Quinta Normal representado por Terraza DGA) mayor que 200 mm
- Índice de temperatura Quina Normal representado por Terraza DGA) mayor que 11°C (en Cerro Calán, mayor que 9.5°C, según alturas y gradiente térmico).

**Figura N° 6.28**

**Relación entre precipitaciones de Quinta Normal (Terraza DGA) y Cerro Calán**



Por lo señalado, el análisis desarrollado muestra que los valores tradicionales de umbrales de alerta, de precipitación y temperatura, están obsoletos para la zona canalizada del Gran Santiago, y que la cuenca alta del río Mapocho ya no significa riesgos reales para esta parte de la ciudad.

Sin embargo, es necesario considerar que caudales altos del río Mapocho en Los Almendros pueden significar que hay muchos otros lugares que se podrían estar amagando, como Lampa o La Reina a través de los canales de riego, análisis que se presenta más adelante.

### Mapocho en Rinconada de Maipú

Daños en Junio 2002 en Santiago, Colina, Melipilla y Peñaflores, con caudal de 563.4 m<sup>3</sup>/s, y altura en Curva de descarga actual, de 5.09 m.

Daños en Agosto 2005, en Lo Barnechea, Lampa y La Reina, con caudal de 486.8 m<sup>3</sup>/s y altura actual de 4.87 m.

Daños en Julio 2006 en Talagante, con caudal de 346.8 m<sup>3</sup>/s, y altura actual de 4.44 m.

Daños en Mayo 2008 en Zanjón de la Aguada, Canal de Ramón, estero Colina, con caudal 340.9 m<sup>3</sup>/s y altura 4.42 m

Se propone bajar Alerta Roja de 5.5 m a 4.42 m, y los demás niveles de alerta, consecuentemente, según se indica en el Cuadro adjunto:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	170	273	341
Nivel en m	3.75	4.17	4.42

#### **Mapocho en Los Almendros**

Observando el cauce mismo del río Mapocho, es preciso hacer énfasis en que actualmente el río, a partir de su entrada a la ciudad en Lo Curro, está defendido y posteriormente canalizado (Costanera Norte) para un caudal de 1 en 100 años, equivalente a 1250 m<sup>3</sup>/s. Por esta razón, se aplicó la relación BF para pronosticar los caudales de Mapocho en Lo Curro. Se puede observar que el caudal que se obtiene en Lo Curro, en función de las variables involucradas, que son caudal en Mapocho en Los Almendros, caudal en Arrayán en La Montosa, y caudal de la cuenca intermedia, son difíciles de obtener a partir de valores usuales de precipitación y temperatura. El umbral de precipitación de 40 mm en Cerro Calán ya no tiene sentido, si se habla del río Mapocho.

Sin embargo, caudales altos del río Mapocho pueden servir para alertar otras zonas de la ciudad. Esta posibilidad se evalúa en análisis que se presenta a continuación.

#### **a) Mapocho en Los Almendros como indicador de alerta en la zona alta de Santiago**

Daños en Lampa, Lo Barnechea y La Reina en Agosto 2005, con caudal en Mapocho en Los Almendros, de 337.2 m<sup>3</sup>/s, equivalente a una altura de 3.70 m en la curva de descarga actual.

Daños en Julio 2006 en Lampa, con caudal de 215.7 m<sup>3</sup>/s y altura actual de 3.12 m.

Daños en Mayo 2008, en La Reina, San Joaquín y Colina, con 229.6 m<sup>3</sup>/s y una altura actual de 3.20 m.

Si se quiere usar la estación Mapocho en Los Almendros para alertar diversas partes altas de la ciudad de Santiago, hay que establecer un umbral de alerta roja en 3.12 m, con un caudal de 216 m<sup>3</sup>/s, con las alertas amarilla y azul correspondientes:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	108	173	216
Nivel en m	2.47	2.88	3.12

Para una prealerta en base a las condiciones meteorológicas, a partir del Cuadro N° 6.9 se observa que caudales de 108 m<sup>3</sup>/s en el Mapocho en Los Almendros se presentan a partir de las siguientes combinaciones de condiciones:

#### **Cuadro N° 6.12 Condiciones para generar 108 m<sup>3</sup>/s en Mapocho en Los Almendros**

IPA (mm)	50	100	150	200
PP Quinta Normal (mm)	150	100	50	25
IT (°C)	10.5	10.5	11.0	11.0

**b) Mapocho en Los Almendros y Arrayán en La Montosa como indicador de alerta para peatones en el cauce del río**

A solicitud expresa de la DGA Región Metropolitana, se ha incluido como situación de riesgo a alertar, la situación de que se llene el fondo de la canalización del río Mapocho, poniendo en peligro a personas que frecuentan el cauce del río. El fondo de la canalización se llena con 100 m<sup>3</sup>/s, por lo cual este valor se transforma en un nuevo nivel de alerta. Este umbral de alerta en el cauce del río dentro de Santiago, se traduce en un umbral en Mapocho en Los Almendros, según se observa en el Cuadro N° 6.13 adjunto

**Cuadro N° 6.13**  
**Combinaciones de caudales que dan 100 m<sup>3</sup>/s en Mapocho en Puente Lo Curro**

Combinación	Q_MA (m <sup>3</sup> /s)	Q_AM (m <sup>3</sup> /s)	Q_int (m <sup>3</sup> /s)	Q_PLC
(4)-(6)	80	4	16	100
(3)-(5)	58	17	25	100
(3)-(6)	68	19	13	100
(4)-(5)	68	3	29	100

Del cuadro se desprende que ya con 58 m<sup>3</sup>/s en la estación Mapocho en los Almendros, se puede producir un caudal de 100 m<sup>3</sup>/s en el Puente Lo Curro. Sin embargo, como 58 m<sup>3</sup>/s es un caudal totalmente usual en la estación Mapocho en Los Almendros, la alerta roja debiera establecerse sólo si hay una combinación de caudales potencialmente peligrosos en Mapocho en Los Almendros, y Arrayán en La Montosa.

De esta forma, la alerta para el propio cauce del río Mapocho, en función de las estaciones Mapocho en Los Almendros y Arrayán en La Montosa queda de la siguiente forma:

		Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	Q_MA	> 29	> 46	> 58
	Y Q_AM	> 7	> 14	> 17
Nivel en m	N_MA	> 1.59	> 1.85	> 2.02
	Y N_AM	> 1.44	> 1.82	> 1.95

**c) Mapocho en Los Almendros y cuenca intermedia de Lampa para alertar Maipú**

También se puede pensar en alertar las zonas cercanas a Rinconada de Maipú a partir de los caudales observados en Mapocho en Los Almendros y el caudal generado en las cuencas intermedias de Arrayán

(muy pequeña) y Lampa. Desafortunadamente ésta última no tiene control de caudal, pero sí de precipitación. Se cuenta con la siguiente información

Daños en Junio 2002 en Santiago, Colina, Melipilla y Peñaflor. Este evento no fue registrado como un gran evento en Mapocho en Los Almendros, donde el caudal sólo subió a 36.1 m<sup>3</sup>/s, y altura en curva de descarga actual, de 1.70 m. En Arrayán en La Montosa sí fue un evento bastante extraordinario, con 23 m<sup>3</sup>/s y altura de 2.2 en la curva de descarga actual. También hubo precipitaciones extraordinarias en la estación Embalse Huechún, de 139 mm en un día, y 254 mm en los cuatro días que duró el evento.

Daños en Julio 2006 en Talagante, con caudal de 215.7 m<sup>3</sup>/s, y altura actual de 3.12 m en Mapocho en Los Almendros, y caudal de 19,3 m<sup>3</sup>/s con altura de 2.05 m en Arrayán en La Montosa. Precipitación de 43 mm en un día y 54 mm en el evento de dos días.

Ambos eventos, de gran magnitud en Mapocho en Rinconada de Maipú (563 y 347 m<sup>3</sup>/s), presentan comportamiento disímil en Los Almendros: 36,1 y 215.7 m<sup>3</sup>/s, aunque similarmente extremos en Arrayán en La Montosa. Esto muestra la importancia de la cuenca intermedia (fundamentalmente Arrayán y Lampa), que, de acuerdo con las precipitaciones sobre su área, pueden o no aportar un caudal importante.

A continuación se presenta el análisis que se llevó a cabo para encontrar una relación entre el caudal en Mapocho en Rinconada de Maipú (Q\_MRM), los caudales en Mapocho en Los Almendros (Q\_MA) y Arrayán en La Montosa (Q\_AM), y la precipitación (correspondiente al evento) de la principal cuenca intermedia correspondiente al estero Lampa, representada por la estación Embalse Huechun (Pp\_EH).

Como primera observación, se pudo verificar que las crecidas en Mapocho en Rinconada de Maipú se generan en base a 3 configuraciones:

- Q\_MA grande superior a 200 m<sup>3</sup>/s
- P\_EH grande superior a 50 mm durante un evento (1 a 5 días)
- Q\_MA medio y P\_EH medio

Basándose en esta observación, se caracterizó el aporte de la cuenca intermedia calculando un índice de caudal de la cuenca intermedia IQ\_int en base a la precipitación del evento en la estación Embalse Huechún Pp\_EH, de la siguiente forma:

$$IQ_{int} = B * (Pp_{EH} * A_{int} * 1000 / N / 24 / 3600)$$

Pp\_EH se expresa en mm

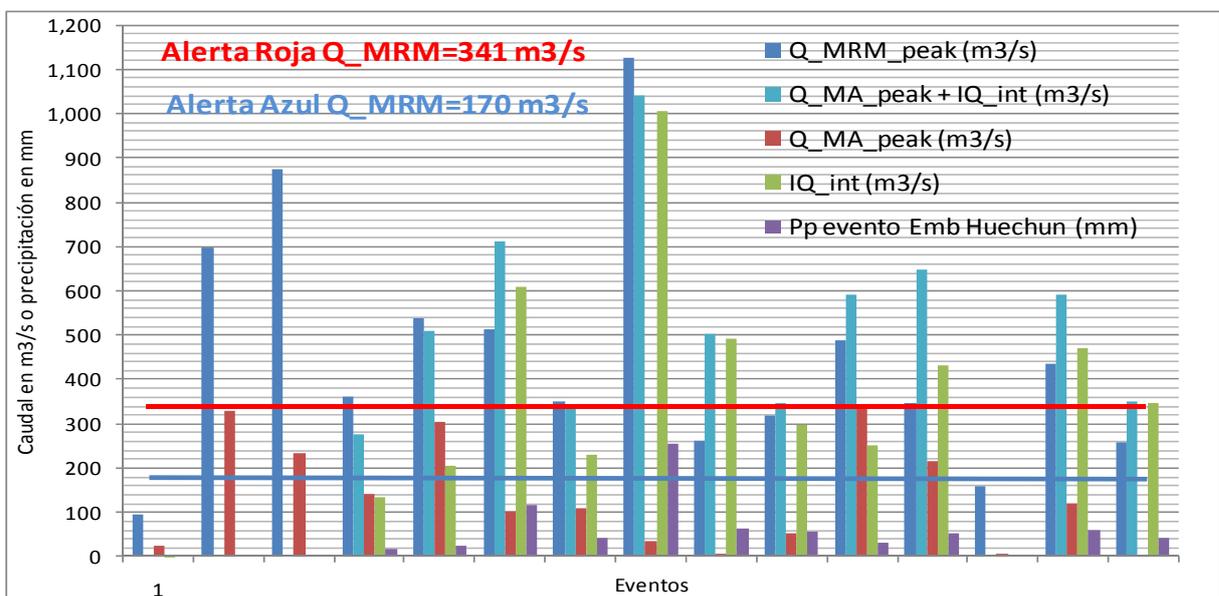
A\_int=2276 km<sup>2</sup> es el área de la cuenca intermedia expresada en km<sup>2</sup>,

N es el número de días del evento y

B es un factor que ajusta el caudal precipitado en la cuenca intermedia, a la escorrentía requerida para llegar al caudal medido en Mapocho en Rinconada de Maipú. La obtención del valor de B se efectuó como se explica a continuación.

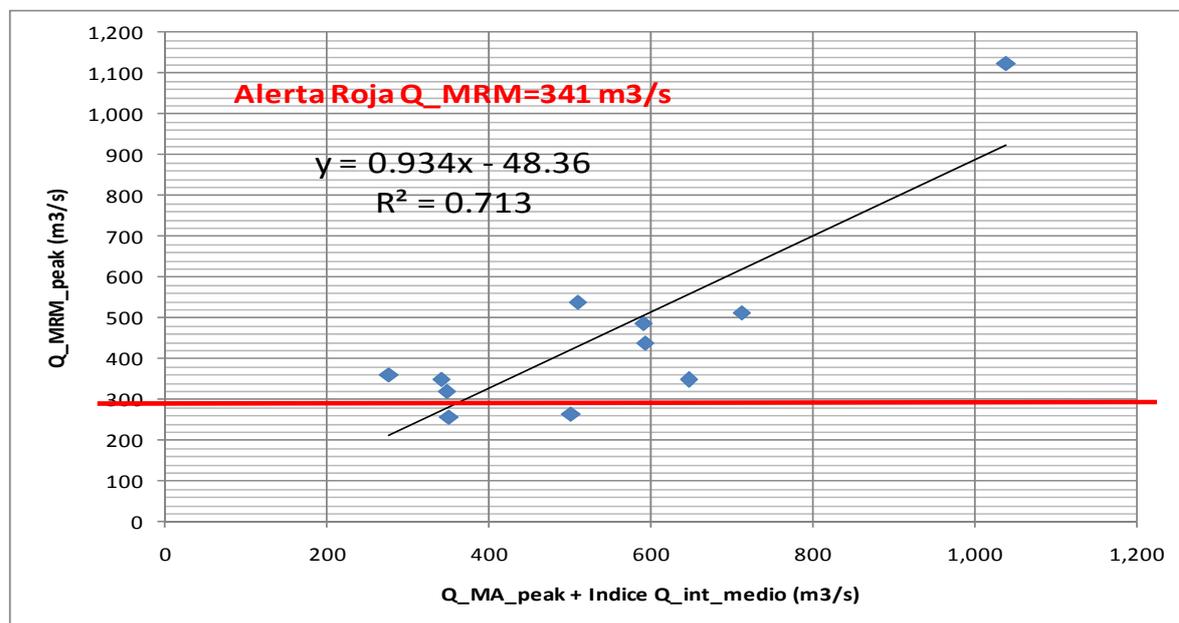
El gráfico de la Figura N° 6.29 muestra los datos de Q\_MRM, Q\_MA, IQ\_int, Q\_MA+IQ\_int, y Pp\_EH (5 barras por evento), para todos los eventos en que se contó con toda la información.

**Figura N° 6.29**  
**Valores de caudal y precipitación para distintos eventos de crecidas**



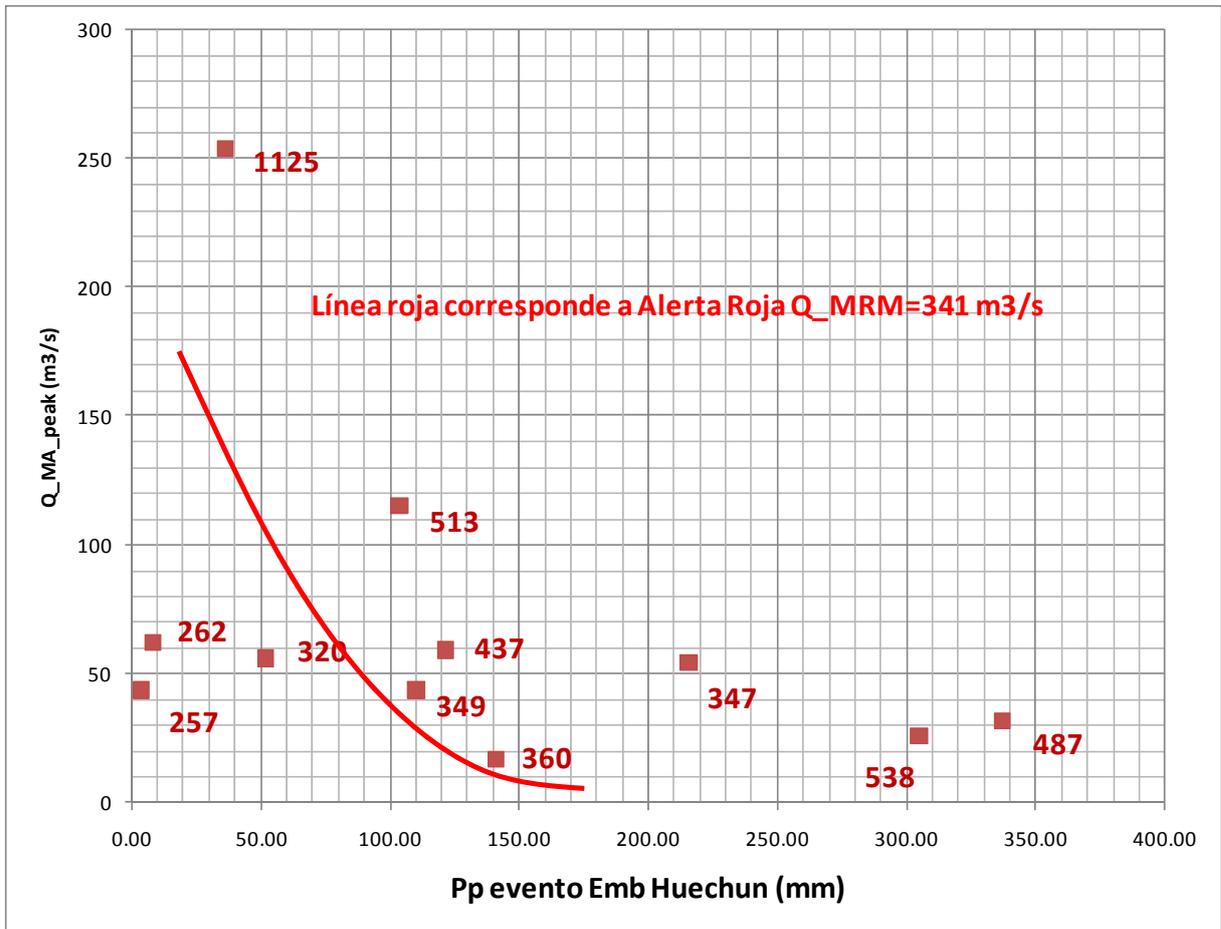
Luego para encontrar el óptimo valor del parámetro B se graficó la relación entre  $Q\_MRM$  y  $(Q\_MA+IQ\_int)$  encontrándose el mejor ajuste para el valor  $B = 0.6$ , valor que se conservó para proseguir el análisis.

**Figura N° 6.30**  
**Relación entre caudal en Mapocho en Rinconada de Maipú y suma de caudales en Los Almendros y cuenca intermedia**



Finalmente se graficó la relación entre el caudal  $Q_{MA}$  y la precipitación  $Pp_{EH}$ , parametrizada según el valor del caudal de crecida  $Q_{MRM}$ , de forma de encontrar la “curva umbral” que caracteriza las combinaciones inferiores necesarias de  $Q_{MA}$  y  $Pp_{EH}$  para lograr el caudal de alerta roja de 341 m<sup>3</sup>/s en Mapocho en Rinconada de Maipú. El resultado se grafica a continuación.

**Figura N° 6.31**  
**Relación entre caudal de Mapocho en Los Almendros y precipitación de Embalse Huechún**  
**Parametrizada por caudal de Mapocho en Rinconada de Maipú**



De acuerdo con lo señalado, resultan las siguientes combinaciones de Mapocho en Los Almendros con precipitación en Embalse Huechún, como umbral para Rinconada de Maipú:

**Cuadro N° 6.14**  
**Combinaciones de caudal en Mapocho en Los Almendros y precipitación en Embalse Huechún**  
**Que generan alerta roja en Rinconada de Maipú**

Pp_HE (mm)	Alerta Azul		Alerta Amarilla		Alerta Roja	
	Q_MA (m3/s)	Nivel (m)	Q_MA (m3/s)	Nivel (m)	Q_MA (m3/s)	Nivel (m)
<b>30</b>	75	2.20	120	2.56	<b>150</b>	<b>2.77</b>

<b>50</b>	54	1.96	86.4	2.30	<b>108</b>	<b>2.47</b>
<b>70</b>	37.5	1.72	60	2.05	<b>75</b>	<b>2.2</b>
<b>90</b>	24	1.49	38.4	1.74	<b>48</b>	<b>1.88</b>
<b>100</b>	18.5	1.38	29.6	1.59	<b>37</b>	<b>1.71</b>
<b>120</b>	11	1.20	17.6	1.36	<b>22</b>	<b>1.45</b>
<b>140</b>	5	0.99	8.0	1.10	<b>10</b>	<b>1.17</b>
<b>160</b>	3	0.91	4.8	0.98	<b>6</b>	<b>1.30</b>

Por otro lado, se sugiere revisar las relaciones de pronóstico a corto plazo propuestas en el estudio de la ref. 2.9, para implementarlas a nivel regional y operativizarlas a nivel central en el modelo de la oficina receptora satelital.

### **Estero Arrayán en La Montosa**

Daños en Junio 2002 en Santiago y Colina, con caudal 32.0 m<sup>3</sup>/s y altura en curva de descarga actual, de 2.47 m.

Daños en Julio 2006 en Lampa y Pirque, con caudal 19.3 m<sup>3</sup>/s y altura de 1.98 m.

No se reportaron daños en Mayo 2008 ni Agosto 2008, con caudal 18,2 m<sup>3</sup>/s y altura 1.94 m.

No se reportaron daños en Septiembre 2009, con 10.3 m<sup>3</sup>/s y nivel de 1.59 m.

Al igual que para el caso de Mapocho en Los Almendros, la elevación del caudal en esta estación permite alertar otras zonas no asociadas al cauce.

En relación con el propio cauce del estero Arrayán, los antecedentes permiten actualizar el umbral de alerta roja en unos 19 m<sup>3</sup>/s, equivalentes a una altura de 2.04 m. Con ello, los demás umbrales quedarían como sigue:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	8.0	15.2	19.0
Nivel en m	1.50	1.87	2.04

### **Maipo en El Manzano:**

Daños en San Gabriel en Mayo 2008, con caudal de 750 m<sup>3</sup>/s y altura de 4.51 m.

La crecida que generó los daños en San Gabriel, fue un evento que se insertó dentro del gran evento hidrometeorológico de Mayo 2008, pero no afectó el río Maipo propiamente tal. Por esta razón, se puede decir que no hay antecedentes como para modificar la alerta roja actual de 4.7 m (855 m<sup>3</sup>/s) en esta estación. Los umbrales quedarían como sigue:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja

Caudal en m <sup>3</sup> /s	428	684	855
Nivel en m	3.83	4.39	4.70

La DGA de la R.M. emitió el deseo de proteger la zona de Isla de Maipo con esta misma estación. Sin embargo no se tiene fechas de inundaciones recientes para este lugar. Además no hay estadística de caudales en alguna estación cercana como podría ser Maipo en El Rosario que solamente registró datos entre los años 1963 y 1967 y la estación Maipo en Naltahua que a pesar de estar vigente desde el año 1985 no registra ninguna estadística en el BNA.

Lo anterior implica que no hay forma de correlacionar los caudales de la zona amagada con los caudales de alguna estación de control ubicada aguas más arriba como Maipo en El Manzano.

Por otra parte, cabe mencionar los resultados del estudio de la ref. 2.9, donde se implementó una relación de corto plazo para el sector de Isla de Maipo. Esta relación se calcula en el punto de la estación Maipo en El Rosario en base al caudal de la estación Maipo en El Manzano y la precipitación en la estación Quinta Normal, logrando un tiempo de antelación de hasta 8 horas.

El caudal umbral para este sector, al momento de dicho estudio (1987), se fijó en base a antecedentes de inundaciones recolectados en esta localidad. Se mencionan las crecidas de Junio de 1982, Junio de 1986 y Julio 1987 que produjeron grandes daños, anegando extensas áreas de cultivo, dejando aisladas e inundadas varias localidades rurales debido a las inundaciones de caminos y cortes de puentes. La crecida ocurrida en Abril de 1980 provocó daños menores estimándose su caudal peak en 1500 m<sup>3</sup>/s, el que se adoptó como caudal umbral de daños para esta zona o caudal de alerta roja.

Sin embargo, como se ha expuesto más arriba, no se tiene ninguna curva de descarga en el sector amagado o cerca de él, de modo que no es posible relacionar este caudal con algún nivel en el río Maipo

Finalmente, y como conclusión, para poder proteger este sector se necesita:

- implementar una estación fluviométrica en Maipo en El Rosario o en Maipo en Naltahua, de modo de contar con una curva de descarga actualizada para el lugar.
- recolectar información de inundaciones recientes en esta zona, de manera de poder relacionarlas con algún caudal en la estación Maipo en El Manzano y determinar los niveles de alerta.
- implementar, actualizar y validar la relación propuesta en el estudio 2.9 para tener una relación de pronóstico en este punto.

Nota: Todos los umbrales deben ser verificados por la región previo a su implementación.

**VIª Región de O'Higgins****a) Situación actual**

Esta región cuenta con un sistema de alerta de crecidas, pero solamente en la parte alta de la cuenca del río Rapel. Lo constituyen 9 estaciones satelitales de las cuales:

- 3 son fluviométricas: Río Cachapoal en Puente Las Termas, Río Claro en Hacienda Las Nieves y Río Claro en El Valle
- 4 son fluviométricas y pluviométricas: Río Pangal en Pangal, Río Cachapoal 5 km bajo Cortaderal, Canal Sauzal en puente Las Termas, Río Tinguiririca bajo Los Briones
- 1 es nivométrica: Termas del Flaco
- 1 mide nivel de agua y calidad química: embalse Rapel en El Muro

Se ignora la forma en que se establecieron los umbrales pero se informa que se han actualizado por última vez el 10/02/09 en la región, y se enviaron por mail a la DGA central, donde hasta la fecha del presente estudio no habían sido actualizados. Ambos conjuntos de umbrales, el de la DGA central y el de la DGA regional, se presentan en el Cuadro Maestro.

**b) Solicitud de la región**

De acuerdo con lo expresado por la región, los umbrales estarían bien, aunque podrían ser revisados. Lo que realmente se necesita, es establecer el valor de los umbrales de la estación Cachapoal 5 km bajo Cortaderal, ya que se ha trasladado 2 km aguas arriba de su antigua ubicación. La región solicita establecer umbrales en esta estación, que permitan hacer de ésta una estación alternativa a la estación río Cachapoal en puente Las Termas para alertar la zona de la Panamericana.

No se requieren controlar más variables y no se necesita incluir estaciones no satelitales al sistema de alerta.

**c) Identificación de zonas amagadas**

Según la DGA regional, las zonas amagadas asociadas al sistema corresponden a la descarga del embalse Rapel, y a las poblaciones de areneros en las cercanías de la Ruta 5 Sur en los ríos Cachapoal y Tinguiririca. En mayo 2008 hubo desbordes del río Tinguiririca y en agosto del año 2009 en el Cachapoal, en las cercanías de la Ruta 5.

Complementariamente, a partir de los informes de frentes extremos editados por la Onemi, se ha obtenido la información de fecha, cauce desbordado, comuna y sectores amagados, del Cuadro N° 6.15:

**Cuadro N° 6.15**  
**Eventos extremos registrados por la ONEMI**

Julio 2006	<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

Mayo 2008	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 17 al 24 de Mayo 2008 "</i>			
Mayo 2008	VI	Río Clonqui	?	Camino entre Coya y Pangal
Mayo 2008	VI	Canal Quinaquina	Chépica	Sectores rurales
Mayo 2008	VI	Río Tinguiririca	San Fernando	Pedehue
Mayo 2008	VI	Río Tinguiririca	Placilla	Peñuelas y Villa Alegre
Mayo 2008	VI	Río Tinguiririca	Nancagua	Callejones
Mayo 2008	VI	Río Codigua	Codegua	La Leonera

#### d) Relaciones de pronóstico de corto plazo

No se usan relaciones de pronóstico a nivel regional, pero a nivel central se llevan a cabo los cálculos de relación de pronóstico para la estación:

- Río Cachapoal en Puente Arqueado en base a los datos de caudal de Río Cachapoal en Puente Arqueado y en Puente Termas. Se logra un tiempo de antelación máximo de 6 horas; se definió un valor umbral de 1500 m<sup>3</sup>/s en Río Cachapoal en Puente Arqueado para la alerta roja; este punto está asociado a las localidades con riesgo de inundación entre Olivar y El Peumo.

También existen relaciones de pronóstico a corto plazo establecidas para los siguientes puntos, y que no se calculan, ni a nivel central, ni a nivel regional:

- Río Cachapoal antes junta con Río Claro en base a los datos de caudal de Río Cachapoal en Puente Termas. Se logra un tiempo de antelación máximo de 6 horas; se definió un valor umbral de 750 m<sup>3</sup>/s en Río Cachapoal antes junta con Río Claro para la alerta roja; este punto está asociado a las localidades con riesgo de inundación entre Olivar y El Peumo
- Para el sector que presenta riesgo de inundación por el embalse Rapel, se definió una relación para la estación Río Rapel en Rapel en base al caudal de salida embalse Central Rapel donde se logra un tiempo de antelación máximo de 2 horas; se definió un valor umbral de 4500 m<sup>3</sup>/s en Río Rapel en Rapel para la alerta roja.

#### e) Solicitud adicional de la región

- Estudiar el Embalse Convento Viejo y su funcionamiento. La empresa concesionaria debiera entregar a la DGA un modelo de funcionamiento y del vaciado e informar oportunamente a la DGA de los eventos mayores de evacuación.
- Implementar con DCP de la estación meteorológica de Rengo.
- Las estaciones fluviométricas debieran construirse mejor, ya que muchas estaciones de las partes altas de las cuencas se las llevan las crecidas, y no cubren el evento. Hay que reconstruirlas todos los años, recalibrar la curva de descarga y redefinir los umbrales.

**f) Análisis y resultados**

No hay información de amagamientos como para revisar los umbrales de las estaciones

- Pangal en Pangal
- Claro en Hacienda Las Nieves
- Claro en el Valle

La estación de temperatura de Termas del Flaco se usa para determinar la altura de la isoterma cero grados para la VIª Región. De acuerdo con la Figura N° 4.2, hay un umbral establecido para una temperatura de -3 a -4°C, que define la altura de la isoterma 0°C en 2100 m, lo que sería un indicio de peligro de los caudales del Cachapoal y Tinguiririca.

No corresponde en este estudio establecer umbrales para niveles del embalse Rapel, porque la operación de los embalses es deliberada, y si hay vertimiento, éste puede y debe ser anunciado oportunamente, de modo que puedan tomarse las medidas del caso aguas abajo.

**Tinguiririca bajo Los Briones**

El año 2008 hubo dos crecidas registradas en esta estación:

Crecida de mayo 2008, caudal 373.4 m<sup>3</sup>/s con nivel de 3.22 m en la curva de descarga actual.

Crecida de septiembre 2009, que se registró hasta los 654 m<sup>3</sup>/s y nivel de 3.73 m, momento en que fue arrastrada la estación.

Umbral rojo actual: 3.85 m con 732 m<sup>3</sup>/s.

No hay antecedentes como para modificar este umbral.

**Cachapoal en Puente Termas**

Crecida de mayo 2008: caudal de 472.7 m<sup>3</sup>/s, con nivel de 4.34 m. Esta crecida no habría producido daños.

Crecida de septiembre 2009, con daños: el instrumento no estuvo operativo.

Umbral actual: 5.20 m con 834 m<sup>3</sup>/s.

No hay antecedentes como para modificar este umbral.

**Cachapoal 5 km bajo junta Cortaderal**

En la crecida de mayo del 2008, el registro alcanzó hasta un caudal de 522 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 4.92 m (4.80 m según curva de descarga actual), momento en que aparentemente fue arrasado el instrumento, y cambió la curva de descarga. El año 2009, la crecida de septiembre no está registrada por el instrumento.

Se sugiere establecer la altera roja en 300 m<sup>3</sup>/s o 3.32 m, (y actualizarla en la próxima crecida), y las alertas amarillas y azules en conformidad con el 80% y el 50% del caudal, respectivamente, como se presenta en el Cuadro adjunto.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	150	240	300
Nivel en m	2.46	3.03	3.32

**VIIª Región del Maule****a) Situación actual**

De acuerdo con los antecedentes entregados por la región, esta región tiene un sistema de alerta que está funcionando en base a 13 estaciones satelitales fluviométricas.

Los embalses no tienen umbrales definidos en la Región, y en la DGA central sólo hay un umbral azul inferior y superior, para la estación Laguna del Maule.

Los umbrales existentes se establecieron de acuerdo a emergencias de crecidas ocurridas en inviernos anteriores verificadas el año 2009.

**b) Solicitud de la región**

Los umbrales de la región no han sido actualizados en la DGA central. Según la región, todos los umbrales deberían ser revisados. También deberían definirse umbrales para las estaciones que se sugiere satelizar. Además, se solicita saber si puede asociarse caudales con la ubicación de la isoterma 0°C.

**c) Identificación de zonas amagadas**

La DGA regional indica la existencia de zonas amagadas cubiertas por el actual sistema de alerta, que son las siguientes:

- Romeral
- Lontué
- La Huerta
- Hualañé
- Licantén
- Talca
- San Javier
- Constitución
- Linares
- Teno

Complementariamente, el siguiente Cuadro N° 6.16 presenta los resultados de la revisión de los estudios de frentes extremos editados por la ONEMI, con fecha, cauce en el cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.16**  
**Eventos extremos Región VII registrados por ONEMI**

Mayo 2001	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Sur Mayo 2001 (14/05/01-31/05/01)"</i>			
Mayo 2001	VII	Canal Villa Francia	Talca	
Mayo 2001	VII	Canal El Dique	Constitución	
Mayo 2001	VII	Río Ancoa	Linares	
Julio 2001	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Centro Sur Julio 2001 (02/07/01-31/07/01)"</i>			
	Sistema frontal 2-4/07/01			

Julio 2001	VII	Río Ancoa	Linares	Roblería
Julio 2001	VII	Río Achibueno	?	Recoba
Sistema frontal 17-20/07/01				
Julio 2001	VII	Estero El Carbon	Constitución	
Julio 2001	VII	Esteros varios	Cauquenes	
Mayo 2002	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal Zona Norte Centro y Sur 24-27 Mayo 2002 "</i>			
Mayo 2002	VII	Estero Piduco	Talca	Campamento Lo Garcés
2005	<i>"Informe Consolidado Sistemas Frontales Sucesivos 10 Mayo a 15 Julio 2005 "</i>			
Junio 2005	27-29 Junio 2005			
Junio 2005	VII	Río Huapi	Pencahue	
Junio 2005	VII	Estero Las Juntas	Linares	
Junio 2005	VII	Río Perquillauquen	Parral	Isla Pencahue
Julio 2005	1-2 Julio 2005			
Julio 2005	VII	Río Loncomilla	Linares	Poniente Sifón
Julio 2006	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 10 al 13 de Julio 2006 "</i>			
Julio 2006	VII	Río El Durazno	Pelluhue	
Mayo 2008	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 17 al 24 de Mayo 2008 "</i>			
Mayo 2008	VII	Canales el Cartón y Baeza	Talca	
Mayo 2008	VII	Río Teno	?	Los Queñes
Mayo 2008	VII	Estero Botalcura	Pencahue	

#### d) Relaciones de pronóstico de corto plazo

Existen relaciones de pronóstico a corto plazo, que se calculan para dos puntos a nivel central, en la Oficina Receptora Satelital. Sin embargo, estas relaciones no se utilizan en la región:

- Río Mataquito en Licantén, en base a los datos de caudal de Río Teno después junta Río Claro, Río Upeo en Upeo, Río Palos antes junta Colorado, Río Colorado antes junta Palos. Se logra un tiempo de antelación máximo de 6 horas; se definió un valor umbral de 3850 m<sup>3</sup>/s en Río Mataquito en Licantén para la alerta roja; este punto está asociado al riesgo de inundación de la ciudad de Licantén.
- Río Maule en Constitución en base a los datos de caudal de Río Maule en Longitudinal, Río Claro en Talca, Río Loncomilla en Las Brisas y río Achibueno en Los Peñascos. Se logra un tiempo de antelación máximo de 6 horas; se definió un valor umbral de 9000 m<sup>3</sup>/s en Río Maule en Forel; este punto está asociado al riesgo de inundación de la localidad de Constitución.

En los estudios "Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales" desarrollados por BF Ingenieros Civiles para la DGA a fines de los años 80, existen otras dos relaciones de pronóstico a corto plazo, que no se calculan, ni a nivel central, ni a nivel regional, que están establecidas para los siguientes puntos:

- para la ciudad de Talca, Río Claro en Talca en base a los datos de caudal de Río Claro en

Camarico y Río Lircay en Las Rastras. Se logra un tiempo de antelación máximo de 6 horas; se definió un valor umbral de 2500 m<sup>3</sup>/s en Río Claro en Talca.

- para la ciudad de Linares, Río Ancoa en El Llepo en base a los datos de caudal de Río Ancoa en el Morro y precipitación de Embalse Ancoa. Se logra un tiempo de antelación máximo de 6 horas; se definió un valor umbral de 500 m<sup>3</sup>/s en Río Ancoa en El Llepo.

#### **e) Solicitud adicional de la región**

En opinión de la región, debieran agregarse al sistema de alerta de crecidas cuatro estaciones de nivel de embalse, que son: Laguna del Maule, Embalse Colbún, Embalse Digua y Embalse Tutuvén. Todas estas estaciones son satelitales, salvo Tutuvén. Para Colbún, la empresa entrega el dato de la descarga del embalse.

Hay zonas amagadas no cubiertas que no se especifican. Para cubrir estas zonas, se solicita equipar con DCP las siguientes estaciones: Desagüe Laguna del Maule, Río Maule en Los Baños, Río Claro en Camarico, Río Lircay en las Rastras y Río Perquilauquén en Ñiquén.

También está la inquietud de contar con una estación de respaldo de la estación Mataquito en Licantén, que se usa para alertar la ciudad de Licantén, y que en algunas oportunidades de crecidas ha sido arrastrada, quedando sólo estaciones muy altas con transmisión satelital, a veces también inaccesibles. La estación de respaldo debiera ubicarse en el río Mataquito después de la confluencia de los ríos Teno y Lontué.

Además, se sugiere implementar mediciones de temperatura y precipitación en las partes altas de las cuencas de forma de poder determinar la altura de la línea de nieve y el aporte pluvial de las cuencas intermedias.

#### **f) Análisis y resultados**

Por falta de antecedentes de amagamiento, y de relaciones de pronóstico de corto plazo, no se han podido revisar los umbrales de las siguientes estaciones:

- Maule en Longitudinal
- Maule en Armerillo
- Maule en Los Baños
- Melado en el Salto

Los umbrales que sí se han podido revisar corresponden a los siguientes, en base a la identificación de sectores dañados, y, cuando corresponde, a la existencia de una relación de corto plazo de BF.

#### **Teno después de Junta con Claro**

La crecida de Mayo 2008 de 1491.9 m<sup>3</sup>/s, con daño en Los Queñes, alcanzó un nivel de 5.35 m. En forma conservadora, se sugiere mantener el umbral de alerta roja en 4.30 m, correspondiente a unos 985 m<sup>3</sup>/s, y adaptar los demás umbrales correspondientemente.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	493	788	985
Nivel en m	3.11	3.84	4.30

### Palos antes junta con Colorado

La crecida de Mayo 2008, de 852.7 m<sup>3</sup>/s, generó daños con un nivel de 3.20 m. Se recomienda mantener el umbral de alerta roja de 2.50 m, correspondiente a un caudal de 400 m<sup>3</sup>/s, y adaptar los demás umbrales correspondientemente.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	200	320	400
Nivel en m	1.97	2.32	2.50

### Colorado antes junta Palos

La crecida de Mayo 2008, de 1770.5 m<sup>3</sup>/s, generó daños con un nivel de 5.97 m. Se sugiere no cambiar el umbral de alerta roja, establecido en 3.90 m, correspondiente a un caudal de 720 m<sup>3</sup>/s.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	360	576	720
Nivel en m	2.57	3.38	3.90

### Mataquito en Licantén:

No hay información de crecidas con daños en la actualidad. Se sugiere utilizar la relación de corto plazo establecida por BF. El umbral de alerta roja establecido en dicho estudio, es de 3850 m<sup>3</sup>/s, actualmente corresponde a un nivel de 7.62 m, que se compara con los 7 m establecidos como umbral de alerta roja en la actualidad. Se sugiere no cambiar el umbral establecido.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	1516	2355	3038
Nivel en m	5.50	6.40	7.00

### Loncomilla en Las Brisas

En base a los daños de la crecida de julio 2005 en Linares, de 2395 m<sup>3</sup>/s, y un nivel de 6,5 m, se sugiere bajar la alerta roja de 11.00 m a 6.50 m, y los demás umbrales, correspondientemente.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	1198	1916	2395
Nivel en m	4.93	5.95	6.50

**Ancoa en el Morro**

Hay dos crecidas del río Ancoa, que afectaron la comuna de Linares, una en Mayo 2001, de 380 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 3.12 m, y la otra en Julio 2001, de 442.5 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 3.36 m, que no generó ningún daño, y que no fue aquí una crecida extraordinaria, se sugiere no cambiar el umbral de alerta roja, actualmente de 3,50 m.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	239	382	478
Nivel en m	2.46	3.13	3.50

**Ancoa en El Llepo**

La estación hoy ya no existe.

**Achibueno en la Recova**

La crecida de Mayo 2001, con un caudal de 975,8 m<sup>3</sup>/s y un nivel de 2.67 m no generó ningún daño. La crecida de Julio 2001 amagó el sector de la Recova, con un caudal de 1330 m<sup>3</sup>/s y nivel de 3.04 m. Por ello, se sugiere no cambiar el umbral de alerta roja de 3.00 m.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	641	1025	1281
Nivel en m	2.27	2.74	3.00

**Longaví en la Quiriquina**

En base a los daños de la crecida de Julio 2005, de 1845 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 5.73 m,  
Crecida de mayo 2001, de caudal de 1910 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 5.82 m,  
Crecida de julio 2001, de caudal de 1775 m<sup>3</sup>/s y 5.63 m, hubo daño.  
Se sugiere mantener el mismo umbral de 5.40 m para la alerta roja.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	810	1300	1620
Nivel en m	4.01	4.90	5.40

**Claro en Rauquén**

Crecida de agosto 2001: caudal de 2099 m<sup>3</sup>/s, con nivel de 6.33 m,  
Crecida de agosto 2002, caudal de 1755 m<sup>3</sup>/s, con nivel de 5.68 m  
Crecida de junio 2005, caudal de 1674 m<sup>3</sup>/s, con nivel de 5.52 m  
Crecida de mayo 2008, caudal de 1855 m<sup>3</sup>/s, con nivel de 5.88 m  
Umbral Claro en Talca de BF: 2500 m<sup>3</sup>/s, con nivel actual de 7.00 m

No está claro que las crecidas hayan generado daño. Se sugiere mantener el umbral actual de 6.20 m.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	1013	1621	2026
Nivel en m	4.07	5.42	6.20

### Claro en Camarico

Crecida de agosto 2001: caudal de 884 m<sup>3</sup>/s, nivel de 4.86 m

Crecida de agosto 2002: caudal de 660 m<sup>3</sup>/s, nivel de 4.22 m

Crecida de junio 2005: caudal de 811 m<sup>3</sup>/s, nivel de 4.65 m

Crecida de mayo 2008: caudal de 1035 m<sup>3</sup>/s, nivel de 5.27 m

Se sugiere dejar el alerta roja en 4.22 m.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	330	528	660
Nivel en m	3.07	3.81	4.22

### Lircay en Puente Las Rastras

Crecida de agosto 2001: 721 m<sup>3</sup>/s, nivel de 8.81 m

Crecida de junio 2005: 455 m<sup>3</sup>/s, nivel de 7.88 m

Crecida de julio 2006: 1068 m<sup>3</sup>/s, nivel de 10.00 m

Se sugiere dejar el umbral rojo en 7.88 m.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	228	364	455
Nivel en m	6.87	7.5	7.88

### Maule en Constitución

No hay información de crecidas recientes. Se sugiere utilizar la recomendación de BF, de asumir un caudal umbral de alerta roja, de 9000 m<sup>3</sup>/s en Maule en Forel. El nivel correspondiente es de 12.47 m.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	4500	7200	9000
Nivel en m	9.0	11.2	12.47

### Perquillauquén en Ñiquén, no satelital

Para esta estación se hizo un análisis de las siguientes crecidas

Crecida de junio 2000, caudal de 1379 m<sup>3</sup>/s, nivel de 5.46 m  
 Crecida de mayo 2001, caudal de 1302 m<sup>3</sup>/s, nivel de 5.31 m  
 Crecida de agosto 2002, caudal de 1109 m<sup>3</sup>/s, nivel de 4.91 m  
 Crecida de junio 2005, caudal de 1031 m<sup>3</sup>/s, nivel de 4.74 m  
 Crecida de julio 2006, caudal de 1406 m<sup>3</sup>/s, nivel de 5.51 m  
 Crecida de mayo 2008, caudal de 2260 m<sup>3</sup>/s, nivel de 7.01 m.

El umbral de alerta roja se sitúa en el nivel de la curva de descarga actual correspondiente a la crecida de Junio 2005. Esta crecida generó daños con un caudal de 1031 m<sup>3</sup>/s, el que hoy tendría un nivel de 4.74 m. Se sugiere definir un umbral de alerta roja en 4.74 m, y los demás umbrales correspondientemente, según se desprende del cuadro adjunto.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	516	825	1031
Nivel en m	3.46	4.26	4.74

Nota: Todos los umbrales determinados deben ser verificados por la región antes de ser implementados.

### **Influencia de la temperatura en el caudal**

También se hizo un análisis de la influencia de la temperatura en el caudal, además de la precipitación.

Para este análisis se buscó asociar las siguientes variables:

- Caudal río Maule en los Baños
- Precipitación en Melado en el Salto y
- Temperatura en Lo Aguirre

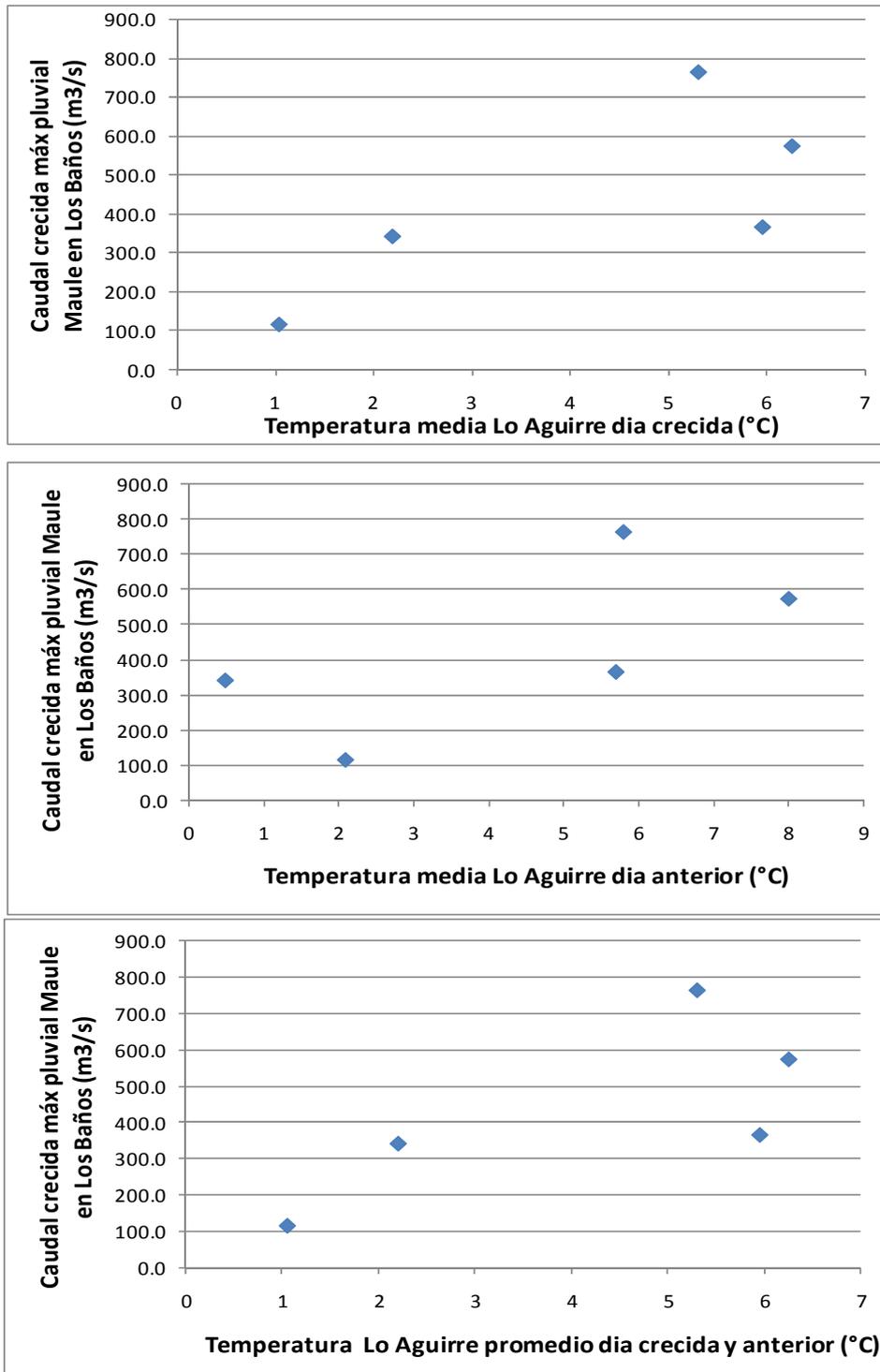
Aunque hay pocos datos de crecidas en la estación Maule en Los Baños, una relación simple entre el caudal de crecida y la temperatura del o de los días correspondientes, como la que se muestra en la Figura N° 6.32, permite apreciar que hay una asociación entre ambas variables.

Dicha tendencia se percibe mejor al graficar el caudal en función de un índice de temperatura, obtenido como el promedio de las temperaturas de cada día (mínima, media o máxima), ponderadas por el monto de precipitación de cada día en relación con la precipitación total del evento. En la Figura N° 6.33 se graficó el caudal de crecida en función de los índices de temperatura mínima, media y máxima. Cada punto del gráfico se etiquetó con la precipitación total del evento.

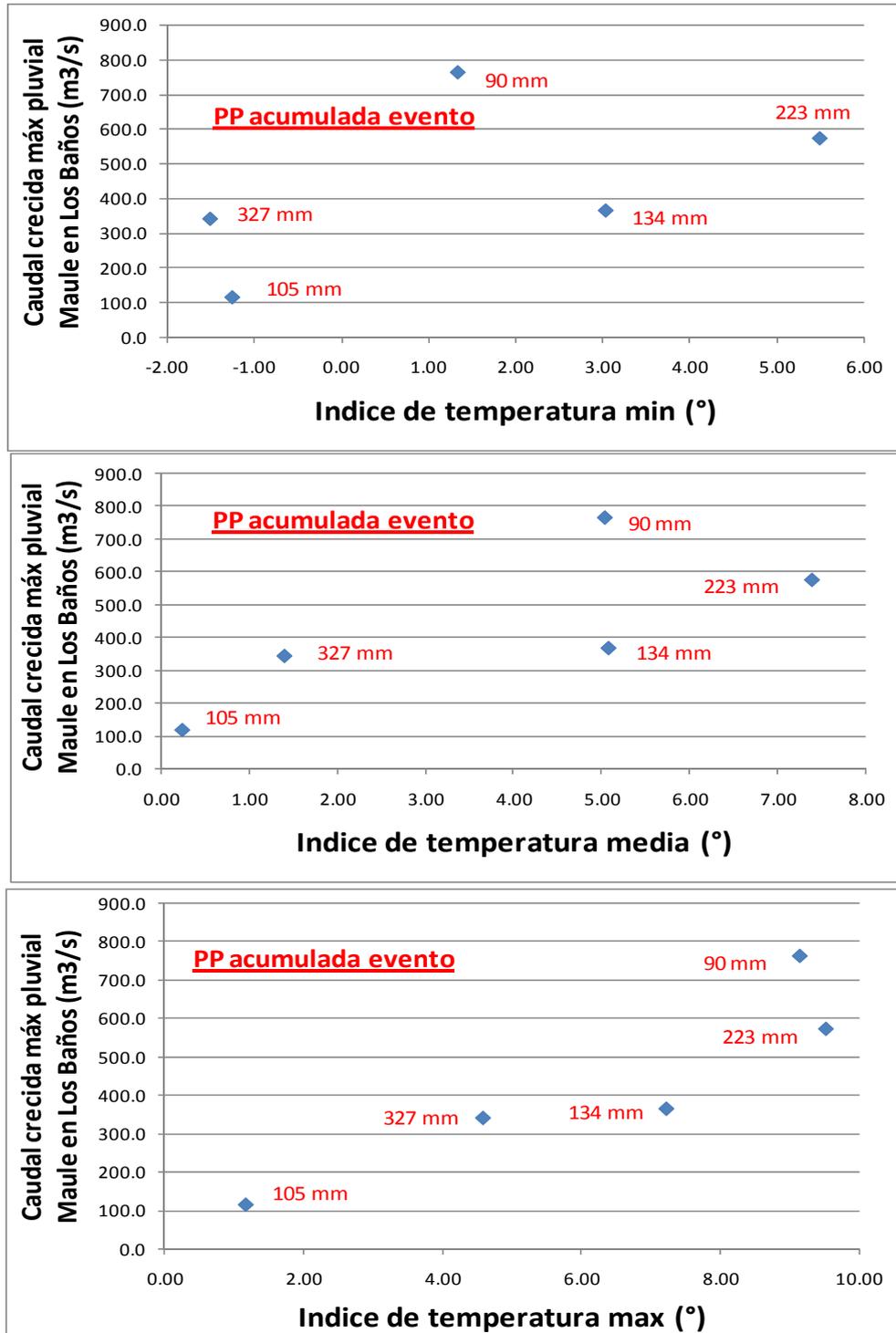
En estos gráficos se hace notoria la relación entre el caudal y los índices de temperatura máxima y media de los días del evento de precipitaciones, en forma prácticamente independiente del monto de la precipitación (para precipitaciones grandes, sobre 90 mm acumulados por evento). Esto significa que en un evento significativo de precipitación, para la generación de caudal juega un rol importante la temperatura máxima y por lo tanto también la temperatura media del evento, lo cual es lógico, porque se produce un aumento del área aportante pluvial.

Este análisis simple, que puede replicarse para otras combinaciones de estaciones, puede mostrar a partir de qué temperaturas se puede esperar determinados caudales umbrales (si se conocieran), si la precipitación acumulada supera un cierto valor (90 mm en este caso). Sin embargo, el análisis de la influencia de la temperatura debiera abordarse en profundidad con un estudio hidrológico más completo, que está fuera del alcance del presente estudio.

**Figura N° 6.32**  
**Relación entre la temperatura en Lo Aguirre y el caudal en Maule en Los Baños**



**Figura N° 6.33**  
**Relación entre índice de temperatura de Lo Aguirre, caudal en Maule en Los Baños e índice de precipitación en Río Melado en El Salto**



## VIIIª Región del Biobío

### a) Situación actual

Esta región tiene un sistema de alerta de 32 estaciones satelitales y 6 reglas limnimétricas con observadores. De las 32 estaciones satelitales, 28 son estaciones fluviométricas, 3 son estaciones meteorológicas (Alto Mallines, Embalse Ralco y Embalse Pangué) y 1 es una estación de medición de nivel de la Laguna del Laja.

Como se puede observar en el Cuadro Maestro, la mayoría de las estaciones cuenta con la definición de sus 3 umbrales de alerta azul, amarilla y roja, salvo la estación Laguna del Laja que tiene solamente valores umbrales azul (inferior y superior) y las estaciones siguientes que no tienen ninguno de sus umbrales definidos:

- Embalse Pangué
- Río Bío-Bío en Coihue
- Río Bío-Bío en Longitudinal
- Estero Hualqui en desembocadura R. Bío-Bío
- Río Duqueco en Cerrillos
- Estero Quilque en Los Angeles
- Estero Paillihue en ExLong. Sur
- Paillihue -Jta Duqueco (Mesamavida) (regla limnimétrica)
- La Suerte (regla limnimétrica)

Los umbrales se establecieron a principios de la década de los 90, principalmente en base al conocimiento de las situaciones de desbordes en determinados sectores en relación con los registros de las estaciones fluviométricas de la DGA. También en algunos casos se han utilizado levantamientos topográficos (referidos a las cotas de las reglas limnimétricas) elaborados por la DGA u otros servicios (DOH).

Los umbrales se actualizan en la medida que surgen nuevos antecedentes tanto de terreno como en función de información recogida de informes de la ONEMI, que permiten establecer nuevos valores de umbral.

En algunos de los canales tiene sentido definir umbrales ya que forman parte de la red urbana de drenaje (ej: Canal de La Luz en Chillán) y su eventual desborde está asociado a la afectación directa de viviendas o calles.

### b) Solicitud de la región

Lo que se solicita revisar, por un lado, son los umbrales asociados a precipitación que activan el sistema de alerta (caso E. Coihueco y Quilaco) en función de un análisis de registros históricos asociados por ejemplo a la crecida de los últimos 10 años versus la información que se pueda recoger en las oficinas provinciales y regionales de emergencia.

Por otro lado, se solicita definir umbrales en la estación Laja en Puente Perales, y en la estación río Vergara en Nacimiento, para alertar la localidad de Nacimiento que corresponde a un lugar amagado no cubierto por el sistema de alerta actual. En la crecida del 2006, el río destruyó uno de los puentes que comunica algunas localidades. Se sugiere que se podría tratar de encontrar alguna relación entre las 3 estaciones aguas arriba de esa localidad. Tal vez también se podría encontrar alguna relación con las

estaciones Bío-Bío en Coihue, en Longitudinal y en Rucalhue y/o encontrar en alguna de ellas el caudal que provocó el amagamiento de Nacimiento.

Nota del consultor: En el estudio de BF se analizó este punto (Nacimiento), que quedó finalmente declarado no apto para el pronóstico, al parecer porque en esta estación no se pudo validar la relación propuesta.

**c) Identificación de zonas amagadas**

La DGA regional entregó como zonas amagadas a alertar, la ciudad de Nacimiento, el año 2006.

Complementariamente, el siguiente Cuadro N° 6.17 presenta los resultados de la revisión de los estudios de frentes extremos editados por la ONEMI, con fecha, cauce en el cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.17  
Eventos extremos con daños registrados por la ONEMI**

Mayo 2001	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Sur Mayo 2001 (14/05/01-31/05/01)"</i>			
Mayo 2001	VIII	Río Andalién	Concepción	
Mayo 2001	VIII	Río Bío-Bío	Hualqui, Los Angeles, Santa Bárbara	
Julio 2001	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Centro Sur Julio 2001 (02/07/01-31/07/01)"</i>			
	Sistema frontal 2-4/07/01			
Julio 2001	VIII	Río Bío-Bío (descarga central Pangue)	Hualqui	
	Sistema frontal 17-20/07/01			
Julio 2001	VIII	Canal Quillaileo	Santa Bárbara	
Julio 2001	VIII	Río Itata	?	Camino Quillón-Nueva Aldea
Junio 2003	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal VII a XI Regiones 19-22 Junio 2003 "</i>			
Junio 2003	VIII	Río Bío-Bío	Hualqui	
	Alerta roja en río Bío-Bío y evacuación población ribereña comuna Hualqui			
2005	<i>"Informe Consolidado Sistemas Frontales Sucesivos 10 Mayo a 15 Julio 2005 "</i>			
Junio 2005	27-29 Junio 2005			
Junio 2005	VIII	Estero Huarilahue	Coelemu	
Julio 2005	1-2 Julio 2005			
Julio 2005	VIII	Río Bío-Bío	Hualqui	Pobl. 18 de Septiembre y Nueva Hualqui
Julio 2006	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 10 al 13 de Julio 2006 "</i>			
Julio 2006	VIII	Estero Nonguen	Concepción	Pobl. Tucapel Bajo, Pedro de Valdivia Bajo, O'Higgins y barrios universitario, Paicaví y Norte
Julio 2006	VIII	Estero La Araucana	Hualqui	
Julio 2006	VIII	Estero El Aguila	Hualqui	

Julio 2006	VIII	Estero Las Animas	Hualqui	
Julio 2006	VIII	Río Hualqui	Hualqui	
Julio 2006	VIII	Río Gallipavo	Bulnes	
Julio 2006	VIII	Río Cobquecura	Cobquecura	
Julio 2006	VIII	Río Coyanco	Quillón	
Julio 2006	VIII	Estero Pablo Neruda	Quirihue	
Julio 2006	VIII	Río Trilaleo	Yungay	El Molino
Julio 2006	VIII	Río Manco	Tucapel	
Julio 2006	VIII	Río Centinela	Tucapel	
Julio 2006	VIII	Río Bureo	Mulchén	Santa Laura
Julio 2006	VIII	Río Mulchén	Mulchén	Santa Laura
Julio 2006	VIII	Río Quilque	Los Angeles	
Julio 2006	VIII	Río Lebu	Lebu	Esmeralda, El Rosal, Las Parcelas, Pobl. La Colonia, José Miguel Carrera y Puerto Lebu
Julio 2006	VIII	Río Ramadilla	Arauco	
Julio 2006	VIII	Río Carampangue	Arauco	
Julio 2006	VIII	Río Pichilo	Arauco	
Julio 2006	VIII	Río Andalién	Concepción, Hualqui y Hualpen	
Julio 2006	VIII	Río Bío-Bío	Concepción, Hualqui y Hualpen	
Julio 2006	VIII	Varios canales	Varias localidades	
Mayo 2008	"Informe Consolidado Sistema Frontal 17 al 24 de Mayo 2008 "			
Mayo 2008	VIII	Estero Relbum	Pemuco	
Mayo 2008	VIII	Canales La Luz, El Canelo y Quinquhua	Chillán	
Mayo 2008	VIII	Canales Larqui Poniente y Santa Clara	Bulnes	
Mayo 2008	VIII	Río Ñuble	San Fabián	Quebrada, El Jote y Agua el Ganso
Mayo 2008	VIII	Río <b>Itata</b>	Trehuaco	KM 7 y 18
Mayo 2008	VIII	Río Cobquecura y canal Las Ranas	Cobquecura	La Reforma de Taucú y El Molino
Mayo 2008	VIII	Estero Ralún	Pemuco	Corte de caminos

#### d) Relaciones de pronóstico de corto plazo

En el estudio "Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales (Etapa I) VIIIª Región. BF Ingenieros Civiles, DGA, 1986" se analizaron los lugares amagados de la VIIIª Región y la red de medición para determinar la factibilidad de formular relaciones de pronóstico en distintos puntos de la

región. Como resultado del estudio, se formularon relaciones de pronóstico en todos los puntos que se señalan en el Cuadro N° 2.x del capítulo 2. Finalmente, se recomendó la implementación de las seis siguientes estaciones:

- Ñuble en Confluencia: Esta estación alerta el mismo lugar, se obtuvo una relación caudal-caudal basada en los datos de la estación pluviométrica Ñuble en Longitudinal, con una antelación de 4 horas. El caudal umbral para este punto quedó en 2600 m<sup>3</sup>/s.
- Ñuble en Longitudinal: Se usa para alertar el mismo punto. Se obtuvo una relación caudal – caudal usando los datos de la misma estación y de Ñuble en San Fabián. Se logra un tiempo de antelación de 4 horas. Para esta estación no se definió umbral.
- Biobío en Concepción y Biobío en Hualqui: La relación se calcula en la estación Biobío en Desembocadura, y se usa para alertar las ciudades de Concepción y de Hualqui, con una antelación de 4 a 6 horas. La relación es del tipo caudal-caudal, usando los datos de la misma estación, además de las estaciones BíoBío en Rucalhue, Duqueco en Cerrillos y Laja en Puente Perales. Esta última también se obtiene a partir de dos relaciones de pronóstico alternativas, una del tipo caudal-caudal en base a datos de Laja en Tucapel, con antelación de 4 a 6 horas, y la otra del tipo caudal-precipitación, en función de los datos de la propia estación y de la precipitación en Quilaco. Para Hualqui hay un umbral de caudal de alerta roja de 5841 m<sup>3</sup>/s, y para Concepción hay un umbral de nivel de 3.35 m.
- Bío-Bío en Santa Bárbara: Se calcula en la estación BíoBío en Rucalhue. Se obtiene el caudal en base a una relación del tipo Caudal-precipitación, a partir de los datos de la estación pluviométrica Quilaco. Se logra un tiempo de antelación de unas 4 horas. El caudal umbral para Biobío en Rucalhue se fijó en 4000 m<sup>3</sup>/s.
- Bío-Bío en Laja y Biobío en San Rosendo: La relación se calcula para Biobío en San Rosendo, en base a una relación del tipo caudal-caudal, con la estación Biobío en Rucalhue, Duqueco en Cerrillos y Laja en Puente Perales (el cual se calcula como arriba). Se estableció un caudal umbral de 1000 m<sup>3</sup>/s.

Para ellos, las fórmulas están programadas en el modelo de pronóstico que se maneja a nivel central, aunque ninguna de ellas está operativa.

En dicho estudio se definió también la operación del sistema de alerta, y específicamente su activación en función de un umbral de precipitación en las estaciones de Embalse Coihueco para la cuenca del Itata y Quilaco para la cuenca del BíoBío (umbrales de activación que la región pidió revisar con motivo del presente estudio). De acuerdo con el estudio de BF, en ambos casos la alerta se activa cuando, en un mismo evento, la precipitación alcanza los 85 mm, en un lapso que se extiende como máximo hasta 3 días (72 horas).

Según lo informado por la región, se utilizan relaciones de pronóstico a corto plazo, pero no se especifica para qué puntos se calculan.

**e) Solicitud adicional de la región**

De acuerdo con lo expresado por la región, se necesitarían formular relaciones de pronóstico de caudales en los siguientes puntos de interés en base a ecuaciones lo más simple y representativa posible con datos de fácil recolección (precipitación,  $t^{\circ}$ , niveles del río, nivel de embalse, nieve caída, etc.). Sin embargo, como se dijo arriba, y como se muestra en el Cuadro N° 2.1 para algunas de ellas ya existen relaciones, desarrolladas por BF, las que también se indican.

- Río Biobío en Hualqui (hay una relación para Biobío en desembocadura)
- Río Itata en Coelemu (hay una relación para Itata en Nueva Aldea)
- Río Ñuble en Riberas del Ñuble (hay relaciones para Ñuble en Longitudinal y Ñuble en Confluencia)
- Río Ñuble en Villa Illinois (hay relaciones para Ñuble en Longitudinal y Ñuble en Confluencia)
- Río Biobío en Rucalhue (hay relación para Biobío en Rucalhue)
- Río Biobío en Longitudinal (hay relación para Biobío en Rucalhue)
- Río Duqueco en Cerrillos (hay relación para Duqueco en Villucura)
- Río Biobío en Coihue (hay relación para Biobío en Coihue)
- Río Laja en Tucapel (no hay relación)
- Río Laja antes de Saltos del Laja (hay dos relaciones para Laja en Puente Perales)

Como sugerencia específica de la región, se propone uniformar la nomenclatura en relación a los colores de las alertas, es decir, Verde, Amarillo y Rojo, pues actualmente la DGA tiene en su sistema la nomenclatura Azul, Amarilla y Roja, que no es la recomendada por la OMM. Se sugiere a modo interno de la DGA, modificar el color azul por verde.

Se solicita además, equipar las siguientes estaciones:

- Embalse Coihueco y Quilaco (precipitación)
- Río Laja en Puente Perales
- Río Vergara en Nacimiento

Por último, se requeriría medir valores en línea de temperatura en la alta cordillera (para ir monitoreando la condición de la isoterma cero) y el nivel de nieve equivalente en agua en la cuenca alta del Río Itata (Volcán Chillán).

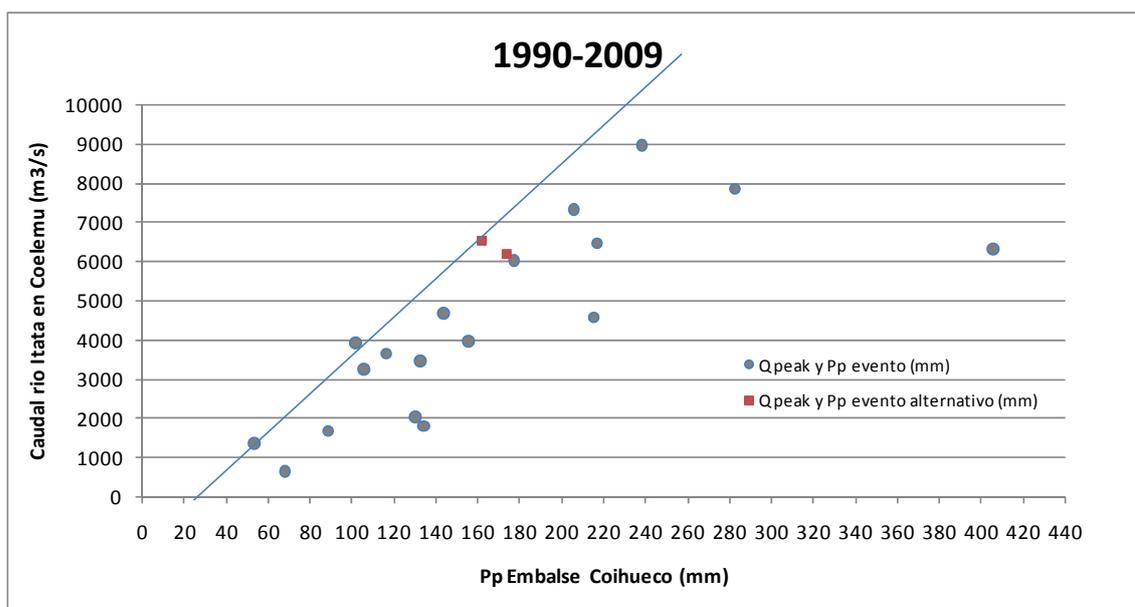
**f) Análisis y resultados****Revisión de umbrales de precipitación en Embalse Coihueco para alertar la cuenca del Itata**

Para la revisión de umbrales de precipitación, en primer lugar se intentó graficar los caudales extremos en función de la precipitación del día de la crecida, y de la precipitación acumulada en 2, 3, 4 y 5 días. Ninguno de estos gráficos permitió reconocer una relación clara entre caudales y precipitaciones, porque los puntos aparecen en forma de “nube”.

Sin embargo, observando los datos de precipitaciones, se entiende la razón de esto, y es porque los eventos de caudales extremos son generados por eventos de muy diversas duraciones, de entre 1 y 5 días. Por esta razón, para poder obtener una relación entre caudales y precipitaciones, hay que tomar la precipitación acumulada de los días del evento que generó el caudal.

Haciendo esto para cada evento de crecida máxima anual, desde 1990 hasta 2009, se llega a la relación de la Figura N° 6.34 para la estación Río Itata en Coelemu, que muestra la serie de caudales extremos máximos anuales, en función de la precipitación total del evento que las generó, en forma independiente de si este evento ha durado 1, 2, 3, 4 o 5 días.

**Figura N° 6.34**  
**Relación entre caudales extremos Itata en Coelemu y precipitaciones en Embalse Coihueco**

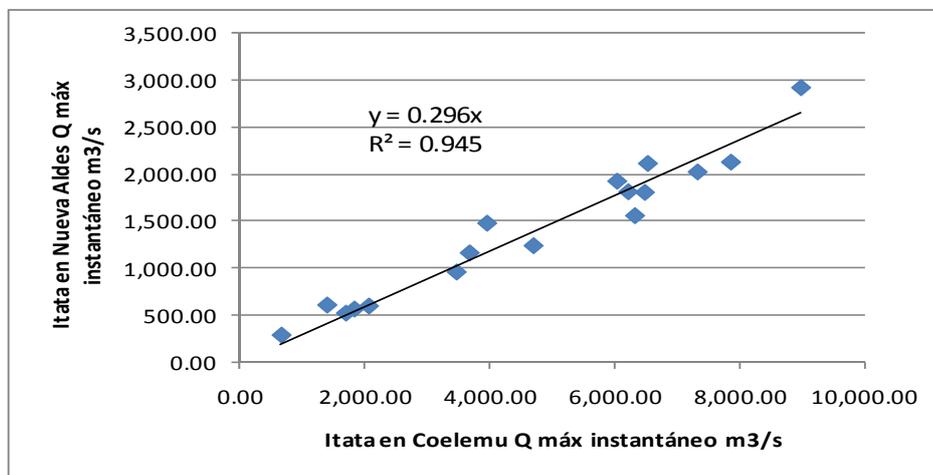


En este gráfico se trazó una recta que marca la crecida máxima que cada precipitación es capaz de generar. Por lo tanto, todas las crecidas generadas por una determinada precipitación, previsiblemente serán menores que lo que indica la recta. La recta constituye un umbral de delimitación de crecidas previsibles, a partir de una determinada precipitación.

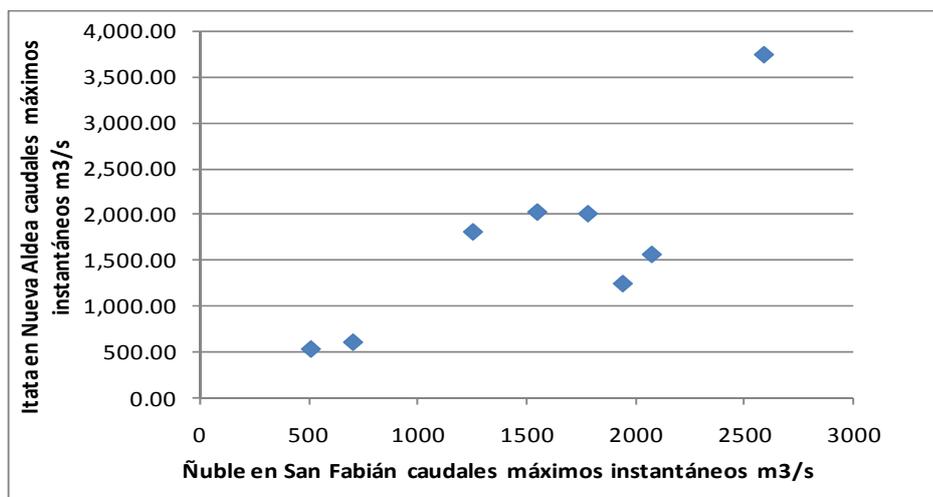
Para la estación Itata en Coelemu, no existe información de un caudal que genera daño, ni en los estudios de BF ni en la información recolectada para el presente estudio. Sin embargo, en el estudio de BF hay un dato de umbral rojo para Itata en Nueva Aldea, de 1700 m³/s, y en la ONEMI hay información reciente de daños en algunos puntos de la cuenca del río Ñuble, en dos fechas: Julio 2001 y Mayo 2008. La estación Ñuble en San Fabián sólo tiene el dato de Mayo 2008, que fue de 2096 m³/s. Para la crecida del 2001 no hay datos.

En base a estos antecedentes, se intentó relacionar los caudales máximos instantáneos en las tres estaciones, con los siguientes resultados:

**Figura N° 6.35**  
**Relación entre caudales máximos instantáneos de Itata en Coelemu e Itata en Nueva Aldea**

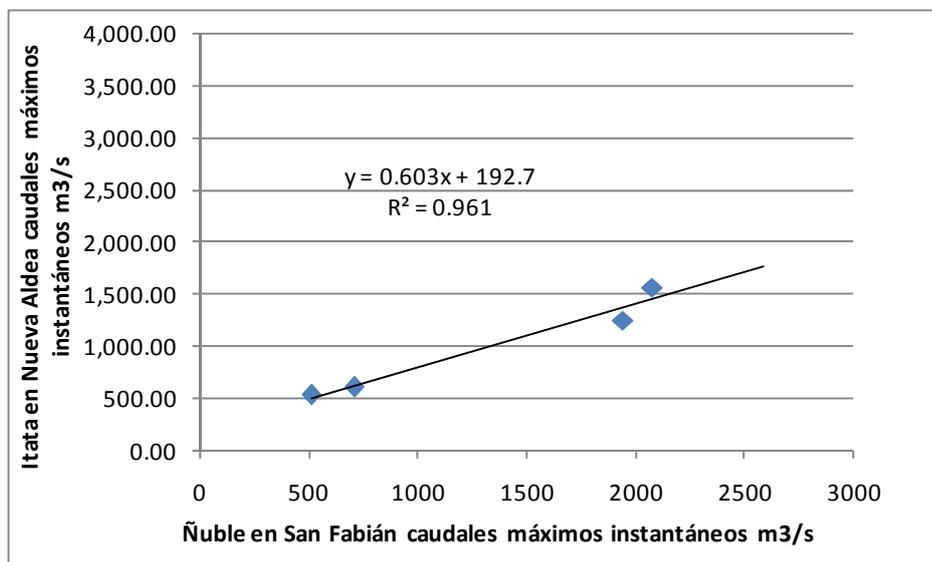


**Figura N° 6.36**  
**Relación entre caudales máximos instantáneos de Ñuble en San Fabián e Itata en Nueva Aldea**



En el segundo caso, por un lado, se contó con poca información de crecidas coincidentes de Ñuble en San Fabián con Itata en Nueva Aldea. Por otro lado, la información coincidente permite observar que no siempre ambos guardan una relación. Por esta razón, con fines de umbral, se consideraron las crecidas más pequeñas que se observan en el Itata en Nueva Aldea, cuando crece Ñuble en San Fabián. Ellas generan la relación que se observa en la Figura N° 6.37.

**Figura N° 6.37**  
**Relación entre crecidas de Ñuble en San Fabián y crecidas menores de Itata en Nueva Aldea**



A partir de estas relaciones, y con los datos de caudales que generan daño, se puede estimar que un caudal de 2096 m³/s en Ñuble en San Fabián, puede significar un caudal de 1450 m³/s en Itata en Nueva Aldea (este caudal es comparable con los 1700 m³/s identificados como umbral rojo en el estudio de BF). Este caudal, a su vez, significa un caudal de 4843 m³/s en Itata en Coelemu. Estos caudales serían umbrales rojos.

Los umbrales azules serían del orden de la mitad, esto es, entre 730 y 850 m³/s en Itata en Nueva Aldea, y de unos 2400 a 2500 m³/s en Itata en Coelemu.

Estos valores de caudal se pueden generar a partir de precipitaciones de unos 80 mm por evento, según se puede observar en la Figura N° 6.31. El evento puede tener 1, 2, 3 o 4 días de duración. Por lo tanto, es recomendable afinar el concepto del umbral, y activar el sistema de alerta en cuanto se acumulen 80 mm en un mismo evento, que puede durar 1, 2, 3 o 4 días. Si en cuatro días no se han acumulado 80 mm de precipitación, no se activará la alerta.

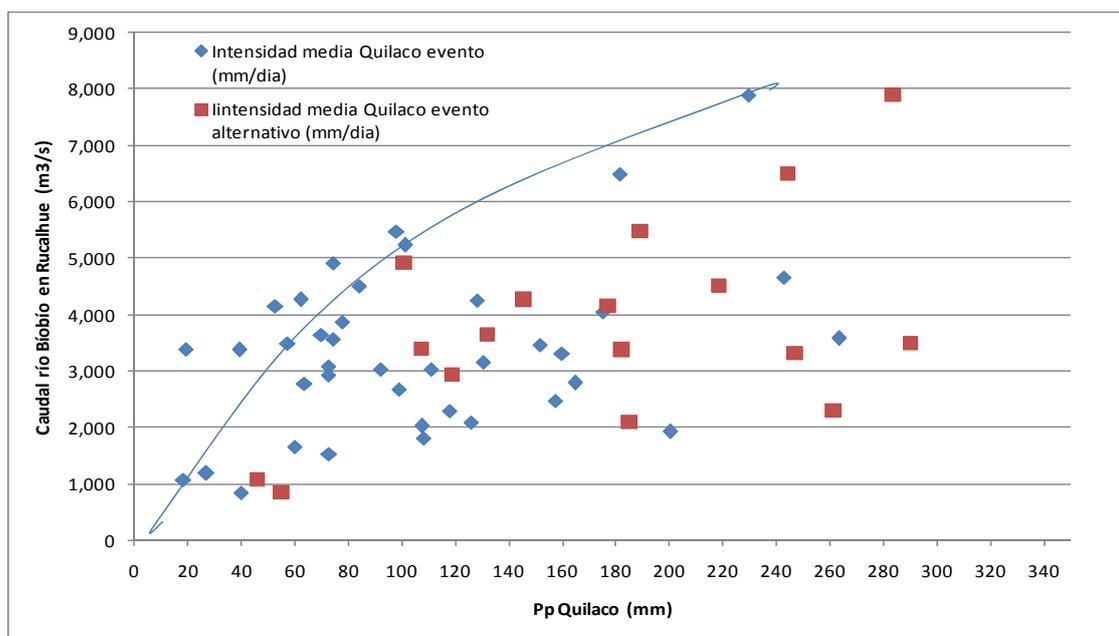
### **Revisión de umbrales de precipitación en Quilaco para alertar la cuenca del Biobío**

Como en el caso anterior, para la revisión de umbrales de precipitación, se graficó los caudales extremos de Biobío en Rucalhue, en función de la precipitación acumulada por evento, en la estación Quilaco. La duración de los eventos acumulados va desde 2 hasta 7 días.

Haciendo esto para cada evento de crecida máxima anual, desde 1990 hasta 2009, se llega a la relación de la Figura N° 6.38 para la estación Río Biobío en Rucalhue, que muestra la serie de caudales extremos máximos anuales, en función de la precipitación total del evento que las generó, en forma independiente de la duración del evento. Como a veces es difícil identificar el evento de precipitación que genera el

caudal, por ser muy largo, o por superponerse varios frentes, se grafica también una relación alternativa en la misma figura.

**Figura N° 6.38**  
**Relación entre caudales extremos Biobío en Desembocadura y precipitaciones en Quilaco**



En este gráfico se trazó una curva que marca la crecida máxima que cada precipitación es capaz de generar. Por lo tanto, todas las crecidas generadas por una determinada precipitación, previsiblemente serán menores que lo que indica la curva. La curva constituye un umbral de delimitación de crecidas previsibles, a partir de una determinada precipitación.

Para la estación Biobío en Rucalhue, el nivel de alerta roja se estableció en 5500 m³/s, como se puede observar más adelante. El caudal de alerta azul, por lo tanto, corresponde a 2750 m³/s, y se alcanza con una precipitación acumulada por evento, de alrededor de unos 40 mm.

Entre Biobío en Rucalhue y Biobío en Coihue hay un desfase típico de 8 horas, y entre Coihue y la desembocadura, de 19 horas.

#### **Definición de umbrales para Vergara en Nacimiento y Laja en Puente Perales**

Ambas estaciones son no satelitales.

#### **Estación Laja en Puente Perales**

No se registra daños por crecidas en el río Laja.

Sin embargo, hay una historia de crecidas para las mismas fechas en que se registran daños en el río Bío-bío bajo, que es la siguiente:

Julio 2001: Caudal de 2160 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 5.75 m

Junio 2003: Caudal de 2302 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 5.86 m

Julio 2005: Caudal de 1679 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 5.36 m

Julio 2006: Caudal de 2600 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 6.07 m

Mayo 2008: Caudal de 1551 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 5.24 m

Si bien no hay registro de daños para la crecida de 2006, se puede identificar ésta como el umbral de alerta roja, con los siguientes niveles de alerta asociados:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	1300	2080	2600
Nivel en m	4.99	5.69	6.07

### **Localidad de Nacimiento**

El río Vergara no cuenta con una estadística de caudales máximos instantáneos, ni en la estación de Nacimiento ni en Tijeral. Tampoco cuenta con curvas de descarga para ninguna de ambas estaciones.

Sin embargo, la alerta se puede establecer a partir del río Bío-bío. Para ello se analizaron las estaciones de Biobío en Coihue y en Rucalhue, con los siguientes resultados para las últimas grandes crecidas:

Biobío en Coihue:

Mayo 2001: Caudal de 7143 m<sup>3</sup>/s, nivel de 7.76 m

Julio 2001: sin dato

Junio 2003: Caudal de 7280 m<sup>3</sup>/s, nivel de 7.84 m

Julio 2005: Caudal de 3818 m<sup>3</sup>/s, nivel de 5.51 m

Julio 2006: Caudal de 11700 m<sup>3</sup>/s, nivel de 9.71 m

Biobío en Rucalhue:

Mayo 2001: Caudal de 5169 m<sup>3</sup>/s, nivel de 6.98 m

Julio 2001: Caudal de 5230 m<sup>3</sup>/s, nivel de 7.03 m

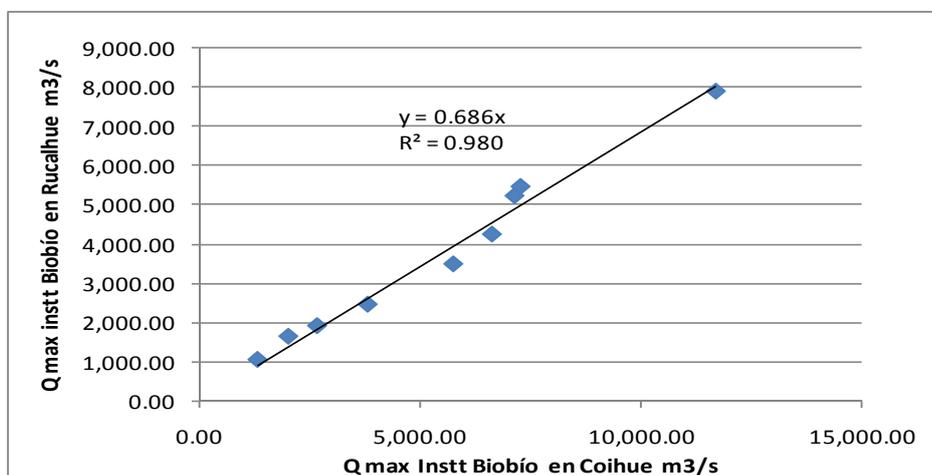
Junio 2003: Caudal de 5467 m<sup>3</sup>/s, nivel de 7.19 m

Julio 2005: Caudal de 2469 m<sup>3</sup>/s, nivel de 4.69 m

Julio 2006: Caudal de 7896 m<sup>3</sup>/s, nivel de 8.72 m

La Figura N° 6.39 muestra la relación que se observa entre los caudales máximos instantáneos para un mismo evento de ambas estaciones.

**Figura N° 6.39**  
**Relación entre caudales máximos instantáneos de Biobío en Coihue y Biobío en Rucalhue**



Se puede observar que las grandes crecidas hasta 5467 m³/s en Rucalhue y hasta 7280 m³/s en Coihue no afectaron la ciudad de Nacimiento, pero sí lo hizo la crecida de Julio 2006, que alcanzó casi 7900 m³/s en Rucalhue y 11700 m³/s en Coihue.

Lo señalado significa que el umbral de alerta roja se encuentra entre ambos valores, y podría establecerse, de forma conservadora, por ejemplo en 5500 m³/s para Rucalhue, lo que significa 8000 m³/s para Coihue. Los caudales de alerta azul y amarilla, por lo tanto, corresponderían al 50% y 80% del caudal respectivamente.

Los niveles correspondientes a estos caudales serían los siguientes, como se muestran también en el Cuadro Maestro:

#### Río Biobío en Rucalhue

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m³/s	2750	4400	5500
Nivel en m	4.97	6.41	7.21

#### Río Biobío en Coihue

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m³/s	4000	6400	8000
Nivel en m	5.65	7.32	8.18

Nota. Los umbrales propuestos deben ser revisados y validados en la región.

## **IXª Región de la Araucanía**

### **a) Situación del sistema de alerta actual**

En esta región hay un sistema de alerta que está funcionando en base a 5 estaciones satelitales:

- Río Cautín en Rariruca (asociada a las localidades de Lautaro y Pillanlelbún)
- Río Cautín en Cajón (asociada a las localidades de Temuco, Padre Las Casas y Labranza)
- Río Cholchol en Cholchol (asociada a las localidades de Nueva Imperial, Carahue y Puerto Saavedra)
- Río Toltén en Teodoro Schmidt (asociada a las localidades de Toltén y Nueva Toltén)
- Río Bío-Bío en Llanquén (asociada a localidades de la VIIIª Región)

Todas tienen sus 3 umbrales definidos. Cabe señalar que Biobio en Llanquén, pese a encontrarse en la IXª Región, pertenece al sistema de alerta de la VIIIª Región, y tiene sus umbrales definidos.

### **b) Solicitud de la región**

Los umbrales se establecieron en el año 1987 en base a estadísticas históricas y fueron actualizados en el año 2005. En la actualidad es necesario revisarlos debido al establecimiento de nuevas poblaciones.

Las localidades de Purén, Galvarino, Lumaco, Tranamán, Catripulli y Llafenco corresponden a zonas amagadas no cubiertas por el sistema actual; desde la región se sugiere utilizar las siguientes estaciones no satelitales para vigilarlas, para las cuales habría que definir umbrales:

Río Lumaco en Lumaco  
Río Quepe en Vilcún  
Río Allipén en Melipeuco  
Río Toltén en Villarrica  
Río Quepe en Longitudinal

De acuerdo con lo expresado por la región, no se requeriría controlar más variables, ni satelizar estaciones existentes.

### **c) Identificación de lugares amagados**

Aunque la DGA aportó lugares que se amagarían, no hay información de fechas de eventos recientes en que ello efectivamente haya ocurrido. Solamente hay conocimiento sobre un gran evento de crecidas, en Septiembre 2008, en que hubo problemas de inundación en zona urbana de Temuco debido al canal Pichi-Cautín.

Complementariamente, se recogió la información de inundaciones de la ONEMI. El siguiente cuadro presenta los resultados de la revisión de los estudios de frentes extremos editados por la ONEMI: fecha, cauce en cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.18**  
**Eventos extremos consolidados por ONEMI para Región IX**

Mayo 2001	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Sur Mayo 2001 (14/05/01-31/05/01)"</i>			
Mayo 2001	IX	Río Carén	Melipeuco	
Mayo 2001	IX	Río Cruces	Loncoche	
Mayo 2001	IX	Río Trancura	Curarrehue	
Mayo 2001	IX	Estero Huicatio	Villarica	
Julio 2001	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Centro Sur Julio 2001 (02/07/01-31/07/01)"</i>			
	Sistema frontal 2-4/07/01			
Julio 2001	IX	Río Purén	Purén	Isla Boyeco y Lolenco
	Sistema frontal 8-9/07/01			
Julio 2001	IX	Río Imperial	Carahue	Taife-Lolocura
Julio 2001	IX	Río Centinela	Carahue	Trovolhue-San Juan
Julio 2001	IX	Río Malleco	Ercilla	?
Octubre 2002	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal IX y X Regiones 11-13 Octubre 2002 "</i>			
Octubre 2002	IX	Río Trancura	Curarrehue	
Octubre 2002	IX	Río Cruces	Loncoche	
Octubre 2002	IX	Río Donguil	Gorbea	
Octubre 2002	IX	Río Huillío	Teodoro Schmidt	
Octubre 2002	IX	Río Imperial	Carahue	
Octubre 2002	IX	Río Centinela	Carahue	
Octubre 2002	IX	Río San Juan	Carahue	
Julio 2006	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 10 al 13 de Julio 2006 "</i>			
Julio 2006	IX	Río Purén	camino a sectores Chacayal y Tranaman	
Julio 2006	IX	Río Trancura	Curarrehue	Catripulli
Julio 2006	IX	Río Centinela	Carahue	Trovalhue
Julio 2006	IX	Río Allipén	Freire	
Julio 2006	IX	Río Boldo	Toltén	Pirén, Cudaco, Frutillar, El Trome y Portal Queule
Julio 2006	IX	Estero Pirén	Toltén	Pirén, Cudaco, Frutillar, El Trome y Portal Queule
Julio 2006	IX	Río Cautín	Padre las Casas	
Julio 2006	IX	Río Quepe	Padre las Casas	
Julio 2006	IX	Río Malleco	Collipulli	
Julio 2006	IX	Río Renaico	Collipulli	
Julio 2006	IX	Río Cautín	Temuco	
Julio 2006	IX	Estero Pichi	Temuco	

Julio 2006	IX	Río Trancura	Pucón	Dolguin, Quilaco, Menetue, San Luis y Relicura
Julio 2006	IX	Río Blanco	Curacautín	
Julio 2006	IX	Río Traiguén	Traiguén	
Julio 2006	IX	Río Vergara	Renaico	Tolpan
Julio 2006	IX	Río Muco	Lautaro	
Julio 2006	IX	Estero Dollinco	Lautaro	
Julio 2006	IX	Estero Alhueco	Lautaro	
Julio 2006	IX	Estero Peu-Peu	Lautaro	
Julio 2006	IX	Río Damas	Carahue	
Julio 2006	IX	Río Imperial	Carahue	
Mayo 2008	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal 17 al 24 de Mayo 2008 "</i>			
Mayo 2008	IX	Estero Loco	Melipeuco	Corte de camino Flor del Valle-Carén
Mayo 2008	IX	Río Carén	Melipeuco	Socavón en camino Cumcumllaque-Flor del Valle
Mayo 2008	IX	Río Damas	Carahue	

El año 2008 hubo 4 sistemas frontales muy grandes en la Araucanía, con fechas 16 de Mayo, 14 de Julio, 26 de Agosto y 01 de Septiembre. Todos ellos, cada uno en diferentes localidades, generaron grandes daños en cuanto a damnificados y casas inundadas, especialmente en las comunas costeras.

Para facilitar su análisis, todas las zonas que han podido ser identificadas como afectadas, se ubicaron en la cobertura SIG llamada zonas\_amagadas.shp.

#### d) Relaciones de pronóstico de corto plazo

En el estudio "Investigación de Sistemas de Alerta de Crecidas Fluviales IXª Región (Etapa II). BF Ingenieros Civiles, DGA, 1986" se analizaron los lugares amagados de la Región y la red de medición para determinar la factibilidad de formular relaciones de pronóstico en distintos puntos de la región. Como resultado del estudio, se formularon relaciones de pronóstico en todos los puntos que se señalan en el Cuadro N° 2.x del capítulo 2. Se validaron tres de las cuatro relaciones propuestas, para las cuales finalmente se recomendó la implementación. Dichas estaciones son:

##### - **Cholchol en Cholchol.**

El punto de calibración corresponde al mismo lugar amagado. Se obtuvo una relación del tipo caudal-caudal con datos de Lumaco en Lumaco y Chufquén en Chufquén. El tiempo de desfase es de 10 horas. El umbral de alerta roja para Cholchol en Cholchol es de 1300 m<sup>3</sup>/s.

##### - **Cautín en Temuco**

La zona amagada es la ciudad de Temuco. El caudal en Temuco se calcula en base a un traslado del caudal en Cautín en Cajón. El caudal de Cautín en Cajón se obtiene de una relación del tipo caudal-caudal, a partir de los caudales de Cautín en Rariruca, con un desfase de entre 7 y 10 horas. El umbral de alerta roja en Temuco 900 m<sup>3</sup>/s.

- **Imperial en Carahue**

Se calcula una relación del tipo caudal-caudal a partir de Cautín en Cajón, Quepe en Quepe y Cholchol en Cholchol. El desfase es de 6 horas, y el umbral de alerta roja en Carahue es de 2600 m<sup>3</sup>/s.

Además, se establecieron umbrales de precipitación, para activar las alertas, que activan el sistema de alerta de caudales cuando la precipitación en 72 horas (o en su defecto de 3 días) supera un valor umbral de

- 60 mm en la estación pluviométrica Lumaco para la cuenca del río Chol-Chol,
- 60 mm en la estación pluviográfica Cerro Nielol para la cuenca del río Cautín y
- 60 mm en cualquiera de estas 2 estaciones para la cuenca del río Imperial

e) **Solicitudes adicionales de la región**

Se sugiere agregar estaciones en  
Toltén en Pitrufrquén  
Trancura Junta Maichín (en Curarrehue).

f) **Análisis y resultados**

El trabajo realizado tiene dos aspectos, la revisión de los umbrales existentes y el establecimiento de umbrales en estaciones no satelitales, que hoy no poseen umbral.

En cuanto a la revisión de los umbrales existentes, se obtuvo los caudales y niveles para las fechas en que se reporta daño por parte de la ONEMI. Ellos son los siguientes.

**Río Cholchol en Cholchol**

Daños en diversos puntos de la cuenca, en las fechas  
Julio 2001, sin dato  
Julio 2006: Caudal 1283 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 11.07 m.  
Septiembre 2008: 1616 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 13.35 m.

El nivel de alerta roja en esta estación es de 9.33 m. Los antecedentes presentados no permiten tomar decisiones de modificación de este umbral. Los umbrales amarillo y azul correspondientes serían los siguientes:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	519	830	1037
Nivel en m	5.50	7.82	9.33

**Lumaco en Lumaco**

Cercano a Cholchol, y en base a los mismos eventos, se puede establecer un umbral en la estación Lumaco en Lumaco: Las crecidas con daños son las siguientes:

Julio 2001: 126 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 5.05 m en la CD actual

Octubre 2002: 122 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 5.00 m en la CD actual  
 Julio 2006: 190 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 5.78 m en la CD actual  
 Septiembre 2008: 258 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 6.30 m en la curva de descarga actual.

Los daños del año 2001 permiten ubicar un nivel de alerta roja en un caudal de 122 m<sup>3</sup>/s, correspondientes a una altura de 5.00 m-

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	61	98	122
Nivel en m	3.74	4.58	5.0

### Río Cautin en Rari-Ruca

Daños en diversos puntos a lo largo del río Cautín, en

Julio 2001: 723.6 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 3.91 m

Julio 2006: 791 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 4.17 m

El nivel actual de alerta roja, de 3.80 m, parece adecuado, y no hay antecedentes como para modificarlo.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	348	556	695
Nivel en m	2.44	3.26	3.80

### Río Cautin en Cajón

Daños en diversos puntos a lo largo del río Cautín, en

Julio 2001: Caudal de 1385 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 3.96 m

Octubre 2002: Caudal de 1251 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 3.75 m

Julio 2006: Caudal de 1934 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 4.75 m

Septiembre 2008: Caudal de 1395 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 3.97 m

A la luz de estos eventos, el umbral de alerta roja actual, de 4.27 m, parece elevado, y debiera bajarse a 3.75 m correspondiente a un caudal de 1250 m<sup>3</sup>/s, y coherentemente los caudales umbrales amarillo y azul según se muestra en el cuadro adjunto y también en el Cuadro Maestro.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	625	1000	1250
Nivel en m	2.69	3.36	3.75

**Río Toltén en Teodoro Schmidt**

Daño en afluentes al Toltén y en las localidades de Nueva Toltén y Toltén.

Julio 2001: no hay datos satelitales

Octubre 2002: no hay datos satelitales

Julio 2006: Caudal de 3808 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 5.14 m

El actual nivel de alerta roja, de 4,72 m, no puede ser modificado en función de los antecedentes existentes.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	1503	2404	3005
Nivel en m	3.68	4.36	4.72

En cuanto a la definición de umbrales en estaciones no satelitales, se tiene lo siguiente:

**Quepe en Vilcún**

Se puede establecer a partir de los daños de:

Julio 2001: Caudal máximo en junio, de 360 m<sup>3</sup>/s, fuera de la curva de descarga actual.

Octubre 2002: Caudal de 216 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 2.70 m en la CD actual

Julio 2006: Caudal de 286 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 3.21 m en la CD actual

Septiembre 2008: 300 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 3.30 m en la CD actual.

De acuerdo con los antecedentes presentados, se puede establecer un umbral de alerta roja para un caudal de 216 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 2.70 m, y los umbrales amarillo y azul en la forma que se indica.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	108	173	216
Nivel en m	1.80	2.36	2.70

**Quepe en Longitudinal (o Quepe en Quepe)**

se puede establecer a partir de los daños

en la propia cuenca y en la cuenca del Imperial, en las siguientes fechas.

Julio 2001: Caudal menor que 530 m<sup>3</sup>/s máximo anual en mayo, correspondiente a un nivel de 2.93 m

Octubre 2002: Caudal de 1529 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 4.71 m

Julio 2006: Caudal de 941 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 3.82 m.

Septiembre 2008: 1416 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 4.55 m.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	265	424	530
Nivel en m	2.00	2.6	2.93

### Allipén en Melipeuco

No es un sector que se vea fuertemente afectado por los eventos de crecida. En los grandes eventos del 2008 quedó aislado, sin damnificados. Sin embargo, en los frentes grandes, un elevado caudal en este sector se suma a los caudales generados en el resto de la cuenca, y finalmente genera gran daño aguas abajo a la salida de la cuenca del Toltén. En ese sentido, se puede establecer un umbral a partir de los daños del frente de Mayo 2001, Mayo 2008 y Septiembre 2008.

Mayo 2001: Caudal de 502 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 2.87 m en la CD actual

Septiembre 2008: 399 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 2.70 m en la CD actual.

A partir de estos antecedentes, se puede establecer un umbral rojo para un caudal de 400 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 2.70 m, con los umbrales azul y amarillo correspondientes.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	200	320	400
Nivel en m	2.22	2.53	2.70

### Toltén en Villarrica (mejor: Trancura en Curarrehue)

El río Toltén no presenta eventos de inundación aguas abajo de Villarrica, aunque sí aguas arriba de él, en varios tramos del río Trancura. Por esta razón, se considera más conveniente seleccionar una estación de alerta aguas arriba del lago Villarrica, en el Trancura alto, específicamente Trancura en Curarrehue, en vez de la de Toltén en Villarrica.

Para la estación Trancura en Curarrehue, los eventos mayores que aparentemente generaron algún tipo de daño, fueron los siguientes:

Mayo 2001: Caudal máximo anual en junio, 313 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 6.66 m

Octubre 2002: Caudal de 345 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 7.07 m.

Julio 2006: Caudal de 295 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 6.43 m.

Septiembre 2008: Caudal de 311 m<sup>3</sup>/s con un nivel de 6.63 m.

De acuerdo con lo señalado, se puede establecer el umbral de alerta roja en un caudal de 295 m<sup>3</sup>/s, con una altura actual de 6.43 m. Los demás niveles de alerta se establecen correspondientemente.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	148	236	295
Nivel en m	4.28	5.62	6.43

**XIVª Región de Los Ríos****a) Situación actual**

Esta región no cuenta con un sistema de alerta, solamente con 2 estaciones satelitales:

- Desagüe lago Pirihueico, sin umbrales y sin riesgo de crecidas por encontrarse ubicada en el desagüe del lago Pirihueico.
- Río Cruces en Rucaco, con umbrales definidos para las alertas azul, amarilla y roja (dato entregado por la DGA central). Los umbrales habrían sido establecidos por parte de la Dirección Regional el año 2008 cuando el río pasó sobre la Ruta 5 Sur, y corroborados con los eventos del año 2009.

**b) Solicitud de la región**

La región solicita validar el umbral existente en la estación Cruces en Rucaco, y establecer umbrales en las estaciones San Pedro en desagüe Lago Riñihue, para cubrir zonas de la comuna de Los Lagos donde el río San Pedro genera anegamientos en la actualidad.

No se necesitan medir otras variables como temperatura.

**c) Identificación de eventos de inundación**

La DGA regional no ha aportado eventos específicos de inundaciones, por lo cual se recopiló la información de la ONEMI.

El siguiente cuadro presenta los resultados de la revisión de los estudios de frentes extremos consolidados por la ONEMI, con información de fecha, cauce en el cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.19  
Eventos extremos consolidados por ONEMI para la Región XIV**

Julio 2001	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Centro Sur Julio 2001 (02/07/01-31/07/01)"</i>			
	Sistema frontal 8-9/07/01			
Julio 2001	XIV	Río Llollehue	La Unión	Población Osvaldo Real y sector Foitzick
Octubre 2002	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal IX y X Regiones 11-13 Octubre 2002 "</i>			
Octubre 2002	XIV	Río San Pedro	Los Lagos	
Octubre 2002	XIV	Esteros Nanguil	Panguipulli	
Octubre 2002	XIV	Río Leufucade	Lanco	
Octubre 2002	XIV	Río Iñaqui	Mafil	
Octubre 2002	XIV	Río Calcarrupe	Lago Ranco	

**d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

En el estudio de Brown y Ferrer, “Investigación de sistemas de pronóstico de corto plazo, IXª y Xª Región, Etapa I”, se analizó la factibilidad de establecer relaciones para varias localidades del río Cruces, río Calle Calle en Valdivia y Río Llollehue en La Unión. Ninguna de las relaciones fue factible de implementar, por falta de estaciones adecuadas, por lo cual en dicho estudio quedó la recomendación de instalar diversas estaciones que permitieran establecer relaciones en el futuro.

Algunas de dichas estaciones aún no se implementan, y parcialmente son las que la región está solicitando.

#### **e) Solicitudes adicionales de la región**

Se solicita la revisión del umbral de caudal mínimo (azul inferior) en la estación Cruces en Rucaco, ya que la planta de celulosa Valdivia se encuentra condicionada para un caudal de 6 m<sup>3</sup>/s.

Por otra parte, hay localidades que se anegan, son las localidades de La Unión y Purulón (ríos Llollehue y Leufucade respectivamente), para cuyo control se solicita implementar las estaciones Río Llollehue en puente La Unión y Río Leufucade en puente Purulón respectivamente, ambas satelitales. La estación Río Llollehue en puente La Unión se instaló en Julio de 1926, pero se suspendió en marzo de 1941.

Además, se solicita satelizar la estación San Pedro en desagüe lago Riñihue.

#### **f) Análisis y resultados**

##### **Río Cruces en Rucaco**

Se analiza la crecida de Septiembre 2008, que amagó la Ruta 5. Tiene un caudal de 977 m<sup>3</sup>/s, y corresponde al mayor valor de caudal máximo instantáneo anual del registro, que tiene 11 años de duración. Le corresponde un nivel de 5.31 m.

El umbral actual de alerta roja está establecido en 726 m<sup>3</sup>/s, con un nivel de 4.50 m. Esta crecida ha sido sobrepasada en 5 de los 11 años en que existe estadística, en los años 2000, 2002, 2004, 2006 y 2008, la mayoría de ellos con caudales sobre 800 pero bajo 870 m<sup>3</sup>/s. De acuerdo con la información recopilada, no habría antecedentes de daño para las crecidas de estos años, por lo cual el nivel de alerta roja podría subirse.

Se propone dejar las alertas como sigue:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	425	680	850
Nivel en m	3.41	4.34	4.91

##### **Río San Pedro en desagüe Lago Riñihue**

Se analiza para la crecida de octubre 2002, con el siguiente resultado: La crecida de octubre 2002 está dentro de los tres mayores caudales máximos instantáneos anuales de los últimos 25 años, es decir, efectivamente fue una crecida muy grande en la zona.

Para esa crecida se tiene:

Caudal 1890 m<sup>3</sup>/s, nivel 5.01 en la curva de descarga actual.

Con esto se puede establecer el umbral de alerta roja. Los umbrales amarillo y azul resultan como se señala en el cuadro adjunto.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	945	1512	1890
Nivel en m	3.55	4.60	5.01

## **Xª Región de Los Lagos**

### **a) Sistema de alerta actual**

Esta región no cuenta con un sistema de alerta de crecidas, pero si con 5 estaciones satelitales, tres de las cuales tienen umbrales definidos.

- Río Rahue Desagüe Lago Rupanco, fluviométrica y pluviométrica, sin umbral, necesita revisión, las zonas amagadas asociadas son la ciudad de Osorno y aguas abajo de ella, estas zonas se inundan cada año en el invierno.
- Río Gol Gol en puente N° 2, sin umbral, necesita revisión, no se especifican zonas amagadas asociadas
- Río Negro en Chahuilco, fluviométrica y pluviométrica, tiene 3 umbrales definidos, no es necesario revisar, no se especifican zonas amagadas asociadas
- Río Puelo en carrera de Basilio: 4 umbrales definidos, necesita revisión, no se especifican zonas amagadas asociadas
- Río Futaleufú en la Frontera: 3 umbrales definidos (según DGA), necesita revisión; estas aguas provienen de territorio argentino en donde existe la “Central Hidroeléctrica Futaleufú”, la cual regula de cierta manera el comportamiento de este río. Al existir grandes precipitaciones, las inundaciones se producen en la parte baja de la cuenca, donde ya se han sumado otros ríos como ser Espolón, Azul y Malito entre otros.

Los umbrales existentes se establecieron aproximadamente en 2006, y se revisan a la luz de los eventos que van ocurriendo cada año.

### **b) Solicitud de la región**

Revisar los umbrales de:

- Futaleufú en la Frontera
- Rahue en desagüe Lago Rupanco
- Gol Gol en Puente N° 2
- Puelo en carrera Basilio.

Las siguientes zonas amagadas debieran ser cubiertas con la estación de alerta que se indica:

- Zonas bajas de la cuenca del río Bueno (región de Los Lagos), con la estación río Bueno en Bueno
- Ciudad de Osorno, con la estación Río Damas en Tacamó
- Localidad de Llanquihue con la estación Río Maullín en Las Quemadas (aunque se encuentra aguas abajo de la localidad).

### **c) Identificación eventos de amagamiento**

Hay zonas amagadas que son las que se indican en el punto a), de acuerdo con lo informado por la DGA regional.

Complementariamente, el siguiente cuadro presenta los resultados de la revisión de los estudios de frentes extremos editados por la ONEMI: fecha, cauce en cual se produjo la crecida, comuna y sectores amagados.

**Cuadro N° 6.20**  
**Eventos extremos consolidados por ONEMI para la Región X**

Mayo 2001	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Sur Mayo 2001 (14/05/01-31/05/01)"</i>			
Mayo 2001	X	Río Chamiza y Mar	Puerto Montt	
Mayo 2001	X	Río Malo	Chaitén	
	<i>"Informe Consolidado Temporales Zona Centro Sur Julio 2001 (02/07/01-31/07/01)"</i>			
Julio 2001	Sistema frontal 17-20/07/01			
Julio 2001	X	Río Las Yeguas	Purranque	
Julio 2001	X	Río Bueno	San Pablo	Currimahuida, Cofalmo, Troné Quilachuín y Caltiamo
Octubre 2002	<i>"Informe Consolidado Sistema Frontal IX y X Regiones 11-13 Octubre 2002 "</i>			
Octubre 2002	X	Río Bueno	San Pablo	
Octubre 2002	X	Río Rahue	San Pablo	

**d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

No hay relaciones de pronóstico para esta región. Si bien en el estudio de BF de 1986 se analizó la factibilidad de desarrollar alguna relación de pronóstico, para la ciudad de Valdivia y poblados cercanos de Llolehue y Pishuínco (río Calle-Calle), catalogados de primer nivel de riesgo, se determinó que no había factibilidad de establecer de inmediato un modelo de pronóstico. En una primera instancia se requería implementar las estaciones de medición para posteriormente intentar formular los modelos de pronósticos.

**e) Solicitudes adicionales de la región**

Implementar como estación satelital:

- Maullín desagüe Lago Llanquihue
- Maullín en Las Quemadas
- Bueno en Bueno
- Damas en Tacamó

No se requieren controlar más variables.

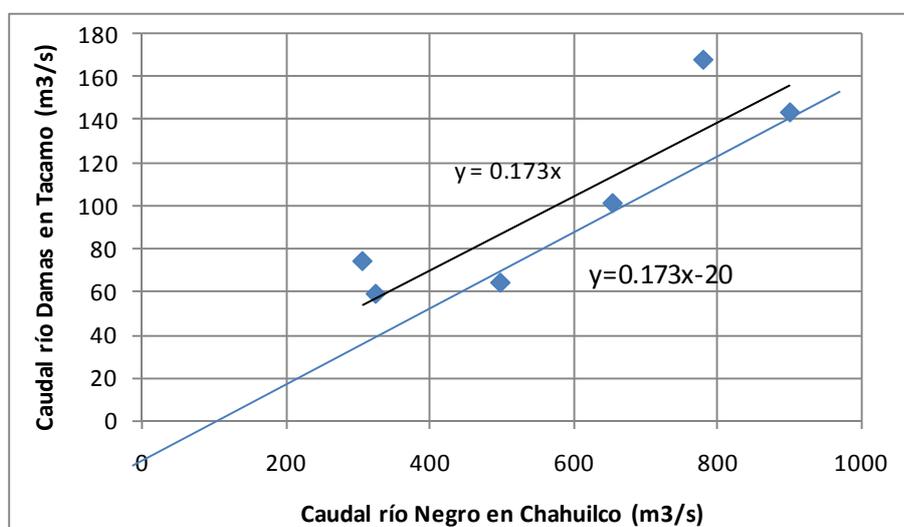
No se puede pensar en estaciones no satelitales para que integren al sistema ya que cada día se hace más difícil encontrar observadores responsables y confiables como para entregarles la misión de informar en cada oportunidad que se llegue al umbral definido.

## f) Análisis y resultados

### Damas en Tacamó

Para este río hay una crecida con daños en Osorno informada para la fecha de agosto 2009. Sin embargo, para dicha fecha no hay datos en la estación Damas en Tacamó. Para obtener un dato de caudal instantáneo, se relacionaron los caudales máximos instantáneos anuales de esta estación con la del río Negro en Chahuilco, con el siguiente resultado:

**Figura N° 6.40**  
**Relación caudales máximos instantáneos anuales Damas en Tacamó y Negro en Chahuilco**



De acuerdo con la relación encontrada (la más segura de ambas, la recta azul), el caudal del evento de 2009 de 578 m³/s en el río Negro en Chahuilco, se traduce en un caudal como mínimo, de 80 m³/s en Damas en Tacamó.

Se establece este caudal como umbral de alerta roja en Damas en Tacamó, con los siguientes valores asociados:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m³/s	40	64	80
Nivel en m	2.08	2.52	2.77

### Golgol en Puente N° 2

La estación es satelital, muy nueva, entró en operaciones recién en Marzo de 2009. No hay registro satelital de la información, de modo que no hay suficiente información como para establecer umbrales.

### Puelo en carrera Basilio

En esta estación satelital hay datos a partir de 2003. Sin embargo, no hay antecedentes de amagamiento en la zona atravesada por el río Puelo, de modo que no hay antecedentes como para modificar los umbrales establecidos.

### Futaleufú en la Frontera

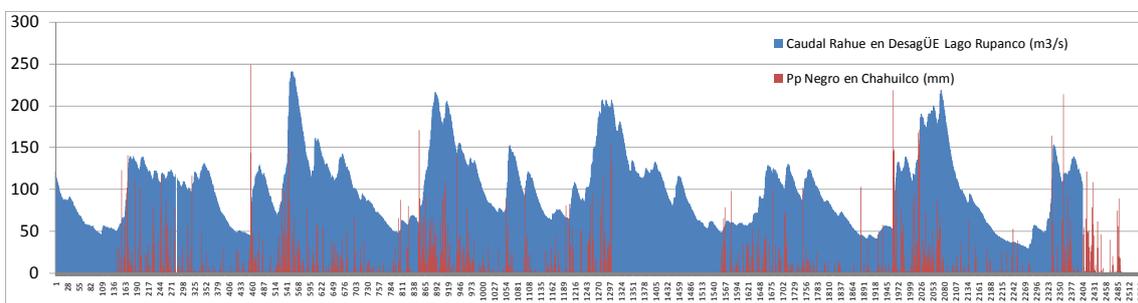
No hay antecedentes de inundación que permitan modificar los umbrales establecidos.

### Rahue en desagüe Lago Rupanco

Esta estación tiene un régimen amortiguado, que responde al nivel de embalsamiento en el Lago Rupanco. Los caudales máximos diarios son similares a los caudales máximos instantáneos, y nunca superan por mucho los 230 a 240 m<sup>3</sup>/s, en ningún año.

El régimen diario se puede observar en la Figura N° 6.41 adjunta. En la figura se ven las crecidas de los años 2001 a 2007, todas ellas bastante acotadas.

**Figura N° 6.41**  
**Caudales diarios río Rahue en desagüe lago Rupanco**



De acuerdo con información recibida de la región, casi todos los años hay inundaciones aguas abajo, cerca de la localidad de Osorno. Esto fue confirmado por los registros de la ONEMI para el año 2002.

Lo señalado permite establecer un umbral de alerta roja en un caudal de 200 m<sup>3</sup>/s, con un nivel correspondiente a 3.59 m, y los demás umbrales correspondientemente, según se observa en el Cuadro adjunto.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	100	160	200
Nivel en m	2.56	3.17	3.59

**Río Bueno en Bueno**

Esta estación tiene una estadística de caudales máximos instantáneos anuales de 9 años de longitud. Asumiendo que en esta localidad hubo anegamientos en octubre 2002, en esta fecha se observó el caudal extremo segundo mayor, de 1084 m<sup>3</sup>/s. Se puede definir este valor como umbral de alerta roja, debido a que en esa oportunidad se registran inundaciones hacia aguas abajo. Con ello, los umbrales quedan definidos de la siguiente manera:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	542	867	1084
Nivel en m	2.55	3.51	3.93

**Río Maullín en Las Quemadas**

La localidad inundada a alertar es Llanquihue, que se encuentra directamente sobre la ribera del lago, en el punto de la desembocadura el río Maullín. La estación Maullín en Las Quemadas se encuentra unos 25 km aguas abajo del lago (en línea recta). Por lo tanto, su régimen no depende sólo del lago, sino que también de la precipitación en la cuenca intermedia.

Por esta razón, no se percibe como muy conveniente alertar la localidad de Llanquihue a partir de los niveles en la estación del río aguas abajo. Más procedente resultaría alertar Llanquihue a partir del nivel del lago y de la precipitación en una estación pluviométrica como Ensenada o Frutillar.

## **XIª Región de Aysén**

### **a) Situación actual**

Actualmente se cuenta con dos tipos de sistema de alerta en la Región de Aysén, los cuales operan sólo con estaciones satelitales.

Sistema tradicional. En este sistema se definen umbrales para la variable nivel de agua en 7 estaciones satelitales:

- Río Simpson Bajo Junta Coyhaique (asociada a la zona amagada Villa Los Torreones)
- Río Baker en Desagüe Lago Bertrand (zona asociada valle Río Baker, carretera austral sur)
- Río Baker en Angostura Chacabuco (zona asociada valle Río Baker, carretera austral sur)
- Río Baker Bajo Ñadis (zona asociada valle Río Baker, carretera austral sur)
- Lago O'Higgins en Villa O'Higgins (zona asociada Puerto de Bahía Bahamondes)
- Río Pascua en Desagüe Lago O'Higgins (zona asociada Balsa río Pascua)
- Río Pascua Antes Junta Río Quetru (zona asociada Balsa río Pascua)

Si el registro supera el umbral predefinido se envía un email al Director Regional y al Encargado de la Unidad de Hidrología, informando la situación. Sólo en la cuenca del río Aysén, específicamente en la estación Río Simpson bajo junta río Coyhaique, este sistema se encuentra operativo en su totalidad, es decir con los cuatro umbrales definidos (azul inferior y superior, amarilla y roja). Para las demás estaciones sólo se ha definido la alerta Azul Superior, manteniéndose indefinidas las restantes tres. Dado lo anterior, lo que se hace en la Región es mantener un monitoreo constante de las estaciones satelitales, y en la medida que sucedan hechos relevantes, se informa mediante Minutas a diversas autoridades de la Región y del Nivel Central.

No se tienen antecedentes acerca de cómo y cuándo se establecieron estos umbrales y si se han actualizado o no.

Sistema modificado: este sistema se ha implementado en el transcurso del presente año 2009 con el objeto de alertar respecto de los vaciamientos bruscos del Lago Cachet 2 (fenómeno conocido como GLOF). Este vaciamiento ha ocurrido en cinco ocasiones desde abril del 2008, inundando gran parte del valle del río Colonia y del río Baker. Cuando comenzaron estos fenómenos, la única información que se poseía correspondía a la que transmitía la estación Río Baker bajo junta Río Colonia, y lo que se observó en su oportunidad era una crecida muy acentuada (muy distintas a las de origen pluviométrico) junto a un descenso en la temperatura del agua. Por lo tanto, se hizo necesario implementar una estación de monitoreo en el mismo lago, de manera que la alerta se diera con mayor antelación. Ello se logró en mayo del año 2009, instalándose la estación Lago Cachet 2 en Glaciar Colonia. A partir de los datos transmitidos de esta estación, y dado que no se conocía la dinámica de este lago, se implementó un nuevo sistema de alerta, el cual se materializa mediante el envío automático (24 horas al día) de mensajes de texto (SMS) a celulares receptores de un equipo DGA (5 personas) y un equipo OREMI (4 personas) y se activa de acuerdo al cálculo de las diferencias intra horarias que existan entre los registros de niveles de agua en el Lago Cachet 2, es decir, la diferencia entre el registro de nivel de agua de la transmisión actual menos el registro de nivel de agua de la transmisión anterior, según el siguiente esquema:

Alerta azul: diferencia de nivel intra horaria entre -0.01 m a -0.02 m.

Alerta amarilla: diferencia de nivel intra horaria entre -0.03 m a -0.05 m

Alerta roja: diferencia de nivel intra horaria superior a -0.06 m

Este sistema se deberá complementar con la estación Río Colonia en Nacimiento, instalada en noviembre del año 2009, y con las estaciones con que cuenta la red en el río Baker.

#### **b) Solicitud de la Región**

Es necesario revisar los umbrales definidos en el sistema tradicional actual ya que no alertan debidamente. Los umbrales son muy altos en comparación con la dinámica de las crecidas (en casi todos los casos, la alerta Azul Superior se encuentra incluso fuera de la curva de descarga).

Además, el sistema actual no cubre todas las zonas amagadas, en particular en la Zona Norte y Centro de la Región, en las siguientes cuencas:

- Río Cisnes, inundación de camino a Pto. Cisnes, daños a infraestructura de puentes.
- Río Palena, problemas en operación de Balsa, interrumpiendo conectividad de usuarios.
- Río Aysén (río Mañihuales, río Blanco en desagüe Lago Caro), problemas con operación de balsa, interrumpiendo conectividad de usuarios.

No se especifican estaciones para cubrir estas zonas.

#### **c) Identificación de eventos de inundación**

Según información recibida de la región, con la subida del lago O'Higgins en marzo 2009 se inundó la localidad de Bahía Bahamondes. No se dispone de otras fechas de amagamiento de otras zonas, como para revisar otros umbrales.

#### **d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

No existe este tipo de relaciones para esta región.

#### **e) Solicitudes adicionales de la región**

Otro tipo de anegamiento que se da en la Región, y que no necesariamente está en directa relación con las crecidas, es el relacionado con la cantidad de nieve precipitada, la cual en los meses de invierno corta caminos interrumpiendo considerablemente el tránsito, de manera que sería importante ampliar la cobertura de la red actual con estaciones de monitoreo satelital especialmente diseñadas para ello.

Es necesario implementar con DCP las siguientes estaciones, clasificadas según el grado de necesidad:

- Río Palena bajo junta Rosselot (Muy necesaria)
- Río Cisnes antes junta Río Moro (Muy necesaria)
- Río Cisnes en Puerto Cisnes (Muy necesaria)
- Río Blanco en desagüe Lago Caro (Muy necesaria)
- Río Mañihuales antes junta Río Simpson (Necesaria)
- Río Blanco antes junta Río Aysén (Necesaria)
- Río Cisnes en estancia Río Cisnes (Complementaria)
- Río Emperador Guillermo antes junta Río Mañihuales (Complementaria)
- Río Murta en Desembocadura (Complementaria)

No se requiere medir más variables en el sistema actual.

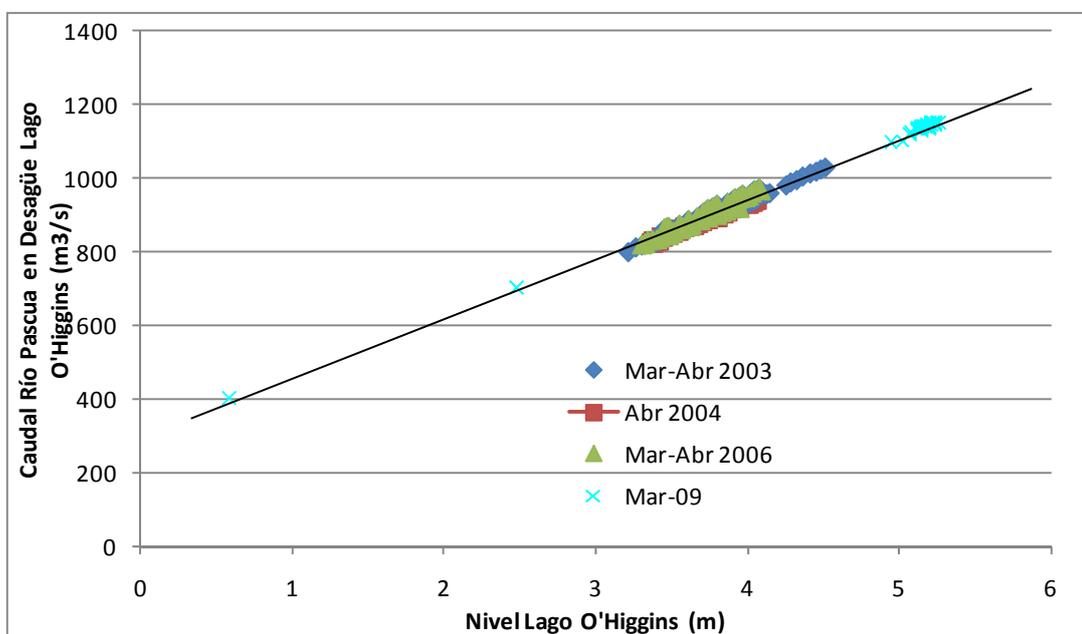
No se puede pensar integrar estaciones no satelitales al sistema de alerta de crecidas debido a que la gran mayoría de las estaciones no satelitales se ubican lejos de Coyhaique, con lo cual el acceso a alguna de ellas, por caminos no pavimentados, toma al menos uno o más días, no permitiendo dar avisos oportunos

#### f) Análisis y resultados

##### Lago O'Higgins

Se efectuó una relación entre los niveles diarios del Lago O'Higgins y los caudales diarios en la estación río Pascua en Desagüe Lago O'Higgins, que se muestran en la Figura siguiente:

**Figura N° 6.42**  
**Relación entre nivel diario Lago O'Higgins**  
**y caudal diario en Pascua en Desagüe Lago O'Higgins**



Según se puede observar en la figura, el caudal de la estación Pascua en Desagüe Lago O'Higgins guarda una relación lineal muy clara con el nivel del lago, la que se mantiene para todos los niveles, altos y bajos. Observando esta relación para las diversas crecidas graficadas, se observa que con un nivel de 5 m o algo más (la subida llegó hasta 5.26 m en marzo 2009) se produce inundación en una localidad ribereña del lago (Bahía Bahamondes). Por lo tanto, el nivel de 5.00 m sería un umbral de alerta roja.

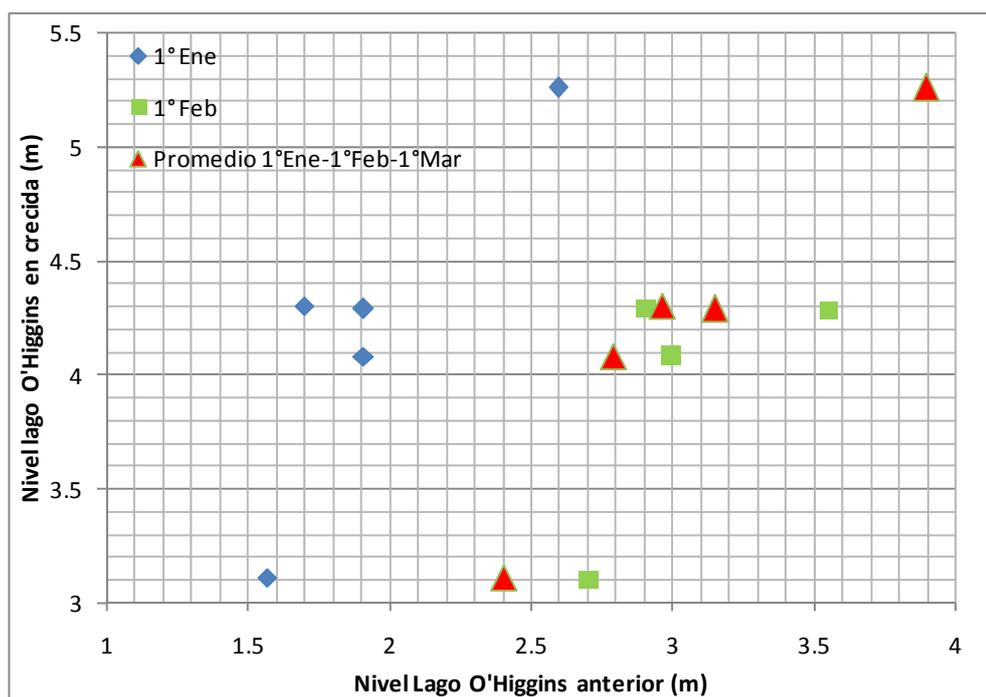
Para determinar los umbrales de alerta amarilla, se observó la forma de la subida del lago, y se constató lo siguiente:

- todos los años en octubre se produce el nivel mínimo del lago
- todos los años en marzo (salvo una excepción en abril) se produce el nivel máximo del lago
- entre el nivel mínimo y máximo, la subida es gradual, como también lo es la bajada desde el nivel máximo hacia el mínimo

- debido a lo anterior, se puede intentar predecir el nivel máximo en función de las características de la subida.

Se intentó relacionar el nivel máximo del lago con el nivel del lago a principio de enero, a principio de febrero y con un promedio entre los niveles de 1° de enero, 1° de febrero y 1° de marzo. Los tres sets de datos se presentan en la Figura N° 6.43 adjunta.

**Figura N° 6.43**  
**Relación del nivel máximo del lago con niveles en los meses anteriores**



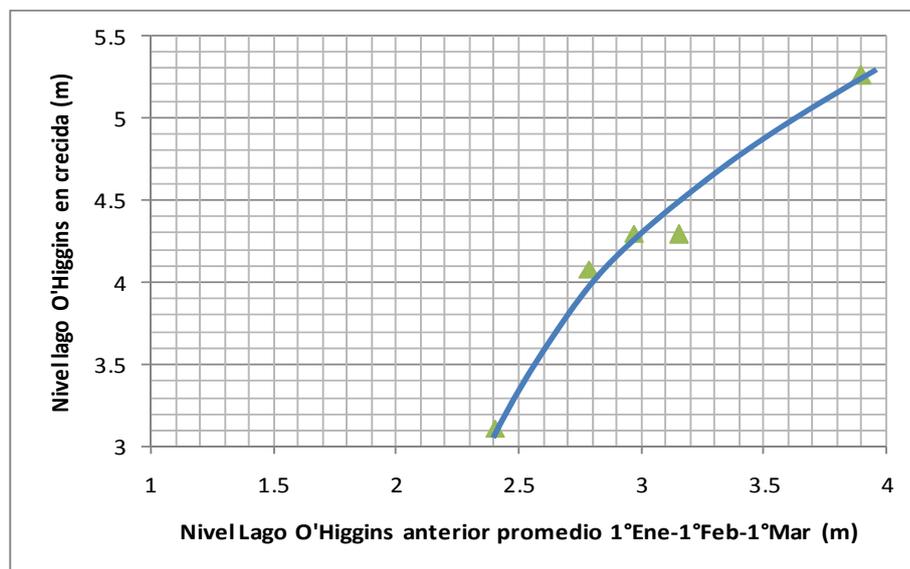
De acuerdo con lo que se observa en la figura, se puede aceptar que hay una relación entre el nivel máximo que tendrá el lago en alguna fecha de marzo o de abril, en función del nivel promedio de las fechas de principio de enero, febrero y marzo. La relación es la que se observa en la Figura N° 6.44.

De acuerdo con esta relación, se puede establecer como niveles de alerta del lago los siguientes:

- nivel de alerta roja: 5.00 m en el lago
- nivel de alerta amarilla: 3.6 m como promedio de la subida, indica que es muy probable llegar a un nivel de inundación de 5 m en el lago.
- nivel de alerta azul: no se define

Esta alerta se puede dar con varios días o semanas de anticipación.

**Figura N° 6.44**  
**Relación del nivel máximo del lago con el promedio de los niveles de principio de enero, de febrero y de marzo (o promedio de la subida)**



### Río Pascua en Desagüe Lago O'Higgins

Para este río, no hay antecedentes de eventos de amagamiento o daño para este río. Pero se sabe que el caudal del río está directamente relacionado con el nivel del lago, para todos los niveles, por lo cual podrá conocerse a partir de éste.

Por ello, podría asociarse un umbral de alerta roja para el nivel de 5 m del lago, que correspondería a un caudal de 1100 m<sup>3</sup>/s. De ese valor se desprenden los demás umbrales como sigue:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	550	880	1100
Nivel en m	2.36	4.40	5.71

El análisis de los caudales máximos instantáneos en el río Pascua en Desagüe Lago O'Higgins reveló que ellos son prácticamente iguales a los caudales máximos diarios de la misma fecha. De este modo, hay una amortiguación de los caudales de crecida en función de la capacidad de almacenamiento en el lago.

### Río Pascua antes junta río Quetru

No hay antecedentes de anegamiento o daño que permitan identificar umbrales de alerta. Preliminarmente, se tomó como umbral amarillo el caudal máximo de la curva de descarga. De esta forma, se obtienen los siguientes umbrales, que deben ser validados con la experiencia.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	1596	2554	3192
Nivel en m	2.83	4.0	Fuera CD

### **Río Simpson bajo junta río Coyhaique**

No se dispone de eventos de crecida que hayan generado daños, como para establecer umbrales. Sin embargo, podría ser de utilidad práctica contar con umbrales definidos de modo que el umbral de alerta amarilla se sitúe en la parte más alta de la curva de descarga. De este modo, los umbrales serían los siguientes:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	987	1579	1974
Nivel en m	6.05	7.00	Fuera CD

### **Río Baker en desagüe Lago Bertrand**

Esta estación se encuentra muy aguas arriba de los lagos que generan glocs. Tiene una estadística muy pareja de caudales máximos instantáneos, de entre 700 y 860 m<sup>3</sup>/s. No hay antecedentes de crecidas con daños y fechas como para establecer umbrales.

No obstante ello, podría ser de utilidad práctica establecer umbrales de modo que, preliminarmente, la alerta amarilla se ubique en el caudal máximo de la curva de descarga. En tal caso, los umbrales serían los siguientes.

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	703	1125	1406
Nivel en m	2.20	3.40	Fuera de CD

Estos umbrales habría que ajustarlos en base a lo que muestre la experiencia práctica de crecidas.

### **Río Baker en angostura Chacabuco**

Esta estación también se encuentra aguas arriba de los glocs. El caudal máximo de crecida varía entre 1000 y 1300 m<sup>3</sup>/s. No hay antecedentes de crecidas con daños y fechas como para establecer umbrales.

No obstante ello, podría ser de utilidad práctica contar con algunos umbrales. Preliminarmente, podrían establecerse de modo que el umbral amarillo se encuentre en el caudal máximo de la curva de descarga. En tal caso, los umbrales quedarían como sigue:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	1350	2160	2700
Nivel en m	6.81	9.00	Fuera de CD

### **Río Baker bajo Ñadis**

Esta estación tiene influencia de los glos. Para estos casos, debe funcionar la alerta de los glos del sistema no tradicional, además de la alerta tradicional.

En cuanto a la alerta tradicional, se puede decir que en la oportunidad de glos ha habido daño. El caudal máximo instantáneo anual de 3174 m<sup>3</sup>/s del 6 de marzo del 2009 puede instituirse como alerta roja. Con ello, un sistema de alerta tradicional queda como sigue:

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	1587	2540	3174
Nivel en m	4.54	6.75	8.22

Nota: Todos estos umbrales deben ser validados con la experiencia que posee al respecto la región.

**XIIª Región de Magallanes****a) Situación actual**

El sistema de alerta de crecidas de la XIIª Región de Magallanes está compuesto por una sola estación satelital, que mide el nivel del Lago Dickson y parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura del aire, temperatura del agua, radiación solar y velocidad del viento), y está asociada al sector del Parque Nacional Torres del Paine.

Tiene 4 umbrales definidos que necesitan ser revisados porque no se ha hecho un estudio de la influencia actual que tiene la alerta en el sistema río Paine. No se sabe en que años se han establecido y/o actualizado.

No se usan relaciones de pronóstico a corto plazo.

La ciudad de Punta Arenas no está cubierta en la actualidad y necesitaría la implementación de un sistema de alerta. Por ello se sugiere ocupar las estaciones Río Las Minas y canal de trasvase Llau-Llau.

**b) Solicitud de la región**

Se solicita evaluar si el umbral establecido para el Lago Dickson Dickson representa la realidad actual, y establecer un umbral de alerta de precipitaciones para Punta Arenas. Se solicita además, incluir las variables de precipitación y temperatura en el sistema de alerta.

**c) Identificación de eventos de crecidas**

De parte de la DGA regional no se ha obtenido esta información, pero sí hay un reporte de la ONEMI, que es el siguiente:

**Cuadro N° 6.21  
Eventos extremos consolidados por ONEMI para la Región XII**

<i>"Informe Aguas Lluvias "</i>				
05-08 Mayo 1990	XII	Río Las Minas		Ciudad de Punta Arenas
23 Mayo 2005	XII	Río Las Minas		Ciudad de Punta Arenas

**d) Relaciones de pronóstico de corto plazo**

No existen relaciones de este tipo para esta región.

**e) Solicitudes adicionales de la región**

No hay solicitudes adicionales

**f) Análisis y resultados****Río Las Minas en BT Sendos**

Para Punta Arenas existe registro de dos eventos con daños o inundaciones en la ciudad, causadas por el río Las Minas. Son los siguientes.

5-8 Mayo 1990: Caudal en río Las Minas: menor que 14.69 m<sup>3</sup>/s, crecida máxima anual de 1990, nivel de 0.72 m en la curva de descarga actual

23 Mayo 2005: no se registra evento de crecida en la estadística de esa fecha.

La información de ONEMI en este caso no es coincidente con la información de crecidas de la DGA. A causa de ello, no se conoce el caudal que generaría inundación en Punta Arenas.

Preliminarmente, se puede asumir que una crecida con daño puede haber sido la de 39,41 m<sup>3</sup>/s en junio de 2005. Asumiendo que ese caudal podría representar un umbral de alerta roja, los demás umbrales quedan como sigue:

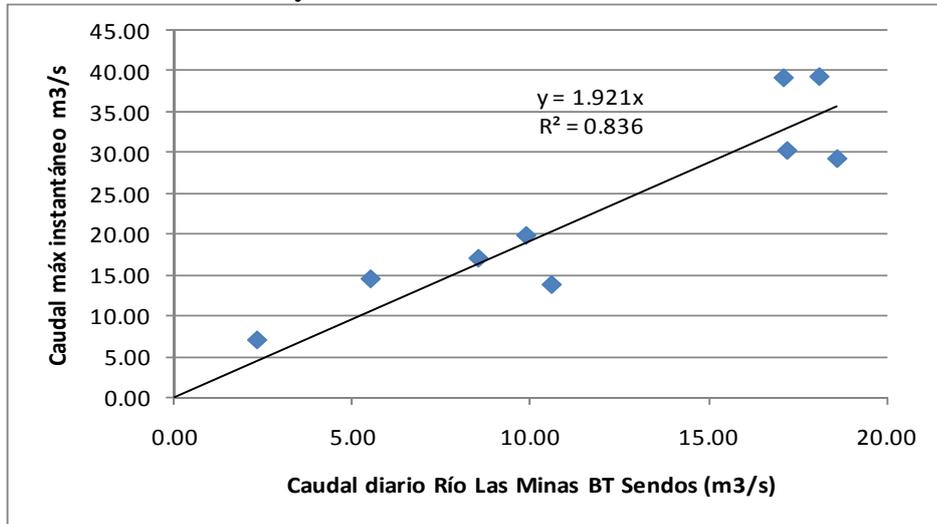
	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m <sup>3</sup> /s	19.7	31.5	39.41
Nivel en m	0.79	0.9	0.97

**Umbral de precipitación para Punta Arenas**

Se analizaron todos los eventos de crecida del río Las Minas en BT Sendos, intentando relacionarlas con la precipitación de alguna estación cercana.

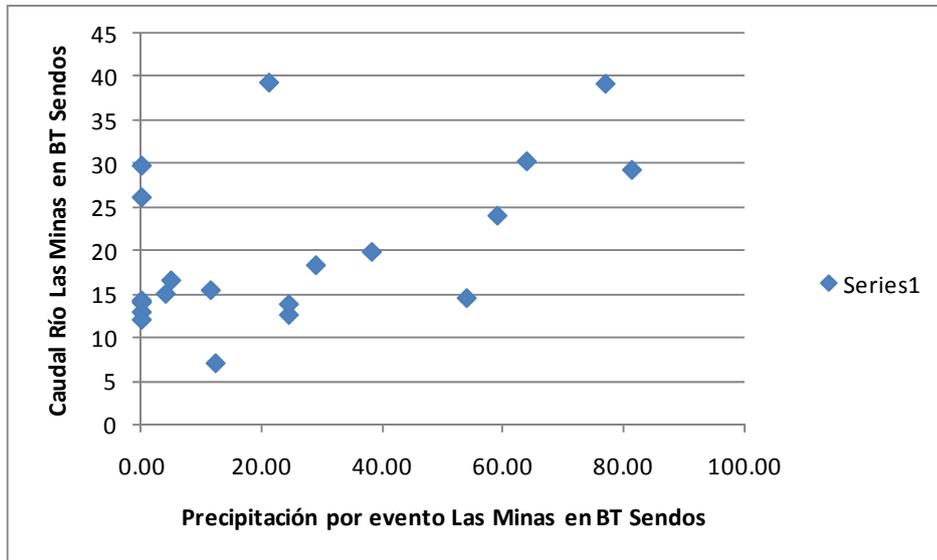
En primer lugar, se obtuvo la relación entre caudal máximo diario y caudal máximo instantáneo en dicha estación, para poder contar con datos de crecidas adicionales a la máxima anual. Esta relación resultó ser la siguiente:

**Figura N° 6.45**  
**Relación entre caudal diario y caudal máximo instantáneo Río Las Minas en BT Sendos**



Con esta relación, se obtiene una cantidad de puntos de crecidas que permite intentar una relación entre precipitaciones por evento en Punta Arenas, y el caudal del río Las Minas en BT Sendos. La relación es la siguiente:

**Figura N° 6.46**  
**Relación entre caudal de crecida Río Las Minas en BT Sendos y Precipitación por evento en Las Minas BT Sendos**

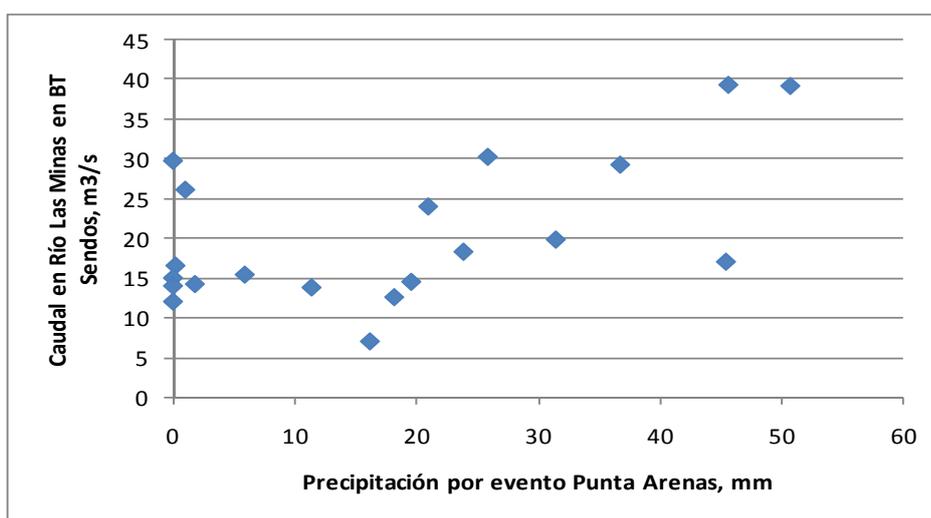


Si bien es cierto que se observa una cierta relación entre la precipitación por evento (suma de 1 hasta 4 días) y el caudal de crecida en Río Las Minas en BT Sendos, las precipitaciones de esta estación no explican completamente los caudales observados, porque hay muchos eventos en los cuales hay crecidas con precipitaciones de 0 mm en la estación pluviométrica.

Observando la estadística de cuadales máximos instantáneos, se aprecia que ellos se generan en cualquier fecha del año. Esto hace pensar que algunas de las crecidas son de derretimiento, con lo que se explica que no estén asociadas a precipitaciones.

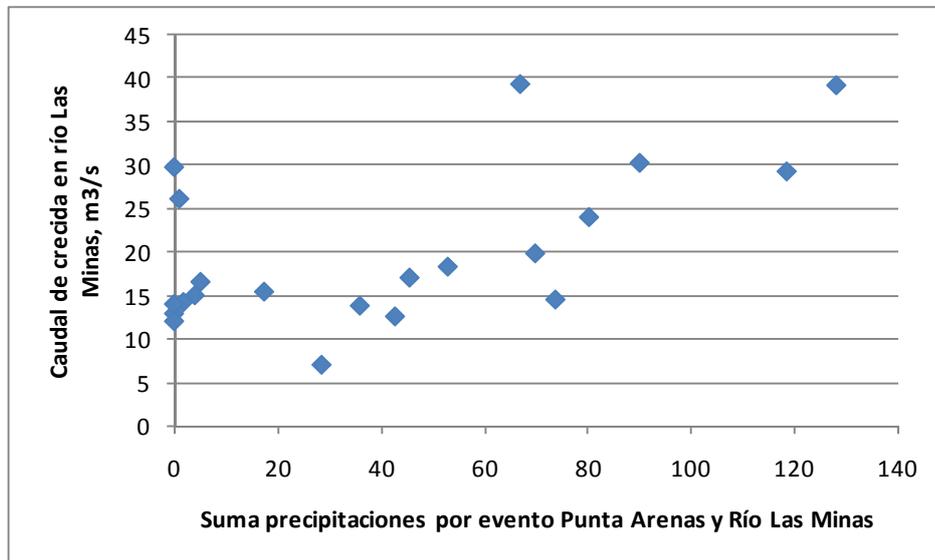
Lo mismo se constata al relacionar los caudales de crecida con las precipitaciones de otra estación, por ejemplo Punta Arenas, en la Figura N° 6.47.

**Figura N° 6.47**  
**Relación entre caudal de crecida río Las Minas en BT Sendos y Precipitación por evento en Punta Arenas**



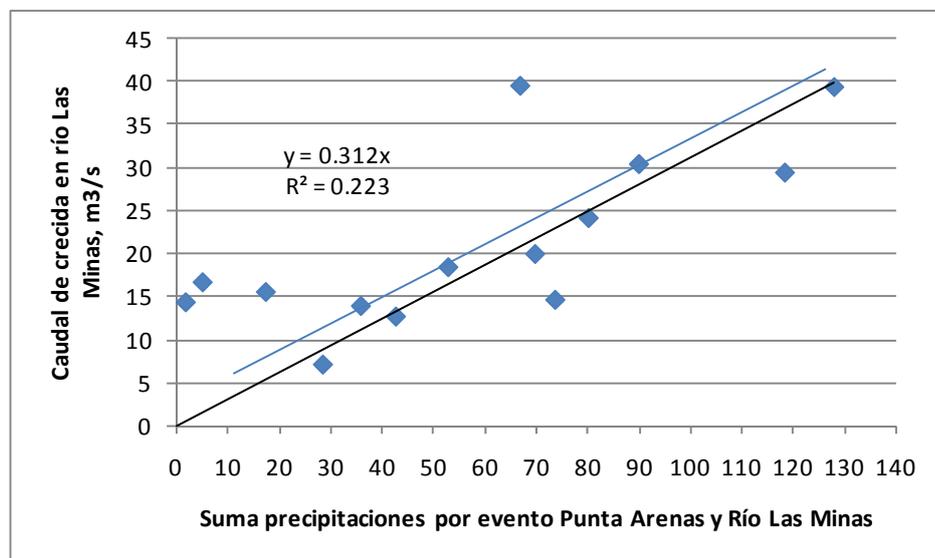
Finalmente, en la Figura N° 6.48 se presenta la suma de las precipitaciones de ambas estaciones, de modo de poder apreciar mejor el efecto de ellas sobre el caudal.

**Figura N° 6.48**  
**Relación entre caudales de crecida Río Las Minas BT Sendos**  
**y suma eventos de precipitación en Las Minas y Punta Arenas**



Se observa que, obviando los eventos de crecida que no tienen precipitaciones asociadas, se obtiene una relación relativamente clara, que se muestra en la Figura N° 6.49 adjunta.

**Figura N° 6.49**  
**Relación entre caudal y eventos de precipitación no nulos**

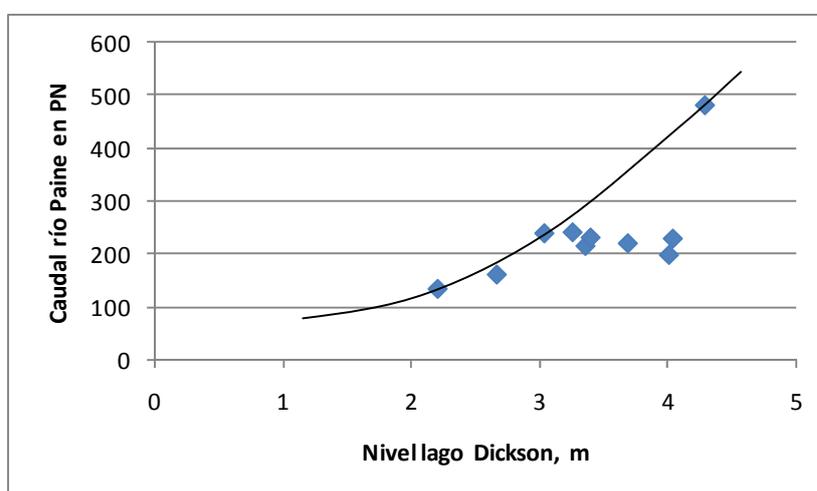


A partir de este gráfico, se puede observar que el caudal de 19,7 m<sup>3</sup>/s que corresponde al umbral de alerta azul, se puede generar a partir de precipitaciones de 55 mm, acumuladas por evento, y sumadas las estaciones Punta Arenas y Las Minas.

### Lago Dickson y río Paine en Parque Nacional

Se efectuó un análisis para definir una alerta en el río Paine a partir de los niveles del lago Dickson. Para ello, se graficaron los valores de crecidas en el río Paine, en función de los niveles alcanzados en el lago, con el resultado de la Figura N° 6.50. En las estadísticas satelitales se observa que hay un desfase de aprox. 12 horas entre el nivel máximo alcanzado en el lago, y el caudal máximo de crecida en la estación Río Paine en Parque Nacional.

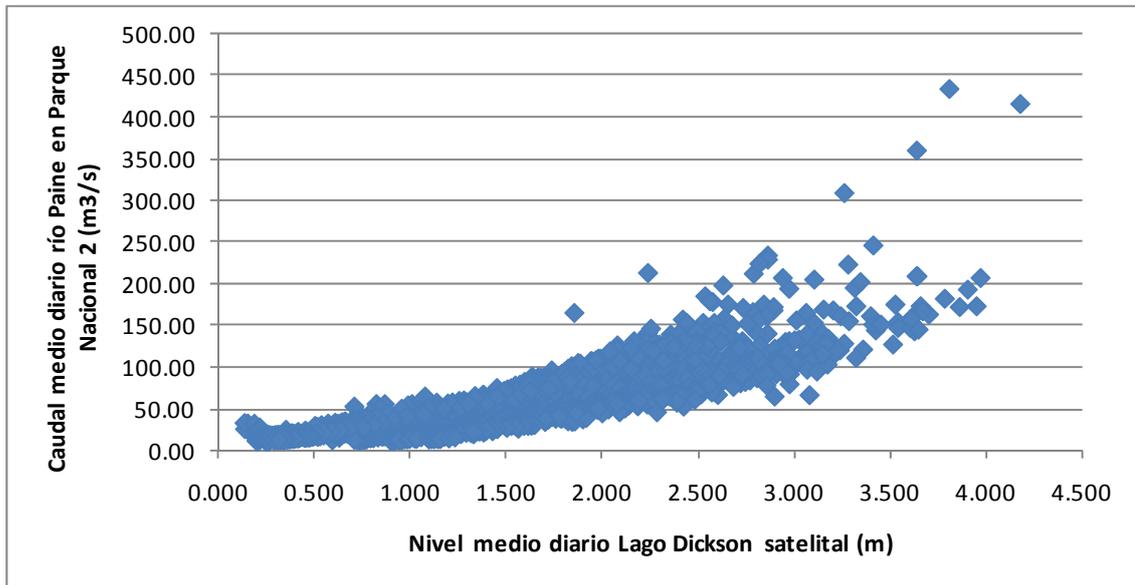
**Figura N° 6.50**  
**Relación entre nivel lago Dickson y caudal de crecida río Paine en Parque Nacional**



Lo que se observa es que hay un límite superior de caudales que se pueden alcanzar a partir de ciertos niveles en el lago. Dichos caudales máximos son los señalados con la curva.

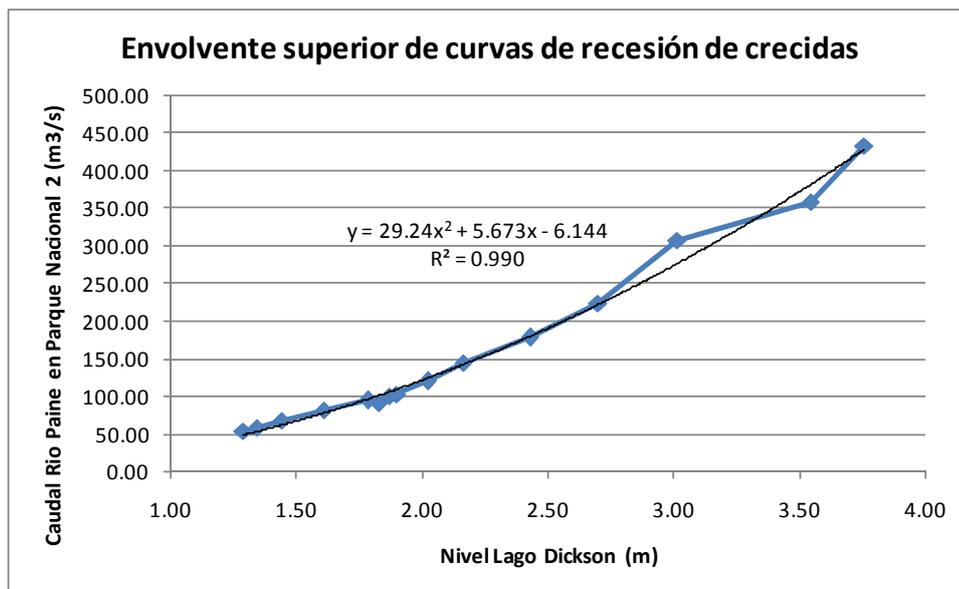
La misma curva se obtiene al graficar los caudales diarios del río en función de los niveles diarios del lago, según se aprecia en la Figura N° 6.51.

**Figura N° 6.51**  
**Caudal diario río Paine en Parque Nacional en función del nivel diario lago Dickson**



Para obtener una relación útil entre ambas variables, se graficó la envolvente superior de las curvas de recesión de crecidas, y se obtuvo la relación de la Figura N° 6.52 siguiente:

**Figura N° 6.52**  
**Relación nivel lago Dickson – crecidas río Paine en Parque Nacional**  
**Envolvente superior**



Esta relación permitiría obtener un umbral de alerta para el río Paine a partir de los niveles del lago Dickson, si hubiera antecedentes sobre amagamientos generados por el río. Como no se ha contado con dicha información, se deja planteada esta relación, que servirá para definir los umbrales cuando exista experiencia sobre el caudal del río Paine que genere algún tipo de inundación que amerite una alerta.

**CAPÍTULO 7****CONCLUSIONES**

1. Metodológicamente, no se pueden establecer umbrales de alerta de caudal si no hay un evento de inundación con lugar, fecha y caudal correspondiente.
2. Metodológicamente, al relacionar caudales con precipitaciones, es necesario considerar las precipitaciones totales del evento. No es adecuado considerar para todos los eventos la misma cantidad de días de lluvia.
3. Metodológicamente, el caudal en una estación fluviométrica muchas veces no es explicado por las precipitaciones de una sola estación pluviométrica, sino que se requieren varias. Esto ocurre especialmente en el norte de Chile. En este caso se propone sumarlas, de acuerdo con lo señalado en la metodología.
4. En las zonas más secas, del norte y centro de Chile, tiene importancia el índice de precipitación anterior cuando se hace el análisis de la relación entre precipitaciones y caudales. Hay una cantidad de precipitación que no se refleja como escorrentía, cuando el índice de precipitación anterior es bajo. Esto no se observa más al sur, donde los suelos están permanentemente más húmedos, y no tiene una gran influencia el IPA.
5. Hay zonas donde se pidió estudiar una relación entre los caudales y la temperatura además de la precipitación. Este análisis tiene sentido en cuencas que tienen una porción mixta o nival. No tiene sentido en cuencas pluviales, donde las precipitaciones caen casi siempre en forma de precipitación líquida (casos BíoBío, Imperial y Toltén).
6. Hay una inquietud generalizada por controlar las entradas y salidas de embalses. Esto se debe no sólo a las crecidas que ellos puedan generar, sino que también al control de vertidos que la nueva ley de embalses encarga a la DGA. Esta inquietud se ha manifestado en la Región III respecto del embalse Lautaro, en la región IV respecto de los embalses Puclaro, Paloma y Corrales, y en la Región VI respecto del embalse Convento Viejo.
7. Del estudio se desprende como recomendación, equipar las siguientes estaciones con sistemas de transmisión de datos en tiempo real:

## Estaciones pluviométricas Región XV:

- Visviri
- Alcérreca
- Chungará
- Caquena

## Estación fluviométrica Región II:

- Loa después junta San Salvador

## Estaciones pluviométricas Región II:

- Cebollar
- Ollagüe

8. Hay una inquietud en varias regiones por dotar más estaciones con sistemas de transmisión de datos en tiempo real. En el Cuadro Maestro están señaladas todas ellas, y se usa el término “equipar”, en virtud de que el equipamiento para transmisión de datos en tiempo real puede ser de diversa índole: Satélite, GPRS, Radio. Las estaciones que se solicita equipar, son las siguientes:
- Camarones en Conanoxa, caudal, región XV
  - Coscaya en Saitoco, caudal, región I
  - San Pedro en Cuchabrache, caudal, región II
  - Ollagüe, precipitación región II
  - Loa después junta San Salvador, caudal, región II
  - Cuencas Choapa y Pupío, calidad química, región IV
  - Río Juncal en Juncal, caudal y temperatura, región V
  - Colorado antes junta Maipo, caudal, región Metropolitana
  - Maipo en San Alfonso, caudal, región Metropolitana
  - Maipo en el Manzano, precipitación, región Metropolitana
  - Rengo, meteorológica, región VI
  - Maule en los Baños, caudal, región VII
  - Claro en Camarico, caudal, región VII
  - Lircay en Puente Las Rastras, caudal, región VII
  - Perquilauquén en Ñiquén, caudal, región VII
  - Estación alta, temperatura, región VII
  - Cuencas intermedias, precipitación, región VII
  - Desagüe Laguna Maule, caudal, región VII
  - San Pedro en desagüe Lago Riñihue, caudal, región XIV
  - Bueno en Bueno, caudal, región X
  - Maullín en desagüe Lago Llanquihue, caudal, región X
  - Maullín en Las Quemadas, caudal, región X
  - Cisnes antes junta Moro, caudal, región XI (muy necesaria)
  - Blanco en desagüe Lago Caro, caudal, región XI (muy necesaria)
  - Cisnes en Puerto Cisnes, caudal, región XI (muy necesaria)
  - Palena bajo junta Rosselot, caudal, región XI (muy necesaria)
  - Blanco antes junta río Aysén, caudal, región XI (necesaria)
  - Mañihuales antes junta Simpson, caudal, región XI (necesaria)
  - Cisnes en estancia río Cisnes, caudal, región XI (complementaria)
  - Murta en desembocadura, caudal, región XI (complementaria)
  - Empreador Guillermo antes junta Mañihuales, caudal, región XI, (complementaria)
  - Estaciones nivales, altura de nieve, región XI
9. También hay solicitudes por instalar estaciones nuevas, que son las siguientes:
- Quebrada de Aroma, caudal, equipada, región I
  - Mataquito en junta Teno Lontué, caudal, región VII
  - Leufucade en Puente Purulón, caudal, región XIV
  - Llollehue en puente La Unión, caudal, región XIV
10. Y finalmente hay solicitudes por rehabilitar estaciones suspendidas o mejorar estaciones existentes en mal estado. Ellas son las siguientes:

- Codpa en Calacala, caudal, región XV
  - Camiña en Tarcavire, caudal, equipada, región I
  - Rehabilitar río Trancura en junta Maichin, caudal, región IX
  - Rehabilitar río Toltén en Villarrica, caudal, región IX
11. Hay algunos problemas en canales de riego, que con grandes eventos de lluvia colapsan, pues no están dimensionados para evacuación de lluvias. Son los canales de la Luz, en Chillán, y diversos canales en Punta Arenas.
12. Hay algunas alertas que no corresponden al tema de alertas de crecidas, sino que se refieren al control por parte de la DGA de las extracciones y trasvases de algunos usuarios. Esto se refiere en especial a Codelco en la IIª Región. Hay varias estaciones que debieran reportar alertas a Fiscalización, y no a la División de Hidrología.  
Son las estaciones siguientes:
- Captación de Aguas Antofagasta en Lequena (II)
  - Captación de Aguas Antofagasta en Quinchamale (II)
  - Captación de Aguas Antofagasta en Toconce (II)
  - Captación de Aguas Antofagasta en Puente Negro (II)
  - Captación de Codelco en Calama (II)
  - Captación de Codelco en Inacaliri (II)
  - Captación de Codelco en Salado-Hojalar (II)
  - Captación de Codelco en Linzor (Toconce) (II)
  - Captación de SQM en Pedro de Valdivia (Vergara) (II)
  - Captación de SQM en Maria Elena (II)
  - Captación de SQM en Coya Sur (II)
  - Captación de FCAB en Siloli (II)
  - Canal Chunchurri Bajo (II)
  - Vertedero Emb. Colbún (VII)
13. Para diversas estaciones de varias regiones hay relaciones de pronóstico de corto plazo. Es recomendable usarlas. Son 42 relaciones en total, y están listadas en el Cuadro N° 5.1 del Capítulo 5.3.
14. En los estudios de BF, muchas relaciones quedaron no validadas por falta de estaciones donde realizar las mediciones. En dichos estudios, se recomendó la implementación de dichas estaciones. Tal vez sería el momento de revisar y validar dichas relaciones, en función de la nueva información que ha ido apareciendo con la instalación de más estaciones.
15. Las estaciones cuyos datos son utilizados en la relaciones de pronóstico no propuestas o pendientes, se señalan en los cuadros del Capítulo 2 Revisión bibliográfica, y se sintetizan en el Cuadro N° 7.1 adjunto al final.
16. Los umbrales propuestos en el presente estudio responden al aporte que se puede hacer con los análisis descritos, desde gabinete y con limitaciones de información. Si en la región hay experiencia más actual o diferente al respecto, ésta debe prevalecer en la actualización de los umbrales.

17. La forma de obtener los umbrales ha permitido entregar una metodología, la cual en cada caso ha sido adaptada a la información existente. La metodología es claramente aplicable cuando se cuenta con la información de fecha y lugar de la inundación.
18. Como recomendación general, los umbrales deben irse actualizando con cada evento de inundación o daño que se registre por crecidas. Para ello, cada DGA Regional debe estar atenta a los problemas de inundación que se registran en los cauces de su región, y registrar la fecha y el lugar. De este modo, se facilita mucho y se hace más operativa la definición de umbrales.

**Cuadro N° 7.1**  
**Relaciones de pronóstico no propuestas, con estaciones faltantes**

Relaciones de pronóstico pendientes										
Cuenca	Río	Lugares amagados	Factibilidad	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Desfase (h)	Nivel de	Apto para pronóstico	Caudal umbral
Maipo	Mapocho	Peñaflor, Talagante y El Monte	SI	Mapocho en Rinconada de Maipú	Q-P	Precipitación en Cerro Calán y Quinta Normal	8 a 10	2	+	900
				Mapocho en Rinconada de Maipú	Q-Q y Q-P	Mapocho en Los Almendros y precipitación en Cerro Calán y Quinta Normal				
Maipo	Maipo	Valdivia de Paine	SI	Maipo en el Rosario o en Chiñigüe	Q-Q	Maipo en el Manzano	8 a 10	1	++	
Maipo	Codegua	Graneros	NO					2	-	
				Nueva est. Limnigráfica Codegua en La Leonera	Q-P	Est. Pluviométrica existente Graneros y nueva est. Pluviográfica La Punta				
Maipo	Angostura	Valdivia de Paine	?	Angostura en Valdivia de Paine	Q-P	implementando estaciones Colonia de Paine y Aculeo Hacienda y nueva est. Pluviográfica La Punta	bajo			
Marga Marga	Est. Viña del Mar	Viña del Mar	NO					2	-	
				Est. Limnigráfica Est. Viña del Mar en El Salto	Q-P	1 est. Pluviográfica en parte alta de la cuenca y 1 pluviógrafo en est. Pluvio. Existente Las Piedras	<3			
Rapel	Claro	Rengo	NO	Claro en Hacienda Las Nieves	Q-P	Est. Pluv. Rengo y/o Central Las Nieves	?	1	++	
				Regla limnigráfica en Rengo						
Rapel	Cachapoal	entre Peumo y Olivar	?	Nueva est. limnigráfica Claro en Tunca	Q-Q	Claro en Hac. Las Nieves	?			
Rapel	Rapel	Rapel	SI	Rapel en Corneche	Q-Q	Rapel en salida embalse	2 a 3	1	++	4500
				Regla limnigráfica Rapel en Rapel		Coordinar con ENDESA políticas de operación del embalse				
Mataquito	Lontué	Lontué	NO					2	-	
				?	Q-Q	Nueva est. limnigráfica Lontué entre Lontué y junta con Teno				
Maule	Maule	Constitución	SI?	Maule en Pichamán	propagación de crecidas y	Varias	10 a 15	2	+	9000
Maule	Ancoa	Linares	?	Ancoa en El Llepo	Q-Q	Ancoa antes Túnel Melado	6 a 8			500
				Mantención estación		Mantención estación				

Relaciones de pronóstico pendientes										
Cuenca	Río	Lugares amagados	Factibilidad	Punto de calibración*	Modelo*	Punto de control*	Desfase (h)	Nivel de	Apto para pronóstico	Caudal umbral (m³/s)
Itata	Itata	General Cruz	?	Itata en General Cruz	Q-Q	Est. Fluv. Itata en General Cruz	6	4	+	1000
				instalar limnógrafo y desarrollar curva de descarga		Est. Fluv. Itata en Cholguán y Itata en General Cruz				
Imperial	Traiguén	Traiguén en Traiguén	NO	Est. Limnográfica Traiguén en cernanías Traiguén	Q-Q	Traiguén en Victoria	> 4	2		
				Est. Limnográfica Traiguén en cernanías Traiguén	Q-P	Pluviógrafo en est. Pluviométrica existente Victoria	?			
Imperial	Chol-Chol	Chol-Chol	?	Est. Limnográfica Renaco en Chol-Chol	Q-P	Est. Pluviográfica en Reducción Tranalhue	3 a 4			
				Chol-Chol en Chol-Chol	Q-Q	estaciones existentes Chufquén en Chufquén y Lumaco en Lumaco	?			
Imperial	Chol-Chol	Nueva Imperial	?	Est. Limnográfica Chol-Chol en Nueva Imperial	Q-Q	estaciones existentes Chufquén en Chufquén y Lumaco en Lumaco	?			
Toltén	Toltén	Toltén y Nueva Toltén	NO	Est. Limnográfica Toltén en lugar amagado	Q-Q	Est. Limnográficas Toltén en Teodoro Schmidt y Donguil en Gorbea	?	4		
Toltén	Toltén	Nueva Toltén y Hualpín (balseos)	NO	Est. Limnográfica Toltén en lugar amagado	Q-Q	Est. Limnográficas Toltén en Teodoro Schmidt y Donguil en Gorbea	?	4		
Valdivia	Cruces	varias localidades	NO	Limnógrafo en est. Limnimétrica existente Cruces en Ruraco	Q-Q	Est. Limnográfica Cruces antes junta Leufucade	4	3		
						Pluviógrafo en est. Pluviométrica existente Loncoche	4			
Valdivia	Calle-Calle	Valdivia y poblados de Huellehue y Pishuinco	NO	2 est. Limnográficas Calle-Calle en cercanías de Valdivia	Q-Q	Est. Limnográficas San Pedro en Los Lagos y Callileufu en Los Lagos	> 8	1		
Bueno	Llallehue	La Unión	NO			Pluviógrafo en est. Pluviométrica existente Desagüe Lago Riñihue	> 8	2		
Bueno	Damas y Rahue	Osorno	NO	Tacamo mas regla limnimétrica en lugar amagado	Q-P	Est. Pluviográfica en Central Pilmaiquén o otra nueva dentro de la cuenca	4	2		
				Est. Limnográfica Rahue en Osorno	Q-Q	Est. Limnográfica existente Negro en Chohuilco mas nueva est. Limnográfica Rahue en Pichil	5 a 6			
				Est. Limnográfica Rahue en Osorno	Q-P	Pluviógrafo en est. Pluviométrica existente La Pampa	5 a 6			

En rojo aparecen los puntos en los cuales el consultor hace alguna recomendación para la actualización de los sistemas de medición (ver informe).

Además, para la Región VIII:

- instalación pluviógrafo en Cholguán
- implementación estación pluviográfica Polcura en Balseadero
- implementación estación pluviográfica San Lorenzo
- implementación estación pluviográfica Poco a Poco

Además, para la Región IX:

- instalación pluviógrafo en la estación pluviométrica existente de Lumaco

**CUADRO MAESTRO**



ESTACIÓN FLUVIO / PLUVIOMÉTRICA	Umbrales DGA Central			Umbrales Región			Solicitud de parte de la región	RP CP	Ope rat	Nuevos umbrales: caudal en m3/s			Nuevos umbrales: nivel en m		
ESTACION MEDICION DE PRECIPITACION															
Río Loa antes Represa Lequena	99999	99999	99999												
Río Salado en Sifón Ayquina	99999	99999	99999												
Cupo	99999	99999	99999	-	-	-	definir								
Linzor	99999	99999	99999	-	-	-	definir								
Salado Embalse	99999	99999	99999	-	-	-	definir								
El Tatio	99999	99999	99999	-	-	-	definir								
<b>El Tatio y Linzor para Salado antes junta Curti</b>												27 mm acumulados por evento para crecida en Salado antes junta Curti			
<b>El Tatio, Linzor y Salado Embalse para Salado en sifón Ayquina</b>												70 mm acumulados por evento para crecida en Salado en Sifón Ayquina			
<b>Lequena y Cebollar para Loa en Lequena</b>												9 mm acumulados por evento para crecida del Loa en Lequena			
<b>IIIa Región de Antofagasta</b>															
ESTACION MEDICION DE NIVEL															
Río Copiapo en Pastillo	99999	99999	99999				definir			no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay relación entre Pastillo y Ciudad de Copiapó
Río Copiapo en la Puerta	1,50	1,70	2,00				revisar			no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos como para modificar umbral actual
Río Huasco en Algodones	2,00	2,50	2,80				revisar			no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos como para modificar umbral actual
ESTACION MEDICION DE PRECIPITACION															
Río Huasco en Algodones	99999	99999	99999				definir			no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos
<b>IVa Región de Coquimbo</b>															
ESTACION MEDICION DE NIVEL															
Río Elquí en Algarrobal	1,01	1,59	1,77							implementar estaciones equipadas arriba y abajo embalses para registro (por ley de embalses)					
Río Grande en las Ramadas	1,86	2,19	2,58							Equipar mediciones de calidad química en cuencas Choapa y Pupío					
Río Choapa en Cuncumen	1,20	1,90	2,20												
Río Cuncumen Ante Junta Choapa (Chacay)	0,50	0,70	1,30												
Canal Alimentador Embalse Corrales en Boc	99999	99999	99999												
ESTACION MEDICION DE PRECIPITACION															
Río Choapa en Cuncumen	99999	99999	99999												
<b>Va Región de Valparaiso</b>															
ESTACION MEDICION DE NIVEL															
Río Petorca en Peñón o Hierro Viejo	1,10	1,30	1,60	25	50	100	revisar	Equipar río Juncal en Juncal, pluviométrica y termométrica			no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos para modificar umbral actual
Río Alicahue en Colliguay	99999	99999	99999	14	22	30	revisar			no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos para modificar umbral actual	
Río Aconcagua en Chacabuquito para San Felipe sin defensas fluviales										178	281	351	2,40	3,00	fuera CD
Río Aconcagua en Chacabuquito para San Felipe sin defensas fluviales	1,80	2,00	2,10	100	120	180	revisar			225	361	451	2,69	fuera CD	fuera CD
Río Aconcagua en San Felipe sin defensas fluviales										190	304	380	2,35	2,76	2,98
Río Aconcagua en San Felipe con defensas fluviales	1,90	2,30	2,50	150	190	225	revisar	SI	SI	250	400	500	2,58	3,03	3,30?
Río Putaendo en Resguardo los Patos	0,80	1,00	1,30	25	50	100	revisar			no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos para modificar umbral actual	
Río Aconcagua en Romeral sin defensas fluviales										450	720	900	3,21	3,57	3,68?
Río Aconcagua en Romeral con defensas fluviales	2,30	2,40	2,70	200	225	250	revisar	SI	SI	900	1440	1800	3,68	fuera CD	fuera CD
ESTACION MEDICION DE PRECIPITACION															
Río Aconcagua en Chacabuquito	30,00	99999	99999												
Río Petorca en Peñón o Hierro Viejo	99999	99999	99999												
Río Alicahue en Colliguay	99999	99999	99999												
Río Aconcagua en San Felipe	99999	99999	99999												
Río Putaendo en Resguardo los Patos	99999	99999	99999												
Río Aconcagua en Romeral	99999	99999	99999												
<b>Portillo (satelital)</b>							definir			no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos de temperatura

ESTACIÓN FLUVIO / PLUVIOMÉTRICA	Umbrales DGA Central			Umbrales Región			Solicitud de parte de la región		RP CP	Ope rat	Nuevos umbrales: caudal en m3/s			Nuevos umbrales: nivel en m		
<b>Región Metropolitana</b>																
ESTACION MEDICION DE NIVEL																
Río Maipo en el Manzano	3,55	4,05	4,70	3,55	4,05	4,7	revisar	Equipar río Colorado antes junta Maipo pluviométrica			428	684	855	3,83	4,39	4,70
Río Molina antes Junta San Francisco	9999	9999	9999					Equipar río Maipo en San Alfonso pluviométrica								
Estero Yerba Loca antes Junta San Francisco	9999	9999	9999					Equipar río Maipo en El Manzano pluviométrica								
Río San Francisco a. j. estero Yerba Loca																
Estero Arrayán en la Montosa	1,90	1,90	1,90	1,9	1,9	1,9	revisar		SI	SI	8	15,2	19	1,50	1,87	2,04
Río Mapocho en los Almendros para zona al	1,70	1,90	2,30	1,7	1,9	2,3	revisar		SI	SI	108	173	216	2,47	2,88	3,12
Río Mapocho en LA Y Estero Arrayán en LM para peatones en cauce								agregar para peatones en cauce			29 y 7	46 y 14	58 y 17	1,59 y 1,4	1,85 y 1,82	2,02 y 1,95
Río Mapocho en LA y PP E.Huechún para Maipú														según curv	según curv	según curv
Río Mapocho Rinconada de Maipú	3,50	9999	5,50	3,5	4	5,5	revisar		SI	NO	170	273	341	3,75	4,17	4,42
<b>ESTACION MEDICION DE PRECIPITACION</b>																
Río Mapocho en los Almendros	40,00	9999	9999													
Cerro Calan	40,00	9999	9999					definir considerando además altura de isoterma						precipitación mayor que 187 mm e Índice de temperatura mínima mayor que 9,5°C		
Río Molina antes Junta San Francisco	9999	9999	9999													
Estero Yerba Loca antes Junta San Francisco	9999	9999	9999													
Quebrada de Macul	9999	9999	9999													
Río Mapocho Rinconada de Maipú	9999	9999	9999													
<b>Vía Región de O'Higgins</b>																
ESTACION MEDICION DE NIVEL																
Río las Leñas Ante Junta Río Cachapoal	9999	9999	9999					Actualizar umbrales de la región 10/02/2009								
Río Cortaderal Ante Junta Río Cachapoal	9999	9999	9999					Equipar Rengo meteorológica								
Río Cachapoal 5 Km. Aguas Abajo Junta Co	9999	9999	9999	s/i	s/i	s/i	definir	Estudiar funcionamiento embalse Convento Viejo			150	240	300	2,46	3,03	3,32
Río Pangal en Pangal	2,20	2,60	2,90	2,20	2,60	2,90	revisar				no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da
Río Cachapoal en Pte Termas de Cauquenes	9999	9999	9999	3,70	4,65	5,20	definir				no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da
Río Claro en Hacienda las Nieves	2,00	2,58	2,92	3,00	3,60	3,90	revisar				no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da
Río Cachapoal en Puente Arqueado (Ca)	15,00	9999	9999						SI	SI						
Río Claro en el Valle	2,50	3,02	3,24	2,50	3,02	3,24	revisar				no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da
Río Tinguiririca Bajo los Briones	2,64	3,02	3,24	3,20	3,60	3,85	revisar				no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da
Canal Teno en km 13465	9999	9999	9999													
Estero Chimbarongo en Ruta 5	9999	9999	9999													
Estero Chimbarongo Bajo Embalse Convent	9999	9999	9999													
Estero Chimbarongo en Puente El Huape	9999	9999	9999													
Río Tinguiririca en los Olmos (Ca)	9999	9999	9999													
Lago Rapel en Llallauquen	105,00	9999	9999													
Embalse Rapel en el Muro (Ca)	105,00	9999	9999													
Canal Sauzal en Puente Termas	9999	9999	9999	s/i	s/i	s/i	revisar				no cumpli	no cumpli	no cumpli	no cumpli	no cumple	no cumple función de alerta
<b>ESTACION MEDICION DE PRECIPITACION</b>																
Río Tinguiririca Bajo los Briones	50,00	9999	9999													
Río Cachapoal 5 Km. Aguas Abajo Junta Co	9999	9999	9999													
Río Pangal en Pangal	9999	9999	9999													
Canal Sauzal en Puente Termas	9999	9999	9999													
Rancagua (Cachapoal - Dcp)	9999	9999	9999													
San Fernando	9999	9999	9999													
Río Cachapoal en Puente Arqueado (Ca)	9999	9999	9999													
<b>Termas del Flaco (satelital)</b>				s/i	s/i	s/i	definir				no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay datos











ESTACIÓN FLUVIO / PLUVIOMÉTRICA	Umbral DGA Central			Umbral Región			Solicitud de parte de la región		RP CP	Ope rat	Nuevos umbrales: caudal en m3/s			Nuevos umbrales: nivel en m		
Río las Minas en Bt. Sendos	99999	99999	99999													
Punta Arenas	99999	99999	99999				definir									
Cerro Mirador	99999	99999	99999				definir				no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay datos, estación nueva
Canal de Traslase Estero Llau-llau	99999	99999	99999													
Bitsch Alto	99999	99999	99999				definir pluvio y temperaturas				no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay da	no hay datos, estación nueva
Río Rubens en Ruta N 9	99999	99999	99999													
Río Penitente en Morro Chico	99999	99999	99999													
Porvenir	99999	99999	99999													
Cameron	99999	99999	99999													
Río Caleta en Tierra del Fuego	99999	99999	99999													
Río Azopardo en desembocadura	99999	99999	99999													
Russfin	99999	99999	99999													
Río Grande en Tierra Del Fuego	99999	99999	99999													
Bahía Yendegaia	99999	99999	99999													
Río Robalo en Puerto Williams	99999	99999	99999													
Lago Navarino	99999	99999	99999													
<b>Punta Arenas y Río Las Minas para río Las Minas en BT Sendos</b>											<b>55 mm en conjunto por event</b>			<b>55 mm en conjunto por evento</b>		
<b>Conjunto de estaciones sobre las que se ha definido un umbral</b>																
<b>Estaciones no satelitales agregadas por solicitud de la región al listado original</b>																
RPCP: Relación de pronóstico de corto plazo según estudios de BF																
Operat: Indica si está o no operativa en el modelo de la DGA																

**ANEXO DIGITAL**