

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
IX CONGRESO NACIONAL

ESTIMACION DE CRECIDAS DE DESHIELO
ANALISIS DE LAS CRECIDAS DE
NOVIEMBRE/DICIEMBRE DE 1987

HUMBERTO PEÑA T. (1)

FERNANDO VIDAL J. (2)

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un análisis regional de los caudales máximos registrados durante las crecidas de deshielo ocurridas entre los días 20 de noviembre y 5 de diciembre de 1987 en 18 subcuencas de montañas ubicadas entre los 27 y 35° de Latitud Sur.

Los caudales máximos instantáneos observados del período se comparan con los obtenidos mediante los procedimientos de estimación propuestos en estudios anteriores (Peña et al, 1985).

De acuerdo a los resultados obtenidos se analiza la validez de los procedimientos de evaluación y se hacen recomendaciones en relación a la determinación del caudal máximo de diseño en cuencas nivales.

(1) Ingeniero Civil - Dirección General de Aguas

(2) Ingeniero Ejec. en Meteorología - Dirección General de Aguas

1. INTRODUCCION

El año 1987 se registró en la zona del Norte Chico y Central del país uno de los inviernos más lluviosos de los últimos 50 años. Considerando que los caudales máximos esperados para el período de deshielo en muchos casos superaban los registrados en las estadísticas existentes, la Dirección General de Aguas estimó que resultaba muy oportuno desarrollar un programa específico orientado a seguir el proceso de derretimiento de las nieves acumuladas. Con este propósito, junto con la obtención de información fluviométrica y meteorológica, se estudió la evolución de la cobertura nival mediante imágenes de satélite y observaciones directas de terreno.

En gran parte de la zona de estudio el momento culminante del proceso de deshielo se presentó entre el 30 de noviembre y 1 de diciembre, fecha en la cual se registraron en varias de las cuencas los caudales máximos de la estadística, como consecuencia de una intensa onda de calor que afectó la alta cordillera. Cabe recordar que en ese período hubo que lamentar diversos daños en obras de infraestructura.

En este trabajo se desarrolla un análisis regional de los caudales máximos registrados durante dicho período crítico en distintas cuencas de montaña ubicadas entre los 27 y 35° Lat. Sur y se comparan los caudales máximos observados con los que se obtienen mediante los procedimientos de estimación propuestos en estudios anteriores (Peña et al, 1985). Finalmente se deducen conclusiones en relación a la validez de dichos procedimientos de evaluación y en general referente al problema de la determinación del caudal de diseño en cuencas nivales.

2. ANTECEDENTES DISPONIBLES

La zona de interés seleccionada corresponde a las subcuencas de montaña comprendidas entre las cuencas de los ríos Copiapó por el norte y Rapel por el sur, y el período de análisis está centrado entre el 15 de noviembre y 15 de diciembre del año 1987.

Los datos básicos de entrada para el desarrollo del presente estudio están constituidos por:

- Antecedentes hipsométricos de las cuencas

- Estadísticas fluviométricas a nivel horario
- Estadísticas meteorológicas diarias de temperatura y radiación solar
- Cobertura de nieve (elevación del nivel de la línea de nieves).

Las estadísticas meteorológicas y fluviométricas fueron recopiladas desde los archivos de la Dirección General de Aguas y desde los registros meteorológicos e hidrológicos de las estaciones que controlan la Compañía Minera El Indio, División Andina y División El Teniente de Codelco, Compañía Minera Disputada de Las Condes y Chilectra-Generación, empresas que han colaborado con valiosos antecedentes hidrometeorológicos.

En el mapa de la Figura N° 1 se muestra la ubicación geográfica de la zona del estudio y la ubicación de las estaciones consideradas y en el Cuadro N° 1 se entrega un listado con las 18 subcuencas de montaña seleccionadas.

Para la determinación de la línea de nieves en la fecha en que se produjo el caudal máximo instantáneo, se utilizaron dos fuentes de información: una constituida por observaciones en el terreno mismo realizadas por personal de la Dirección General de Aguas en días anteriores y posteriores a la fecha del caudal máximo, y la segunda en base a la determinación de la cobertura nival extraída desde imágenes satelitales. Para este último propósito la Dirección General de Aguas contrató con el Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile el monitoreo de superficies cubiertas de nieves mediante imágenes NOAA: el monitoreo se desarrolló en la zona de interés entre el 1° de octubre de 1987 y el 14 de marzo de 1988, en intervalos de 30 días aproximadamente.

En base a los antecedentes analizados terminó la variación de la línea de nieves para el día 30 de noviembre de 1987 en función de la latitud y cuyo gráfico se muestra en la Figura N° 2.

3. ANALISIS REGIONAL DE LOS CAUDALES MAXIMOS REGISTRADOS

En el Cuadro N° 2 se entregan los caudales máximos instantáneos observados (Q_0) en los días próximos al 30 de noviembre de 1987, en las distintas cuencas, y los correspondientes caudales específicos referidos al área cubierta de nieve (q_0). Es importante señalar que por tratarse de caudales muy elevados en relación al escurrimiento que se registra habitualmente en los respectivos cauces, el error de estimación del caudal máximo se estima que puede ser de hasta un 20%.

Con el objetivo de analizar regionalmente el comportamiento de los caudales específicos, en el Cuadro N° 2 se incluyen además diversas variables que pudieran ayudar a caracterizar las cuencas para esos fines. Las variables consideradas son:

- Latitud media de la cuenca (Lat)
- Superficie total de la cuenca (St)
- Superficie cubierta de nieve el día 30 de noviembre de 1987 (Sn)
- Porcentaje de la superficie total cubierta con nieve el día 30 de noviembre (PSn)
- Elevación media de la superficie cubierta con nieve (Hn)
- Orientación de la cuenca, definida como el azimut del vector que sale del centro de la cuenca en dirección al punto de salida, expresado en grados sexagesimales (Az)
- Escurrimiento observado durante el período de deshielo del año anterior 1986/87, reducido a una lámina distribuida en la superficie total de la cuenca (Rn-1).

La información del Cuadro N° 2 ha permitido preparar las figuras N°s 3 a 5, donde se ha graficado el caudal específico en función de distintas variables explicativas. Del análisis de estos gráficos se destacan los siguientes aspectos:

- Las cuencas ubicadas desde el río Hurtado (Limarf) al norte, presentan caudales específicos sustancialmente menores al resto, con valores que fluctúan entre 36 y 122 l/s/Km². Por su parte las cuencas ubicadas al sur muestran caudales entre 153 y 287 l/s/Km², con un valor característico de 220-250 l/s/Km² (Fig. N° 3).
 - Se observa cierto grado de asociación entre la elevación media de la cobertura nival (Hn) y los caudales específicos (Fig. N° 4), y en menor medida con el logaritmo del escurrimiento de deshielo del año anterior (Rn-1), (Fig. N° 5). Cabe advertir que ambas variables explicativas muestran una distribución geográfica relativamente semejante, ya que las cuencas del sector norte de la zona en estudio son más altas y al mismo tiempo, debido a sus condiciones de aridez, presentan una escorrentía del año anterior reducida.
 - Las restantes variables consideradas en el análisis, evaluadas en forma individual, no muestran relación con los caudales específicos.
- La información del Cuadro N° 2 ha sido utilizada además para realizar

un análisis de correlaciones, cuyos resultados se incluyen en el Cuadro N° 3. En este análisis se confirma que la elevación media (Hn) de la cuenca, su latitud y el escurrimiento del período de deshielo del año anterior son las variables explicativas con un mejor coeficiente de correlación. A nivel de 2 y 3 variables, la combinación de ellas entrega un mejoramiento muy poco significativo, como lo demuestra la comparación de los errores estándar de las estimaciones.

4. COMPARACION CON LOS CAUDALES DEDUCIDOS EMPLEANDO PROCEDIMIENTOS PROPUESTOS EN ESTUDIOS ANTERIORES.

Los caudales máximos medidos durante el deshielo 1987/88 se han utilizado para verificar la validez de los métodos recomendados en el trabajo: "Procedimiento para la estimación de crecidas en cuencas nivales" (Peña et al. 1985). Dicha metodología consta básicamente de ciertas relaciones que permiten estimar la tasa de derretimiento y de una expresión mediante la cual se genera el caudal máximo diario a partir de la tasa de derretimiento y del caudal máximo del día anterior.

La ecuación para el cálculo de la escorrentía es la siguiente:

$$QP(n) = C1 QF(n) + C2 QP(n-1) \quad (1)$$

Por su parte la tasa de derretimiento se estima por bandas de igual elevación de la cuenca mediante una fórmula empírica propuesta para la alta cordillera de la zona central, que en días despejados tiene la forma:

$$M = 0,0768 BNET + 1,10 Ta + 4,89 \quad (2)$$

$$BNET = (1 - \alpha) ROCI + 0,59 \sigma Tka^4 - \sigma Tkn^4 \quad (3)$$

Para fines de diseño, como un procedimiento alternativo se entrega una curva envolvente superior de las tasas de derretimiento registradas a una elevación de 3750 msnm y el gradiente del derretimiento con la elevación.

Cabe destacar que este método supone que no se presentan pérdidas por percolación hacia acuíferos profundos, de vaciamiento muy lento, ni cambios en el almacenamiento de humedad del suelo. También asume que el manto nival se encuentra isoterma a 0° C y que no hay procesos de almacenamiento

Con el objetivo de analizar regionalmente el comportamiento de los caudales específicos, en el Cuadro N° 2 se incluyen además diversas variables que pudieran ayudar a caracterizar las cuencas para esos fines. Las variables consideradas son:

- Latitud media de la cuenca (Lat)
- Superficie total de la cuenca (St)
- Superficie cubierta de nieve el día 30 de noviembre de 1987 (Sn)
- Porcentaje de la superficie total cubierta con nieve el día 30 de noviembre (PSn)
- Elevación media de la superficie cubierta con nieve (Hn)
- Orientación de la cuenca, definida como el azimut del vector que sale del centro de la cuenca en dirección al punto de salida, expresado en grados sexagesimales (Az)
- Escurrimiento observado durante el período de deshielo del año anterior 1986/87, reducido a una lámina distribuida en la superficie total de la cuenca (Rn-1).

La información del Cuadro N° 2 ha permitido preparar las figuras N°s 3 a 5, donde se ha graficado el caudal específico en función de distintas variables explicativas. Del análisis de estos gráficos se destacan los siguientes aspectos:

- Las cuencas ubicadas desde el río Hurtado (Limarí) al norte, presentan caudales específicos sustancialmente menores al resto, con valores que fluctúan entre 36 y 122 l/s/Km². Por su parte las cuencas ubicadas al sur muestran caudales entre 153 y 287 l/s/Km², con un valor característico de 220-250 l/s/Km² (Fig. N° 3).
- Se observa cierto grado de asociación entre la elevación media de la cobertura nival (Hn) y los caudales específicos (Fig. N° 4), y en menor medida con el logaritmo del escurrimiento de deshielo del año anterior (Rn-1), (Fig. N° 5). Cabe advertir que ambas variables explicativas muestran una distribución geográfica relativamente semejante, ya que las cuencas del sector norte de la zona en estudio son más altas y al mismo tiempo, debido a sus condiciones de aridez, presentan una escorrentía del año anterior reducida.
- Las restantes variables consideradas en el análisis, evaluadas en forma individual, no muestran relación con los caudales específicos.

La información del Cuadro N° 2 ha sido utilizada además para realizar

un análisis de correlaciones, cuyos resultados se incluyen en el Cuadro N° 3. En este análisis se confirma que la elevación media (Hn) de la cuenca, su latitud y el escurrimiento del período de deshielo del año anterior son las variables explicativas con un mejor coeficiente de correlación. A nivel de 2 y 3 variables, la combinación de ellas entrega un mejoramiento muy poco significativo, como lo demuestra la comparación de los errores estándar de las estimaciones.

4. COMPARACION CON LOS CAUDALES DEDUCIDOS EMPLEANDO PROCEDIMIENTOS PROPUESTOS EN ESTUDIOS ANTERIORES.

Los caudales máximos medidos durante el deshielo 1987/88 se han utilizado para verificar la validez de los métodos recomendados en el trabajo: "Procedimiento para la estimación de crecidas en cuencas nivales" (Peña et al, 1985). Dicha metodología consta básicamente de ciertas relaciones que permiten estimar la tasa de derretimiento y de una expresión mediante la cual se genera el caudal máximo diario a partir de la tasa de derretimiento y del caudal máximo del día anterior.

La ecuación para el cálculo de la escorrentía es la siguiente:

$$QP(n) = C1 QF(n) + C2 QP(n-1) \quad (1)$$

Por su parte la tasa de derretimiento se estima por bandas de igual elevación de la cuenca mediante una fórmula empírica propuesta para la alta cordillera de la zona central, que en días despejados tiene la forma:

$$M = 0,0768 BNET + 1,10 Ta + 4,89 \quad (2)$$

$$BNET = (1 - \alpha) ROCI + 0,59 \sigma Tka^4 - \sigma Tkn^4 \quad (3)$$

Para fines de diseño, como un procedimiento alternativo se entrega una curva envolvente superior de las tasas de derretimiento registradas a una elevación de 3750 msnm y el gradiente del derretimiento con la elevación.

Cabe destacar que este método supone que no se presentan pérdidas por percolación hacia acuíferos profundos, de vaciamiento muy lento, ni cambios en el almacenamiento de humedad del suelo. También asume que el manto nival se encuentra isoterma a 0° C y que no hay procesos de almacenamiento

de agua líquida en la nieve.

En el presente trabajo los caudales máximos observados durante el deshielo 1987/88 se han comparado con:

- i) Los caudales que se obtienen con las expresiones (1), (2) y (3) y los antecedentes meteorológicos registrados entre el 20 de noviembre y el 5 de diciembre de 1987.
- ii) Los caudales máximos de diseño estimados con las mismas expresiones anteriores maximizando las condiciones meteorológicas y con el procedimiento de la curva envolvente.

El cálculo de la condición i) se efectuó con un gradiente de temperatura, de acuerdo a los valores medidos, de -0.72 °C/100 m, y un gradiente de radiación solar global de 4.4 Langley/100 m. El albedo de la nieve se estimó con la siguiente expresión deducida para la Cordillera Central:

$$\alpha = 0.88 - 0.0886 \log t \quad (4)$$

Los parámetros del modelo de escorrentía se dedujeron directamente de los hidrogramas del período analizado, adoptándose los valores medios de ese período.

Para el cálculo de los caudales máximos, condición ii), aplicando la fórmula de derretimiento, se consideró el valor de la temperatura media diaria más alta de la estadística, correspondiente a los meses de verano de las respectivas estaciones bases. Se asumió un albedo de 0.45 y la radiación de onda corta incidente se estimó aplicando un coeficiente de transparencia (CT) a la radiación teórica calculada al topo de la atmósfera. El coeficiente de transparencia se obtuvo de la relación proporcionada por (Peña et al, 1984), extrapolada hacia los niveles superiores en base a antecedentes entregados por Barry (1981), lo que permitió establecer la siguiente función:

$$CT = 0.3923 + 0.1468 \log H \quad (5)$$

La tasa de derretimiento mediante el método de la envolvente se estimó en 40 mm/día a 3750 msnm y se usó un gradiente de derretimiento con la elevación de -1.5 mm/100 m.

Los resultados obtenidos se resumen en el Cuadro N° 4 y en las Figuras N°s 6 y 7. El análisis de esta información permite hacer los siguientes

comentarios:

- Desde la cuenca del río Grande en las Ramadas hacia el sur, se observa en general una concordancia aceptable entre los caudales específicos observados y simulados, con diferencias entre ellos que no superan el 20%. Sin embargo se presentan 2 anomalías, ambas por exceso, correspondientes a las cuencas del río Juncal y del estero Arrayán. En el primer caso posiblemente la discrepancia está asociada al almacenamiento de agua líquida en el manto nival, fenómeno que en esa cuenca está favorecido por su elevación, la magnitud de la acumulación de nieves y la presencia de glaciares. En el segundo caso la causa puede encontrarse en las características geomorfológicas de la cuenca, la cual, si se considera la escasa variación estacional de su régimen hidrológico, debe disponer de una elevada capacidad de regulación lo que reduce el caudal peak por infiltración profunda del agua de deshielo.

- Al norte de la zona anterior se puede apreciar que los caudales observados son sustancialmente inferiores a los simulados. Se estima que este fenómeno tiene su origen en el hecho de que una parte significativa del derretimiento, debido a la aridez general de la zona, queda almacenada en la matriz del suelo o percola a acuíferos más profundos, de respuesta muy lenta. La posibilidad de que estas discrepancias se produzcan por una sobrevaloración de la tasa de fusión en las grandes alturas se ha desestimado, ya que no se observa en las cuencas ubicadas en la zona sur, las que tienen también sectores a gran altitud.

- Con el propósito de determinar el orden de magnitud de las pérdidas que se registraron en la zona norte del área de estudio, se ha calculado el valor de la tasa de pérdida constante que ajusta el caudal simulado a los valores del caudal máximo observado. Las tasas deducidas por ese procedimiento se entregan en el Cuadro N° 4. Se puede observar que en la zona norte las tasas de pérdidas fluctúan entre los 11 y los 8 mm/día, valores que son relativamente pequeños si se los compara con las tasas que se utilizan en los cálculos de crecidas pluviales. En la zona ubicada al sur del área de estudio las pérdidas son despreciables, lo que refleja el equilibrio que se alcanza entre la infiltración y el aporte del flujo subsuperficial a la escorrentía.

- Los caudales máximos calculados en las condiciones de diseño, como era de esperar, resultan mayores que los registrados. Sin embargo, mientras en el sector sur las diferencias son moderadas, en el norte ellas pueden

ser consideradas como excesivas, razón por la cual sería conveniente incorporar un término de pérdidas a los procedimientos de cálculo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio realizado ha permitido deducir las siguientes conclusiones y recomendaciones generales en relación al problema de la evaluación de los caudales máximos por derretimiento de nieves, en las cuencas de los Andes ubicadas entre los ríos Copiapó y Rapel:

- Los caudales específicos máximos (relativos a la superficie cubierta de nieves) están asociados principalmente con la latitud de la cuenca, la elevación media del área nival y su grado de aridez. Cabe advertir que en la muestra estudiada estas variables están relacionadas entre sí.
- Se ha podido comprobar que los métodos indirectos propuestos en estudios anteriores (Peña et al, 1985) para la evaluación de los caudales máximos en estas cuencas entregan, de acuerdo a los gastos medidos en 1987, resultados aceptables; siempre que no se presenten condiciones que impidan adoptar las hipótesis especificadas en su fundamentación. Estas hipótesis se refieren básicamente al papel del almacenamiento de agua líquida en el manto nival y en el suelo, y a la percolación hacia acuíferos de respuesta muy lenta.
- La aplicación de estos métodos en zonas áridas entregan valores superiores a los reales, por la importancia que adquieren las pérdidas en la hidrología de este tipo de cuencas. Esta limitación puede ser removida incorporando un término representativo de dichas pérdidas.
- Para la determinación más precisa de los caudales máximos generados por el derretimiento de un campo de nieve, resulta indispensable en el país el desarrollo de un programa de instrumentación de pequeñas cuencas, que permita controlar con un margen reducido de error las principales variables que intervienen en el proceso.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores desean agradecer la labor desarrollada por el Ing. Fernando Escobar en la primera fase de esta investigación.

SIMBOLOGIA:

QP (n)	: Caudal máximo instantáneo del día n (m ³ /s)
QF (n)	: Caudal de fusión del día n (m ³ /s)
QP (n-1)	: Caudal máximo instantáneo del día n-1 (m ³ /s)
C1 y C2	: Coeficientes
M	: Derretimiento diario (mm/día)
BNET	: Balance radiativo neto (Langley/día)
Ta	: Temperatura del aire (°C)
α	: Albedo
ROCI	: Radiación de onda corta (Langley/día)
Tka	: Temperatura del aire (°K)
Tkn	: Temperatura de la nieve (°K)
σ	: Constante Stefan-Boltzman
t	: Edad de la nieve (días)
CT	: Coeficiente de transparencia
H	: Elevación en m.s.n.m.
I	: Infiltración (mm/día)

BIBLIOGRAFIA:

- Peña, H.; Escobar, F. y Vidal F. (1985) "Procedimiento para la estimación de crecidas en cuencas nivales" VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica.
- Peña, H.; Vidal, F. y Escobar, F. (1985) "Estimación de tasas de derretimiento de nieves" VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica.
- Peña, H.; Vidal, F. y Salazar, C. (1984) "Balance radiativo del manto de nieve en la Alta Cordillera de Santiago" Jornadas de Hidrología de Nieves y Hielos en América del Sur. Programa Hidrológico Internacional (UNESCO).
- Peña, H. y Salazar, C. (1984) "Análisis de relaciones entre variables meteorológicas y la fusión de la nieve. Alta Cordillera de Santiago". Jornadas de Hidrología de Nieves y Hielos en América del Sur. Prog. Hidrol. Int. (UNESCO).
- Barry, R.G. (1981): "Mountain Weather and Climate". Methuen.

CUADRO N° 1
ESTACIONES FLUVIOMETRICAS CONSIDERADAS

SUBCUENCAS DE MONTAÑA	CUENCA	LAT(S)	LOH(O)	ELEV. msnm	SUP. Km ²
1 Pulido en Vertedero	Copiapó	28° 03'	69° 58'	1310	2108
2 Conay en Las Lozas	Huasco	29° 01'	70° 18'	1692	1866
3 El Toro antes La Laguna	Elqui	29° 58'	70° 05'	2116	1866
4 Turbio en Varillar	Elqui	29° 57'	70° 32'	860	498
5 Elqui en Algarrobal	Elqui	30° 00'	70° 35'	760	4148
6 Hurtado en San Agustín	Limarí	30° 27'	70° 32'	2035	5729
7 Grande en las Ramadas	Limarí	31° 01'	70° 36'	1380	656
8 Illapel en Las Burras	Choapa	31° 30'	70° 49'	1079	544
9 Choapa en Cuncumén	Choapa	31° 58'	70° 35'	1200	597
10 Blanco en Km 14	Aconcagua	32° 57'	70° 16'	1900	1091
11 Juncal en Juncal	Aconcagua	32° 53'	70° 09'	1800	306
12 Aconcagua en Chacabuquito	Aconcagua	32° 50'	70° 34'	1030	2897
13 Volcán en Queltehues	Maipo	33° 48'	70° 12'	1365	523
14 Maipo en Las Melosas	Maipo	33° 50'	70° 12'	1527	1488
15 Maipo en San Alfonso	Maipo	33° 44'	70° 18'	1108	2850
16 Arrayán en La Montosa	Maipo	33° 21'	70° 29'	880	219
17 Mapocho en Los Almendros	Maipo	33° 22'	70° 28'	1024	620
18 Pangal en Pangal	Rapel	34° 13'	70° 28'	1414	547

CUADRO N° 3

Rendimiento Especifico (qo) versus Variables Explicativas

Variabes Explicativas	Coefficiente de Correlación	Error Standard
Hn, LAT, Rn-1	0,881	39,8
Hn, Rn-1	0,868	41,8
Hn	0,858	42,6
LAT	0,772	52,7
Rn-1	0,735	57,1

ST Km ²	SN Km ²	PSn %	Hn msnm	AZ grados mm	Rn-1 mm	Qo m ³ /s	qo l/s/Km ²
28,00	2108	634	0,30	4732	240	16	36
28,80	1866	750	0,40	4556	277	20	61
29,75	498	326	0,65	4739	239	25	10-15
29,90	4148	1383	0,33	4457	334	32	56
30,00	5729	1883	0,33	4481	332	39	172
30,50	656	369	0,56	3936	297	30	45
31,00	544	313	0,58	3651	244	108	90
31,50	597	347	0,58	3367	234	80	84
32,00	1091	600	0,55	3854	335	247	153
32,85	306	254	0,83	3816	331	902	56
32,75	233	196	0,84	3782	327	858	30
32,60	2897	1454	0,50	3720	297	448	362
33,30	620	248	0,40	3540	244	681	58
33,20	219	87	0,40	3253	190	205	17
33,70	523	388	0,74	3721	272	1010	79
34,00	1488	1153	0,77	3590	332	985	271
33,85	2850	1751	0,61	3575	312	891	387
34,40	538	398	0,74	3580	278	-	92
							231

CUADRO N° 4

I	Qo mm/día	qo m ³ /s	Qs m ³ /s	qs l/s/Km ²	Qd(1) m ³ /s	qd(1) l/s/Km ²	Qd(2) m ³ /s	qd(2) l/s/Km ²
Pulido en Vertedero	11,3	23	36	104	164	157	202	319
Conay en Las Lozas	10,0	46	61	139	185	200	244	325
El Toro antes L. Lagunas	9,8	10-15	38	50	153	76	98	301
Turbio en Varillar	11,1	56	40	198	143	316	384	278
Elqui en Algarrobal	8,5	172	91	277	147	406	490	260
Hurtado en San Agustín	11,0	45	122	94	255	134	141	382
Grande en Las Ramadas	3,5	90	287	104	332	116	125	399
Llilapel en Las Burras	2,9	84	242	97	280	151	125	360
Choapa en Cuncumén	-	153	255	138	230	231	198	330
Bianco en Km 14	0,8	56	220	58	228	83	77	303
Juncal en Juncal	1,2	30	153	40	204	63	59	301
Aconcagua en Chacabuquito	-	362	248	339	232	483	445	306
Mapocho en Los Almendros	4,0	58	234	69	278	95	86	347
Arrayán en La Montosa	9,8	17	195	24	276	34	30	345
Volcán en Queltehues	2,8	79	204	89	229	132	122	314
Maipo en Las Melosas	1,3	271	235	287	249	403	367	318
Maipo en San Alfonso	1,9	387	221	419	239	611	555	317
Pangal en Pangal	4,9	92	231	113	284	157	139	349

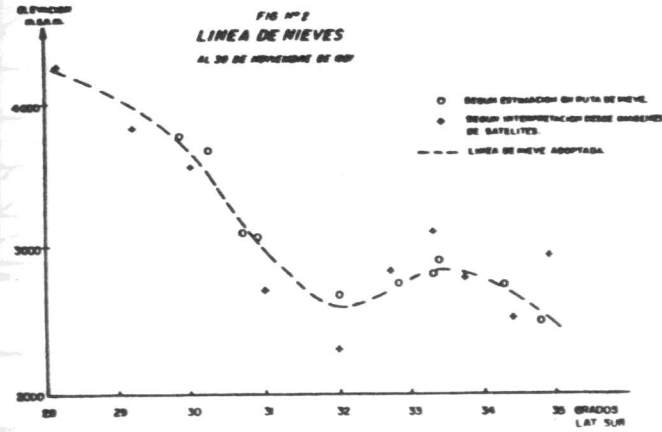
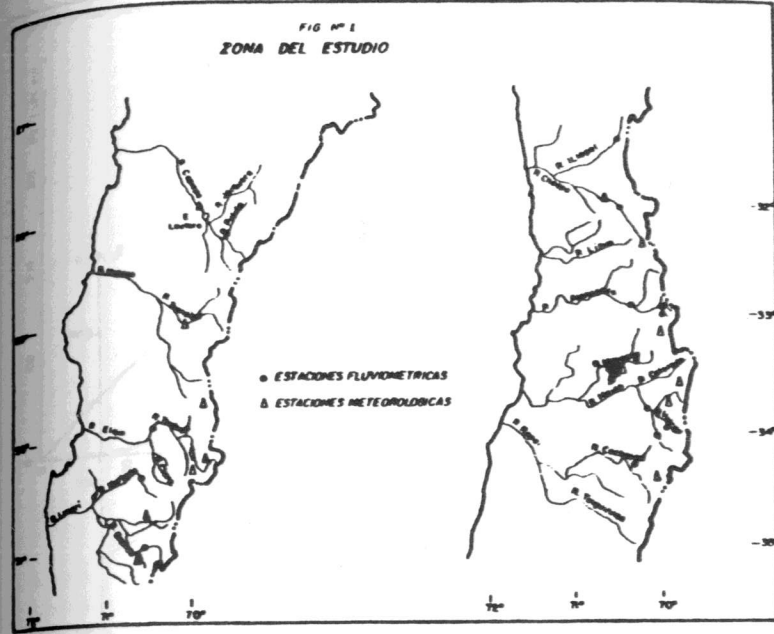
(1) según envolvente

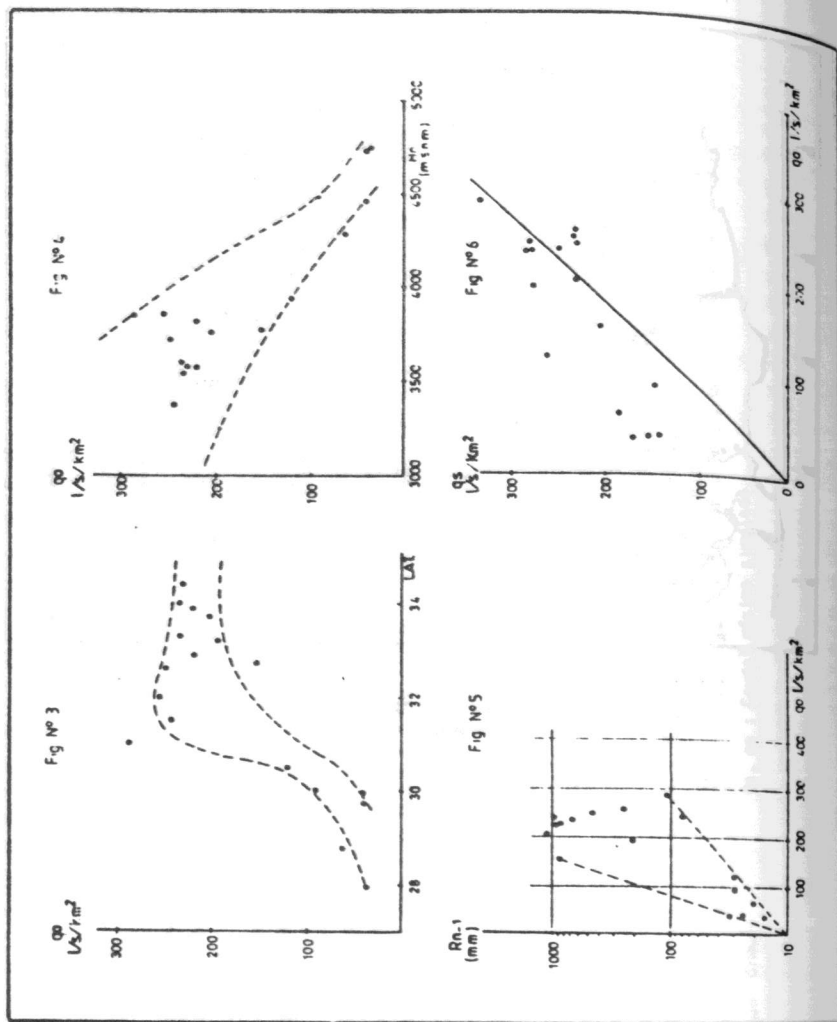
(2) según fórmula

Qo, qo : Caudal máximo observado

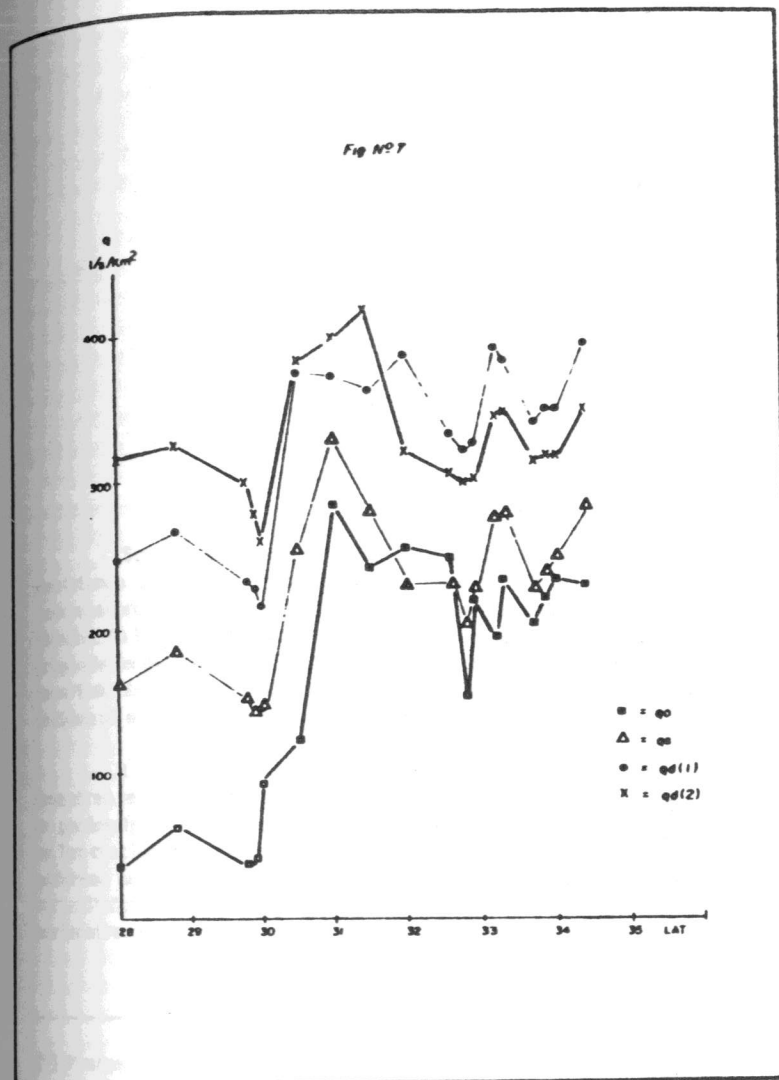
Qs, qs : Caudal máximo simulado

Qd, qd : Caudal máximo de diseño





614



111