

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

IX CONGRESO NACIONAL

**REGRESIONES REGIONALES PARA LA DERIVACION DE
INFORMACION A PRIORI DE CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS.**

XIMENA VARGAS M. (1)

SERGIO CORREA DEL R. (2)

RESUMEN

Se plantean ecuaciones de regresión en 3 zonas del país consideradas hidrológicamente homogéneas, las que sirven de base para extraer información a priori para el análisis de frecuencias Bayesiano de series de excedencias de caudales máximos instantáneos.

Se analizan los resultados en el contexto regional y se aplica la metodología a la cuenca definida por la estación Mapocho en Los Almendros, donde se compara la curva de frecuencias de los registros históricos, con la que se obtiene de considerar toda la información disponible.

(1) Ingeniero Civil. Profesora e Investigadora, Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile.

(2) Ayudante de Investigación, Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile.

1.-INTRODUCCION.

En Hidrología Aplicada, uno de los problemas más frecuentes que es necesario abordar, es la determinación del valor de la variable de diseño y su probabilidad asociada. Normalmente, esa variable corresponde al caudal máximo instantáneo, para la cual los registros históricos son escasos o inexistentes, en la mayoría de las cuencas de nuestro país. Resulta entonces de gran interés el poseer alguna metodología que permita inferir información acerca de esta variable, al menos en cuanto a su valor medio esperado.

Los métodos existentes para derivar dicha información comprenden desde complicados modelos precipitación-escurrimiento, los que en general requieren contar con periodos de información en la cuenca en cuestión, para la etapa de calibración, pasando por modelos tipo caja negra como el hidrograma unitario o hidrograma unitario sintético, hasta llegar a simples modelos de regresión derivados en regiones hidrológicamente homogéneas.

Esta última técnica ha sido aplicada por ejemplo por Mimikou y Gordios (1989) para estimar directamente los valores medios anuales del caudal diario e instantáneo en regiones homogéneas en Grecia. Para ello usan 11 estaciones con 17 y 15 años, respectivamente, de información de cada una de estas variables y obtienen errores porcentuales medios en la etapa de calibración del orden de 21 y 18% respectivamente. En la etapa de validación los errores aumentan levemente.

La fórmula de Verni y King (1977) derivada para nuestro país, puede también ser considerada como una aplicación de dicha técnica, en la cual, usando información de 12 estaciones se deriva una ecuación para el caudal máximo instantáneo asociado a un periodo de retorno, en función del área de la cuenca y de la precipitación máxima en 24 horas asociada al mismo periodo de retorno. El error porcentual promedio en la etapa de calibración resulta del orden de 18% para un periodo de retorno de 1000 años.

En los dos casos expuestos y otros citados en la literatura (Wood et al, 1974; Roy et al, 1989) se considera que una de las variables independientes es el área de la cuenca, la que se supone constante. Esta suposición, resulta inadecuada cuando el régimen de las cuencas es pluvio-nival, como sucede con un gran número de las cuencas en nuestro país. Por este motivo, en este trabajo se considera que el área pluvial aportante es variable de una tormenta a otra y que ella queda definida por la posición de la línea de nieves durante la tormenta, la que se considera función de la temperatura (Stowhas y Seguel, 1985).

La posición de la línea de nieves tendrá también influencia en la definición de otros parámetros geomorfológicos de la cuenca como son por ejemplo la longitud del cauce principal, pendiente media de la cuenca y altura media de ella, los que en consecuencia serán también variables de una tormenta a otra.

Para establecer las ecuaciones de regresión, se consideran las 3 regiones hidrológicamente homogéneas definidas, usando como variable el volumen de escorrentía directa, por Vargas et al (1988,1989) en la zona comprendida entre la cuenca del río Maipo por el norte y el río Maule por el sur. La metodología se aplica luego a la cuenca definida por la estación Mapocho en Los Almendros para derivar información a priori acerca de la media y desviación estándar de los caudales máximos instantáneos.

2.- INFORMACION BASICA.

Las cuencas que se consideran hidrológicamente homogéneas en la zona en estudio (Fig. 1) quedan definidas por las estaciones pluviométricas que se indican, junto con sus características principales, en la Tabla 1 y corresponden a las determinadas por Vargas et al (1988,1989). En dicha tabla se incluye también el nombre de la estación pluviométrica base considerada para estimar la precipitación media sobre la cuenca y de la estación termométrica usada para estimar la posición de la línea de nieve y definir el área pluvial aportante; también se

presentan los gradientes térmicos regionales (G) obtenidos del análisis de los gradientes observados durante tormentas, y los coeficientes de transformación (C) de la precipitación en una estación dada, a precipitación media en la cuenca, obtenidos del análisis de los mapas de isoyetas (Bonomelli, 1986) para un periodo de retorno de 20 años.

3.-METODOLOGIA

De acuerdo con los resultados obtenidos por Vargas et al (1988,1989) con la variable Volumen de Escorrentía Directa en este caso se seleccionó como primera variable a modelar, el caudal máximo instantáneo de escorrentía directa (Qi(ed)) debido a tormentas de origen pluvial; luego se plantearon relaciones para el caudal máximo instantáneo total (Qi(total)), ambos en m³/s. Las variables independientes consideradas para plantear las ecuaciones de regresión corresponden a: precipitación total de la tormenta (P) en mm.; precipitación máxima en 24 horas (P₂₄) en mm.; índice de precipitaciones antecedente (IPA) en mm., definido como la precipitación acumulada en los 30 días anteriores a la tormenta; duración de la tormenta (T) en días; área pluvial aportante (A) en Km², definida considerando que la precipitación en forma de nieve ocurre para una temperatura índice umbral de 1°C; pendiente del cauce principal (S) en m/m y altura media de la cuenca (H) en m.s.n.m..

Para plantear las relaciones, se considera en cada cuenca de la región la mayor cantidad de crecidas registradas en las que existe información concurrente de todas las variables involucradas. La bondad de la regresión se mide a través del error estándar de estimación (SE) corregido por el número de grados de libertad perdidos en la regresión (p) y del coeficiente de determinación (r²) que existe entre la variable observada (y_i) y su estimación (\hat{y}_i), expresados por:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)}} \quad (1)$$

$$r^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right) \quad (2)$$

Además de lo anterior, en cada caso se analizaban los residuos, verificando que ellos fueran homocedásticos; si ello no ocurría se modelaba la varianza de los residuos hasta encontrar la relación mas apropiada.

Finalmente, ya que la información a priori que se requiere corresponde a la de una serie de excedencias anuales, para estimar el valor medio de la variable, se consideran los n mayores valores de caudal simulado en cada cuenca, siendo n el número de años con información y la desviación se obtiene como la desviación estándar de dichos valores simulados.

4.- RESULTADOS

4.1.- Regresiones Regionales.

Región 1

En este caso en que las cuencas pertenecen a la hoya hidrográfica del río Maipo, se distinguen 2 relaciones para cada una de las variables en estudio; una de ellas es válida cuando el volumen medio diario de agua precipitado durante la tormenta (P·A)/T es menor que 10⁴ m³/día y la otra sería aplicable cuando dicha variable supera este valor.

En el primer caso, en que los 29 puntos usados en general pertenecen a la cuenca definida por la estación Puangue en Boquerón, se obtiene:

$$Qi(ed) = 0.90(0.33P^{1.4} + 5.5IPA^{0.35} - 9.15S^{0.79} + 25)^{1.01} A^{0.025} T^{-0.05} + 5.46 \quad (3)$$

$$r^2 = 0.637 \quad SE = 24.59 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Qi(total) = 1.056(0.042P^{1.23} + 3.6IPA^{0.85} - 8.7S^{0.76} + 28) A^{0.08} T^{-0.16} + 8.03 \quad (4)$$

$$r^2 = 0.713 \quad SE = 24.92 \text{ m}^3/\text{s}$$

En el segundo caso, se usaron 59 puntos observados con información concurrente de todas las variables explicativas; las relaciones obtenidas en ambos casos son sustancialmente diferen-

tes entre sí, en su forma, y diferentes a las de la situación anterior. Esto se aprecia continuación:

$$Q_i(\text{ed}) = 2.69 \cdot 10^{-5} P^{1.35} A^{1.05} 1.0027 I^{0.52} P_{24}^{0.32} + 46.88 \quad (5)$$

$$r^2 = 0.684 \quad SE = 96.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_i(\text{total}) = 0.0032 P^{1.89} A^{0.15} 1.0036 I^{0.1} + 0.123A + 31.65 \quad (6)$$

$$r^2 = 0.791 \quad SE = 82.89 \text{ m}^3/\text{s}$$

Región 2.

Para esta región que comprende las cuencas de las hoyas hidrográficas de los ríos Rapel y Mataquito, usando 106 puntos observados, las ecuaciones de regresión resultan:

$$Q_i(\text{ed}) = 0.063 P^{0.8} A^{0.91} 1.0006 I^{0.07} P_{24}^{0.02} + 141.09 \quad (7)$$

$$r^2 = 0.824 \quad SE = 156.43 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_i(\text{total}) = 0.0120 P^{0.74} A^{0.91} 1.00079 I^{0.12} + 152.83 \quad (8)$$

$$r^2 = 0.852 \quad SE = 169.32 \text{ m}^3/\text{s}$$

Región 3.

En esta región quedan incluidas las cuencas de la hoya hidrográfica del río Maule; en ella usando 77 puntos observados, las ecuaciones de regresión resultan:

$$Q_i(\text{ed}) = 0.0445 P^{0.72} A^{0.59} 1.0002 I^{0.11} P_{24}^{0.38} + 104.86 \quad (9)$$

$$r^2 = 0.701 \quad SE = 354.59 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_i(\text{total}) = 0.000295 P^{1.35} A^{0.61} 1.00078 I^{0.3} P_{24}^{0.59} + 0.197A + 222.83 \quad (10)$$

$$r^2 = 0.767 \quad SE = 357.59 \text{ m}^3/\text{s}$$

En las Figuras 2 y 3 se han representado en forma gráfica las relaciones para el caudal máximo de escorrentía directa y de escorrentía total, respectivamente. Se aprecia en promedio un buen comportamiento de las relaciones, lo que se ve reflejado en la Tabla 2 que muestra los valores medios de los mayores n valores en cada estación, siendo n el número de años con información disponible. En cuanto a las desviaciones estándar

res que se observan en la Tabla 3 para las series de excedencias, se constata en general, que los valores simulados tienen menor dispersión que los históricos.

4.2 Análisis de Frecuencias.

La metodología expuesta se ha aplicado a la cuenca definida por la estación pluviométrica Mapocho en Los Almendros, que pertenecería a la Región 1. Esta estación que controla los caudales de la parte alta del río Mapocho, está ubicada en las cercanías de la ciudad de Santiago, a la cota 940 m.s.n.m., siendo su área total aportante de 636.44 Km². Dado que los mapas de isoyetas trazados por Bonomelli (1986) no permiten derivar información acerca de la precipitación media sobre esta cuenca, se definió una relación que permita obtener la precipitación a una cota determinada (P(z)), en función de la precipitación registrada en la estación Quinta Normal (P_{5N}) y de la cota (z) correspondiente. Esta relación que se presenta en la Figura 4, se expresa como:

$$P(z) = -9.3 \cdot 10^{11} z^{-3.9} + 2.667 P_{5N}^{0.83} + 3.5832 \quad (11)$$

$$r^2 = 0.879 \quad SE = 27.5 \text{ mm}$$

Usando la relación anterior, para la cota media de la cuenca, la que depende de la temperatura índice de la tormenta, se determina, usando la ecuación (4), el caudal máximo instantáneo total para las 36 mayores tormentas en el período comprendido entre 1952 y 1987; luego se calcula el valor medio de estos caudales (μ) y la desviación estándar (σ) que ellos poseen. Estos valores se consideran como información a priori a usar para el análisis de frecuencias Bayesiano (Vargas et al, 1987) en conjunto con las varianzas de estos estadígrafos las que se supone pueden estimarse en función de las desviaciones porcentuales obtenidas con las estaciones de la región (Tablas 2 y 3). Lo anterior entregó como resultado la siguiente información a priori:

$$E[\mu/I_0] = 57.13 \text{ (m}^3/\text{s)} \quad V[\mu/I_0] = 1.175 \text{ (m}^3/\text{s)}^2$$

$$E(\sigma/I_0) = 16.09 \text{ (m}^3/\text{s)} \quad V(\sigma/I_0) = 42.48 \text{ (m}^3/\text{s)}^2$$

En la Figura 5 se puede apreciar que, considerando los últimos 10 años de información registrada ($E(\mu) = 70.45 \text{ m}^3/\text{s}$, $E(\sigma) = 63.84 \text{ m}^3/\text{s}$) la muestra histórica ($N=10$) sobreestima los caudales para un periodo de retorno dado, mientras que la información a priori los subestima. Además, se observa que ambos tipos de información al ser usados conjuntamente, a través del análisis de frecuencias Bayesiano (BAY), conducen a resultados más próximos a los reales ($N=36$). La función densidad de frecuencias ajustada para realizar los análisis corresponde a la logarítmica normal. Hay que hacer notar que en algunos años no se dispone de registros pluviométricos observados, por lo cual estos fueron estimados a partir de la fórmula regional o usando regresiones con el caudal máximo medio diario.

5.- CONCLUSIONES.

Se ha presentado una metodología que permite estimar adecuadamente los valores esperados de la media de una serie de excedencias de caudales máximos instantáneos, en toda la zona en estudio. En cuanto a las desviaciones estándares, la metodología no parece enteramente satisfactoria si se observan los errores porcentuales (EP) indicados en las Tablas 2 y 3. Esto se ve también reflejado en la aplicación para la cuenca del río Mapocho en la estación Mapocho en Los Almendros, al usar sólo la información a priori para estimar la curva de frecuencias de la variable (cuando no existe información registrada) donde los valores inferidos para periodos de retorno altos, resultan notoriamente subestimados.

Los resultados hasta ahora obtenidos pueden considerarse promisorios, recomendándose investigar procedimientos adicionales para la determinación de la desviación estándar.

Referencias Bibliográficas.

- Bonomelli A., 1986 "Mapas de Isoyetas de Precipitaciones Máximas en 24-48-72 Horas para Diferentes Períodos de Retorno" Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

- Mimikou M y J. Gordios, 1989 "Regional Analysis of the Mean Annual Flood and of Flood Frequency Characteristics" New Directions for Surface Water Modeling. IAHS Publication N°181 pp 271-282

- Roy R., Bobée B., Ashkar A y F. Roberge, 1989 "Regional Flood Frequency Analysis Using Ridge Regressions" New Directions for Surface Water Modeling. IAHS Publication N°181 pp 293-300

- Seguel R. y L. Stovhas, 1985 "Estimación de Crecidas de Diseño en Cuencas Mixtas Pluvio- Nivales" VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica. Concepción, Chile. Vol 2 pp 317-336

- Vargas X., Brown E. y C. Andreani, 1988 "Uso de Información Regional para la Estimación de Crecidas" Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile. CRH 88-54-I

- Vargas X., Brown E. y C. Andreani, 1989 "Curvas de Frecuencias Regionales para la Variable Volumen de Escorrentía Directa" IX Congreso de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Santiago, Chile

- Vargas X., Brown E. y J.P. Armas, 1987 "Información a Priori en el Análisis de Frecuencias Bayesiano. I Información Empírica" VIII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Santiago, Chile. Vol 2 pp 183-198

- Vargas X., Brown E. y J.P. Armas, 1987 "Información a Priori en el Análisis de Frecuencias Bayesiano. II Análisis de Sensibilidad y Uso de Información Subjetiva" VIII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Santiago, Chile. Vol 2 pp 199-212

- Verni F. y E. King, 1977 "Estimación de Crecidas en Cuencas No Controladas" III Coloquio Nacional de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Santiago, Chile. pp 357-374

- Wood E., Rodríguez-Iturbe I y J Schaafe, 1974 "The Methodology of Bayesian Inference and decision Making Applied to Extreme Hydrologic Events" Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics. MIT. Report N° 178

Agradecimientos.

Los autores desean expresar sus agradecimientos al ayudante de investigación Sr. Oscar Peluchonneau por la colaboración brindada durante el desarrollo de este trabajo. Además al Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico y al Departamento Técnico de Investigación de la Universidad de Chile por el financiamiento parcial logrado a través de los proyectos 1008-89 y 2841-8812, respectivamente.

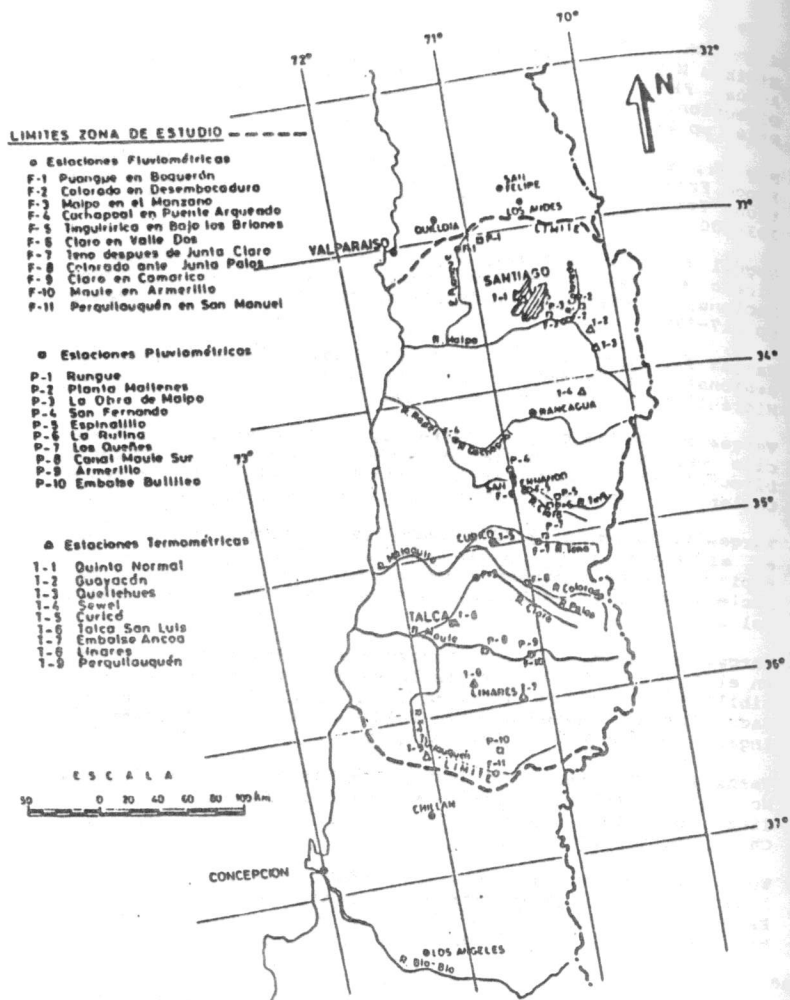


FIG. 1

MAPA DE UBICACION GENERAL

TABLA 1

CARACTERISTICAS DE LAS CUENCAS

GRADIENTE TERM. REG. ($^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$)	CUENCA ESTACION FLUV.	AREA TOTAL (Km ²)	AL-TURA (mnm)	ESTACION TERM. NOMBRE	AL-TURA (mnm)	ESTACION FLUV. NOMBRE	AL-TURA (mnm)	C
1	Puangué en Boquerón	149	488	Q. Normal	520	Rungue	750	1.121
	Colorado en Desemb.	1687	890	*Q. Normal	520	P. Maitenes	1140	1.353
	Maipo en El Manzano	4876	850	*Guayacán *Queltehues	1060 1365	La Obra	799	1.390
2	Cachapoal P. Arqueado	6497	117	Sewall	2155	San Fernando	330	0.873
	Tinguiririca B. Briones	1461	518	Curicó	225	Espinalillo	890	0.996
	Claro en Valle Dos	367	476	Curicó	225	La Rufina	735	0.972
	Teno Desp. Jta. Claro	1999	880	Curicó	225	Los Queñes	671	1.256
	Colorado a. Jta. Palos	880	600	Curicó	225	Los Queñes	671	1.337
3	Claro en Camarico	747	220	Talca S. Luis	122	C. Maule Sur	280	1.105
	Maule en Armerillo	5475	450	Emb. Ancoa	220	Armerillo	475	0.710
	Perquillauquén S. Manuel	389	293	Linares Perquillau.	137 160	E. Bullileo	600	0.943

* Según la información disponible, se usa cualquiera de estas estaciones.

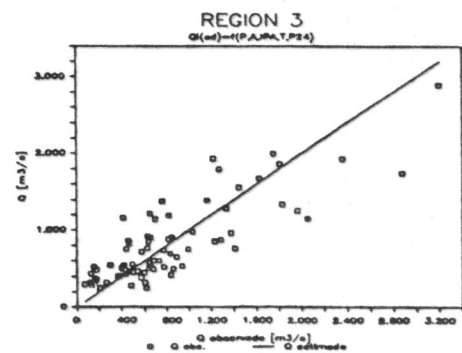
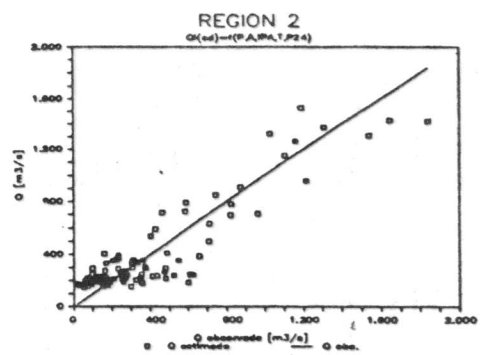
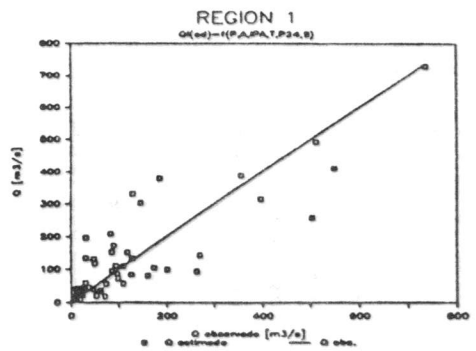


FIG. 2 CAUDAL MAXIMO INSTANTANEO DE ESCORRENTIA DIRECTA

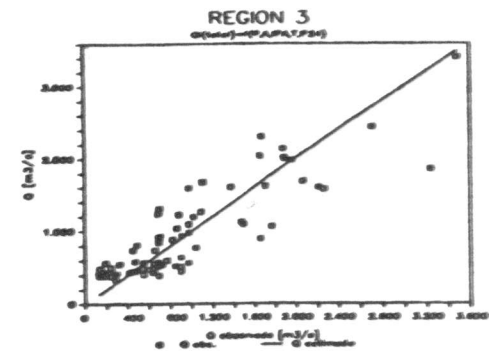
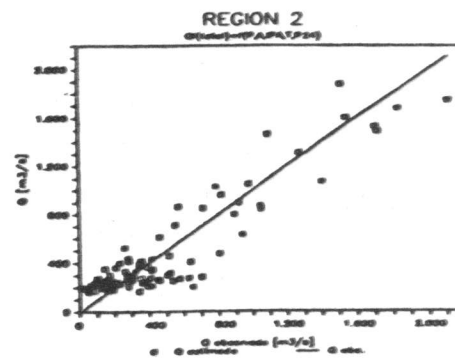
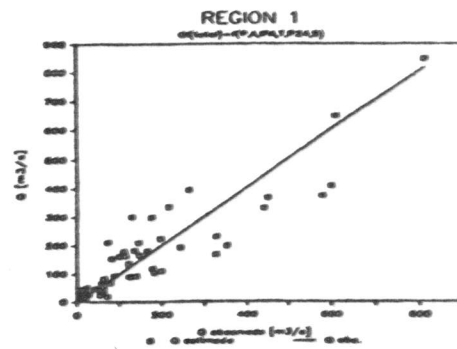


FIG. 3 CAUDAL MAXIMO INSTANANEO TOTAL

TABLA 2

VALORES MEDIOS DE LAS SERIES DE EXCEDENCIAS ANUALES

ESTACION	Qi(ed) (m ³ /s)			Qi(total) (m ³ /s)		
	OBS.	EST.	EP(%)	OBS.	EST.	EP(%)
Puangue en Boquerón	37.9	37.1	2.1	39.8	40.7	2.2
Colorado en Desemb.	132.7	108.1	*	157.0	134.6	*
Maipo en El Manzano	230.0	228.8	0.5	276.3	271.9	1.6
Cachapoal en P.Arqueado	1026.6	1007.2	1.9	1215.8	1191.3	2.0
Tinguiririca B. Briones	304.6	263.3	13.6	342.9	299.5	12.7
Claro En Valle Dos	193.6	219.2	13.2	207.7	246.5	18.7
Teno Después de Junta	433.8	237.4	*	509.6	270.2	*
Colorado en Junta Palos	299.5	312.0	4.2	342.2	357.5	4.8
Claro en Camarico	578.0	608.7	5.3	622.3	620.3	0.3
Maule en Armerillo	1732.3	1591.4	8.1	2024.4	1886.1	6.8
Perquilauquén S.Manuel	684.5	608.5	11.1	732.5	688.6	8.7

(*) La muestra no tiene suficientes datos como para considerar representativos estos valores.

FIG. 4 GRADIENTE PLUVIOMETRICO

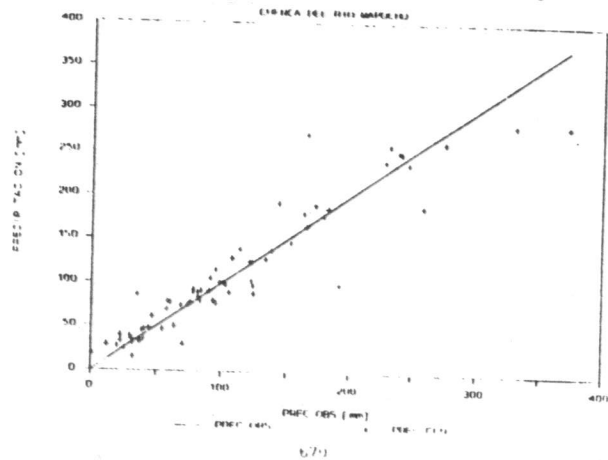


TABLA 3

DEVIACIONES ESTANDARES DE LAS SERIES DE EXCEDENCIAS ANUALES

ESTACION	$\sigma(Qed)$ (m ³ /s)			$\sigma(Qtotal)$ (m ³ /s)		
	OBS.	EST.	EP(%)	OBS.	EST.	EP(%)
Puangue en Boquerón	31.4	20.6	34.3	31.3	20.2	35.5
Colorado en Desemb.	21.4	21.4	*	18.7	25.1	*
Maipo en El Manzano	199.5	154.7	22.5	192.7	165.8	14.0
Cachapoal en P.Arqueado	353.9	309.9	12.4	401.6	362.7	9.7
Tinguiririca B. Briones	104.3	58.4	44.0	109.1	69.1	36.6
Claro En Valle Dos	119.6	34.6	71.1	120.2	37.5	68.9
Teno Después de Junta	156.4	51.9	*	161.7	60.4	*
Colorado en Junta Palos	83.9	89.5	6.6	85.7	99.8	16.5
Claro en Camarico	124.5	221.8	78.2	127.3	204.4	60.4
Maule en Armerillo	566.6	431.0	23.9	567.9	482.2	15.1
Perquilauquén S.Manuel	212.7	164.4	22.7	212.2	228.7	7.8

(*) La muestra no tiene suficientes datos como para considerar representativos estos valores.

FIG. 5 CURVAS DE FRECUENCIAS

