



01162
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

Estimación Conjunta de Gasto Pico y
Volumen Total de Avenidas

QUE PRESENTA:

JOSÉ GUADALUPE
FABIÁN RIVERA TREJO

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA

DIRIGIDA POR:

Dr. Carlos A. Escalante Sandoval



Ciudad Universitaria, México D.F., Agosto de 1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Por el gran apoyo que siempre me han brindado y una paciencia inagotable

A mis queridos padres:

Eloy y Esperanza

Por los momentos que compartimos juntos y nos unen

A mis hermanos:

Ivan, Manolo y Osiris

Por traer una alegría a toda la casa

A la nueva familia:

Ivan, Gela y Mariana

Por representar el más grande de mis orgullos:

A mi patria:

México

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido, sin el cual hubiera sido muy difícil finalizar esta meta.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a todos aquellos que comparten su entusiasmo engrandeciendo aún más a la institución.

Al Dr. Carlos A. Escalante Sandoval pieza motivadora y fundamental en la realización de este trabajo.

Al Dr. Gabriel Echavez Aldape, Dr. Jesús Gracia Sánchez, Dr. Oscar Fuentes Mariles y Dr. Rolando Springall Galindo por su tiempo y acertados comentarios que enriquecieron este trabajo.

Al M.I. Moisés Berezowsky Verduzco quien no solamente me transmitió conocimientos, sino que también me enseñó que la parte humana es más importante.

Al M.I. Gabriel Soto Cortés amigo de muchas "batallas", sin el cual estos años de estudio no hubieran sido tan productivos.

Al Dr. Arturo Trejo ejemplo de dedicación y constancia, del cual aprendí a darle valor a las cosas.

A la Ing. Patricia Rivera que me ha apoyado a lo largo de todo mi desarrollo profesional.

Al Ing. Cesar Balderas por compartir sus conocimientos en momentos esenciales de mi vida.

Al Ing. Javier Castro a quien debo parte de mi formación profesional.

Al Ing. Baldemar Méndez y al M.I. Alberto Kampfner parte del "equipo" sin cuya amistad y apoyo estos años no hubieran sido lo mismo.

A todos mis maestros y compañeros de estos tiempos.

contenido...



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
RESUMEN.....	2
ANTECEDENTES	
<i>Distribución de valores extremos en el análisis hidrológico.....</i>	<i>3</i>
<i>Modelos diferenciales para distribuciones bivariadas de valores extremos.....</i>	<i>4</i>
<i>Aplicación de las distribuciones bivariadas de valores extremos en hidrología.....</i>	<i>5</i>
<i>Hidrogramas de valores extremos con probabilidad conjunta.....</i>	<i>7</i>
<i>Desarrollo del Modelo.....</i>	<i>7</i>
<i>Ventajas del Modelo.....</i>	<i>8</i>
<i>Desventajas del Modelo.....</i>	<i>8</i>
CAPITULO 1 MÉTODOS EXISTENTES PARA LA ESTIMACIÓN DEL GASTO PICO Y VOLÚMENES DE DESCARGA	
<i>1.1 Método tradicional “Mayoración”.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2 Método sudafricano “Hidrograma de avenidas extremas con probabilidad elegida”.....</i>	<i>11</i>
<i>1.3 Método NERC “Estimación de volúmenes para distintas duraciones”.....</i>	<i>16</i>
<i>1.4 Método desarrollado por el 1.1 y la C.F.E.....</i>	<i>19</i>
CAPITULO 2 ESTIMACIÓN CONJUNTA DE AVENIDAS PICO Y VOLÚMENES DE DESCARGA (MÉTODO PROPUESTO)	
<i>2.1 Estimación conjunta de avenidas pico y volúmenes de descarga.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2 Características del modelo logístico.....</i>	<i>21</i>
<i>2.3 Procedimiento de solución.....</i>	<i>22</i>
<i>2.4 Métodos numéricos de solución de ecuaciones simultáneas no lineales.....</i>	<i>25</i>
<i> 2.4.1 Método del punto fijo multivariable.....</i>	<i>25</i>
<i> 2.4.2 Método de Newton-Rapshon.....</i>	<i>27</i>
<i>2.5 Aplicación del algoritmo de solución a la estimación conjunta.....</i>	<i>29</i>

CAPITULO 3 APLICACIÓN DEL MODELO A DISTINTAS ESTACIONES.

<i>3.1 Estación ÁLAMCOS.....</i>	<i>33</i>
<i>3.2 Estación BAMICORI.....</i>	<i>42</i>
<i>3.3 Estación SAN IGNACIO.....</i>	<i>50</i>
<i>Resultados resumidos correspondientes a 22 estaciones.....</i>	<i>60</i>

CAPITULO 4 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS EXISTENTES

<i>4.1 Método de Mayoración.....</i>	<i>82</i>
<i>4.1.1 Estación Álamos.....</i>	<i>82</i>
<i>4.1.2 Estación Bamicori.....</i>	<i>88</i>
<i>4.1.3 Estación San Ignacio.....</i>	<i>94</i>
<i>4.2 Método sudafricano.....</i>	<i>99</i>
<i>4.2.1 Estación Álamos.....</i>	<i>99</i>
<i>4.2.2 Estación Bamicori.....</i>	<i>105</i>
<i>4.2.3 Estación San Ignacio.....</i>	<i>109</i>
<i>4.3 Método NERC.....</i>	<i>113</i>
<i>4.3.1 Estación Álamos, Bamicori y San Ignacio..</i>	<i>113</i>
<i>4.4 Método del I.I y la C.F.E.....</i>	<i>133</i>
<i>4.4.1 Estación Álamos.....</i>	<i>133</i>
<i>4.4.2 Estación Bamicori.....</i>	<i>138</i>
<i>4.4.3 Estación San Ignacio.....</i>	<i>143</i>

CAPITULO 5 COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS EXISTENTES Y EL PROPUESTO.

5.1	<i>Comparación entre los métodos existentes y el método de Estimación Conjunta (propuesto)..</i>	147
5.2	<i>Discusión global de los resultados obtenidos con los distintos métodos comparados contra los datos observados.....</i>	164
5.3	<i>Obtención de gastos y volúmenes de diseño para 50, 100 y 500 años de periodo de retorno, usando los métodos disponibles.....</i>	166
5.4	<i>Discusión de los resultados obtenidos usando los métodos disponibles para estimar eventos de diseño.....</i>	183

CAPITULO 6 CONCLUSIONES

6.1	<i>Conclusiones.....</i>	185
-----	--------------------------	-----

<i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	187
--------------------------	-----

<i>APÉNDICE "A" LISTADO DEL PROGRAMA "ESTIMACIÓN CONJUNTA".</i>	189
---	-----

<i>APÉNDICE "B" LISTADO DEL PROGRAMA "MÉTODO SUDAFRICANO".</i>	191
--	-----

<i>APÉNDICE "C" LISTADO DEL PROGRAMA "MÉTODO NERC".....</i>	196
---	-----

<i>APÉNDICE "D" LISTADO DEL PROGRAMA "MÉTODO II-CFE".....</i>	197
---	-----

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

La humanidad desde sus orígenes ha observado cuidadosamente a la naturaleza con la finalidad de estudiar detalladamente todos los procesos involucrados en ella, para controlarla y utilizarla de la mejor forma.

Toda sociedad empieza a crecer una vez que sus necesidades primarias han sido cubiertas, entre las cuales la alimentación siempre a ocupado el papel principal. Debido a esta razón gran parte del desarrollo tecnológico va enfocado hacia esta área; dando paso así a manipulaciones genéticas de los cultivos, maquinaria altamente complicada, etc., aunado a esto se han implantado distintas técnicas de siembra y estudios del suelo; pero aún existe un factor en el cual el hombre tiene muy poca injerencia, y es el relacionado con la lluvia, fenómeno regido por las leyes naturales.

Hasta entonces el ser humano se limitaba a estudiar lo que llamó ciclos naturales, y a tratar de predecir de la manera mejor posible cuando y con que magnitud se presentarían dichos eventos; tarea que resultó muy difícil dada sus características.

En la actualidad, auxiliándose de técnicas probabilísticas es posible predecir de manera hasta cierto punto confiable la frecuencia con que se presentan los escurrimientos, pero con esto no basta, es necesario también ser capaces de estimar la intensidad que tendrán para establecer el gasto máximo que se alcanzará y el volumen de agua que puede esperarse, datos de vital importancia

para aprovechar el recurso de manera óptima. Esto será posible por medio de obras de almacenamiento, las cuales tienen una fuerte repercusión económica, causa suficiente para requerir de un diseño adecuado dadas las características propias de cada región, por lo tanto para su control y regulación es necesario contar con datos confiables acerca de las variables involucradas.

Así durante las últimas décadas, gran parte de la investigación en hidrología se a encausado hacia la predicción de gastos y volúmenes de descarga, y aunque ambos parámetros tiene gran influencia en el diseño, la mayor parte de los modelos desarrollados solo son capaces de arrojar resultados con base en el gasto máximo esperado, dejando en segundo término su volumen.

Es lógico pensar que en eventos de esta índole, donde el gasto y el volumen van ligados de forma natural, necesariamente deberían estar relacionados por modelos que sean capaces de proporcionar información conjunta de estas variables.

Hoy en día es posible emplear métodos que estiman gasto máximo y volumen de manera conjunta, entre ellos se cuenta con un método desarrollado en Sudáfrica, y uno del Natural Environment Research Council. En este trabajo se propone un método alternativo a estos y que podría ser de gran utilidad para aplicaciones posteriores.

RESUMEN



RESUMEN

Avenidas de valores extremos definidas por su pico máximo y su volumen total son de fundamental importancia para hidrólogos de todo el mundo, pues para el diseño de obras de almacenamiento y protección es indispensable disponer de forma confiable de esta información.

La estimación de eventos extremos frecuentemente se realiza en forma aislada; es decir se utilizan distribuciones de probabilidad marginales, las cuales en la mayoría de los casos se enfocan hacia la predicción de picos máximos y se deja en segundo término el cálculo de los volúmenes, pero, ¿que criterio hace válida una separación de este tipo?, es decir, en realidad estimar estos eventos en forma aislada, ¿no contradice la naturaleza misma del fenómeno?. Dado el vínculo existente entre ellos todo nos hace pensar que sí, salvo en casos particulares en que solo importe conocer el gasto pico de la avenida y por lo tanto es posible dejar a un lado su volumen e inclusive su forma.

Por ejemplo en casos donde la probabilidad de una avenida empieza a igualar o exceder los términos de la descarga pico, entonces el volumen adquiere gran importancia, en cuyo caso conocer el pico de la avenida y su probabilidad de excedencia no es suficiente.

Es necesario por tanto describir a estos eventos extremos de manera que se relacionen lógicamente y naturalmente entre sí, lo cual se logra mediante una

función de distribución bivariada, la cual es propuesta con fin de lograr una probabilidad conjunta de una avenida que empieza a exceder en términos de la descarga pico y el volumen.

Así conocer estas técnicas y aplicarlas empieza a tener gran auge dentro del campo de la hidrología; en este trabajo se propone para la estimación conjunta de eventos extremos la solución de un sistema de ecuaciones no lineales, teniendo como base métodos numéricos en un proceso que involucra 4 variables reales. Las cuales son: descarga pico (Q_p), volumen total (V_t), volumen antes de la descarga pico (V_p) y volumen después de la descarga pico (V_d).

Las relaciones bivariadas Q_p-V_t , Q_p-V_p , Q_p-V_d y V_p-V_d son modeladas usando la distribución de probabilidad de valores extremos tipo I (Gumbel).

La naturaleza misma de las ecuaciones llevan consigo una gran dificultad, y es que al tener varias exponenciales, estas son muy sensibles a pequeños cambios, lo que origina una gran dificultad en el proceso de convergencia, por tal motivo se propone como alternativa de solución un método numérico en el cual se busca acotar la solución y limitarla hacia ciertas restricciones impuestas por la naturaleza misma del fenómeno.

La aplicación de este método se hizo con datos de 22 estaciones localizadas en el norte de México.

ANTECEDENTES



ANTECEDENTES.

DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXTREMOS EN EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO.

El uso de distribuciones de valores extremos ha crecido en los últimos 50 años, sobre todo dentro del campo de la hidrología, principalmente en lo que respecta al análisis de frecuencias de eventos máximos y mínimos. Las distribuciones univariadas han tenido gran avance como soluciones al Postulado de Estabilidad, el cual en algún extremo se puede satisfacer. Jenkinson (1955)¹ encontró la solución general al Postulado de Estabilidad, y algunos autores después de él la llamaron solución general de valores extremos. Esta distribución es capaz de representar a las distribuciones de valores extremos tipo II y III directamente, y cuando se lleva al límite el parámetro de forma ($\beta \rightarrow 0$), el resultado empieza a parecerse a la distribución del tipo I.

En artículos pioneros Finkelstein (1953)², Gumbel (1958)³ y Tiago de Oliveira (1958)⁴ propusieron los fundamentos para las aproximaciones multivariadas de las distribuciones de valores extremos. Después de estos trabajos, algunos modelos de distribución bivariada de valores extremos empezaron a surgir en la literatura. Dos tipos de ellos son conocidos como los modelos diferenciales y los no diferenciales, entre estos últimos están los biextremos (Tiago de Oliveira 1982), Gumbel y los modelos naturales.

Debido a que desde sus inicios estos modelos no tienen su función de densidad de probabilidad explícita, la estimación de sus parámetros se dificulta mucho, y debido a que ellos han sido desarrollados para casos particulares como son cuando ambas marginales son distribuciones Gumbel, no se hará una descripción de ellas sino que se pueden referir a Tiago de Oliveira (1982) para detalles adicionales.

Dos modelos diferenciales conocidos para distribuciones bivariadas de valores extremos son: los modelos logísticos y los modelos combinados. Los nombres de los modelos (Tiago de Oliveira 1982)⁵ han sido dados con base en las diferencias existentes de las variables reducidas.

Cuando ambas distribuciones marginales no son Gumbel, entonces se estandarizan usando la distribución logística como primer caso. En segundo caso, los modelos tienen dependencia de una función que empieza a ser una combinación de funciones para los casos de dependencia e independencia, cuando las distribuciones marginales son Gumbel.

Las características generales y la extensión multivariada de estos modelos se muestran a continuación.

MODELOS DIFERENCIALES PARA DISTRIBUCIONES BIVARIADAS DE VALORES EXTREMOS

Hay solamente dos modelos diferenciales conocidos: los logísticos y los combinados

La forma general de los modelos logísticos para distribuciones bivariadas de valores extremos es (Gumbel, 1960b):

$$f(x, y, \theta) = \exp - \left[(-\ln F(x))^m + (-\ln F(y))^m \right]^{\theta}$$

donde m es el parámetro de asociación, $F(u)$ es la función de distribución marginal de u , $m \geq 1$ y $0 \leq \theta \leq 1$, donde θ es el coeficiente de correlación poblacional y θ es el vector de parámetros del modelo.

Para $m=1$, el caso independiente, la función de distribución bivariada es igual al producto en sus marginales:

$$F(x, y) = F(x)F(y) \text{ o } f(x, y) = f(x)f(y)$$

cuando $m=\infty$, la función de distribución bivariada es (Johnson & Kotz, 1972):

$$F(x, y, \infty) = \min[F(x), F(y)]$$

Este es el caso diagonal y para el caso cuando ambas marginales son distribuciones Gumbel, este punto es solamente uno que tiene densidad planar.

En este caso es posible obtener analíticamente una expresión para coeficiente de correlación para el momento poblacional (Gumbel, 1967):

$$\rho = (1 - 1/m^2)$$

en el caso de los modelos combinados, su forma general es (Gumbel, 1963a):

$$f(x, y, \alpha) = F(x)F(y) \exp \left\{ \alpha \left[\frac{1}{(-\ln F(x))} + \frac{1}{(-\ln F(y))} \right]^{-1} \right\}$$

donde α es el parámetro de asociación, $0 \leq \alpha \leq 1$ y $0 \leq \theta \leq 1$ ó ∞ .

Para el caso $\alpha=0$, la distribución bivariada se puede dividir en el producto mostrado en la segunda ecuación, y este es el caso independiente. Cuando $\alpha=1$, la dependencia completa es observada, pero, en este no es el caso diagonal.

Este tipo de modelo tiene densidad planar en todos los puntos cuando sus distribuciones marginales son ambas del tipo Gumbel. Cuando la última condición es conocida, es posible obtener una expresión analítica para el coeficiente de correlación poblacional (Tiago de Oliveira 1982) como la siguiente:

$$\rho = \frac{6}{\pi^2} \arccos\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)^2$$

De las características y propiedades de los modelos diferenciales para distribuciones bivariadas de valores extremos, Tiago de Oliveira (1982) menciona: "Esto es, entonces, intuitivo que la distancia entre la independencia ($m=1$) y el modelo asumido para $m>1$ es pequeña en general, y para una muestra corta es muy probable que sea imposible distinguirla", en el caso de un modelo logístico.

Para el caso de un modelo combinado, el comentario: "La pequeña variación del coeficiente de correlación y la distancia muestra que la desviación de la independencia es pequeña y muy difícil de detectar".

De estas sentencias, el modelo logístico puede ser elegido, debido a su gran flexibilidad y amplia aplicación.

APLICACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES BIVARIADAS DE VALORES EXTREMOS EN HIDROLOGÍA.

Cuatro campos principales de aplicación de las distribuciones bivariadas de valores extremos han sido detectados:

- (a) Identificación del tipo de distribución de valores extremos*
- (b) Mejora en el proceso de estimación de parámetros*
- (c) Transferencia de información hidrológica*
- (d) Análisis de frecuencias en redes de ríos.*

A continuación se describirán cada uno de estos puntos por separado.

(a) *Identificación del tipo de distribución de valores extremos.*

Usando las propiedades de los modelos logísticos donde su diferencia estriba en la distribución logística cuando ambas distribuciones marginales son Gumbel, se propone el siguiente procedimiento de identificación para las distribuciones (Raynal-Villaseñor, 1985)⁹.

(I) *Estimación de los parámetros a través del esquema de máxima verosimilitud, asumiendo que ambas distribuciones marginales son Generales de Valores Extremos (GVE).*

Este paso permite que los parámetros de forma tomen un valor y no especifiquen el tipo de distribución que se asume de antemano.

(II) *Prueba de diferentes distribuciones logísticas. Si el resultado es positivo, entonces ambas distribuciones marginales son Gumbel, sino se continúa el siguiente paso.*

(III) *Normalizar las series de datos para una distribución Gumbel de acuerdo a la siguiente fórmula recomendada:*

$$y = -\ln \left[1 - \left(\frac{x-u}{\alpha} \right)^\beta \right]$$

donde “x” es una distribución GVE, entonces “y” es una distribución Gumbel. Así, evaluando la prueba en (II), si “a” resulta positiva, entonces una de las marginales es GVE y la otra Gumbel, sino se sigue al siguiente paso.

(IV) *Se transforman ambas marginales a distribuciones Gumbel de acuerdo a la ecuación anterior, y se prueba el paso (II). Si el resultado es positivo, entonces ambas distribuciones son GVE. Sino, significa que las distribuciones marginales no pueden ajustarse a ninguna de valores extremos.*

(b) *Mejora en el proceso de estimación de parámetros.*

A sido mostrado (Clarke¹⁰ 1980, Rueda 1981 y Raynal-Villaseñor 1985) que existe un mejoramiento en la estimación de los parámetros, cuando la aproximación a una distribución bivariada es usada, particularmente en los dos últimos casos, relacionando datos de avenidas, que se mejoran haciendo observaciones en cada caso en que las muestras tengan la misma longitud de registros.

(c) *Transferencia de información hidrológica.*

Derivado directamente de lo explicado en el punto anterior, es posible usar una distribución multivariada de valores extremos para establecer una transferencia de datos de valores extremos de estaciones con un registro de datos largo, con estaciones que tengan registros cortos (Raynal-Villasenor 1985).

(d) *Análisis de frecuencias en redes de ríos.*

Es posible mediante las distribuciones bivariadas y las operaciones de suma y resta de variables aleatorias estimar eventos de diseño en la confluencia de ríos o en alguno de sus tributarios.

HIDROGRAMAS DE VALORES EXTREMOS CON PROBABILIDAD CONJUNTA.

Dentro del campo de la hidrología se han propuesto metodologías para atacar el problema de las distribuciones bivariadas, Pegram & Deacon (1992)¹¹, hacen la siguiente propuesta, asumiendo que una serie de relaciones son derivadas para ilustrar el cambio en el incremento de la variable condicional (volumen) correspondiente a un cambio en la variable fija (gasto pico).

Cuando la probabilidad de una avenida empieza a igualar o exceder los términos de la descarga pico y el volumen, es de gran importancia conocer las dimensiones de la avenida, y en ocasiones estimar su probabilidad de excedencia no siempre es suficiente. Para éste propósito, el tránsito de un hidrograma fue desarrollado para proporcionar un modelo que produzca una familia de hidrogramas con distintos picos y volúmenes, para un periodo de retorno constante. El modelo explora la distribución bivariada log-normal para describir la relación entre los picos y los volúmenes.

Los datos para el estudio fueron definidos por series, las cuales limitan una sucesión de eventos en términos de su gasto pico y su volumen.

Una función de distribución conjunta fue aplicada para estandarizar los picos y los volúmenes correspondientes.

El punto principal de este estudio fue mantener la idea central de un tránsito de hidrogramas, el cual describe la avenida de diseño en términos del pico y el volumen.

En gran parte de la literatura disponible en la estimación de avenidas de diseño se le da mucha importancia a los picos máximos, pero sin embargo, a los volúmenes no. Hienstra y Francis le dan el mismo peso a cada uno, pero éste disminuye cuando se recurre al modelo. Es deseable tener un modelo cuya variable primaria sea el pico y esta se relacione con la avenida de diseño la cual debe estar en términos también de su volumen. Lo anterior se desarrolla aplicando una función de distribución de probabilidad bivariada, la cual describe el tamaño de los volúmenes dada una descarga pico en un intervalo de recurrencia. La transformación de la distribución normal se realiza por medio de percentiles.

VENTAJAS DEL MODELO

Después de que los picos en los intervalos de recurrencia son interpretados en términos de percentiles, una distribución marginal del pico puede ser usada para determinar picos en intervalos de recurrencia conocidos. Se concluye que de este modelo que la distribución condicional bivariada fue utilizada para describir el comportamiento de gastos pico y su correspondiente volumen para algún intervalo de recurrencia y coeficiente de correlación seleccionado.

DESVENTAJAS DEL MODELO

Las desventajas existentes al usar este modelo radican en que se encuentran distintos valores de acuerdo a la probabilidad que se asigne a cada uno, por lo tanto se deberá usar algún criterio para una vez obtenidas las distintas combinaciones se seleccione aquella que se considere como más factible a presentarse, esto incluye una cierta incertidumbre que, al final siempre tendrá cierta aleatoriedad que no será justificable.

Como consecuencia de lo anteriormente citado, en este trabajo se propone hacer una distribución bivariada de valores extremos, en la cual los eventos estén ligados entre sí, y permitan hacer una verdadera estimación conjunta que se acerque de manera más real a lo que ocurre en la naturaleza.

¹ Jenkinson, A.F. (1955) "The Frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements", Quart. J. Roy. Met. Soc. 87, 158-171.

² Finkelstein, B.V. (1953) "Limiting distributions of extremes terms of the variational series of a two dimensional random value", Dokl. Akad. Nauk SSR 91, 2.

³ Gumbel, E.J. (1958) "Fonctions de probabilités à deux variables extrêmes indépendantes", C.R. Acad. Sci., Paris 246, 49-50.

⁴ Trigo de Oliveira, J. (1958) "Extremal distributions", Fac. Ciências Lisboa, serie, A, Mat. VII.

⁵ Trigo de Oliveira, J. (1982) "Bivariate extremes models and statistical decision", Tech. Report no. 14, Center for Stochastic Processes, Department of Statistics, University of North Carolina.

⁶ Gumbel, E.J. (1960a) "Multivariate extremal distributions", Bull. Internat. Statist. Inst. 39(2) 471-475.

⁷ Johnson, N.L. & Kotz, S. (1972) "Distribution in Statistics. Continuous Multivariate Distributions.", John Wiley and Sons, New York.

⁸ Gumbel, E.J. (1967) "Some analytical properties of bivariate extremal distributions", Am. Statist. Ass. J. 62 (June), 569-588.

⁹ Raynal-Villasenor J. A. (1985) "Bivariate extreme value distributions applied to flood frequency analysis", PhD Dissertation, Colorado State University, Colorado, USA.

¹⁰ Clarke, R.I. (1980), "Bivariate gamma distributions for extending annual streamflow records from precipitation", Wat. Resour. Res. 16(6), 863-870.

CAPÍTULO 1

***Métodos existentes para la
estimación del gasto pico
y volúmenes de descarga***



1.1 MÉTODO DE MAYORACIÓN

Este método es uno de los más populares y de mayor arraigo en México, esto es debido a la rapidez y gran facilidad que se tiene en su aplicación.

El método tiene como punto de arranque el análisis de los datos de gastos medios diarios para los registros disponibles en la estación de estudio, y así poder determinar la máxima avenida histórica ocurrida en dicha región, esto se logrará identificando el pico máximo histórico registrado en los datos (punto B) y tomando 15 días antes de este y 15 días después, con esta información se construye un gráfica de escurrimiento y se separa el mayor hidrograma registrado (ver figura 1.1), esto se hará analizando el punto de levantamiento antes del pico (punto A) y encontrando el punto de escurrimiento final (punto D), este se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$N = 0.827 A^{0.2} \quad (1)$$

donde:

N Tiempo de vaciado del escurrimiento directo (días)
A Área de la cuenca en Km².

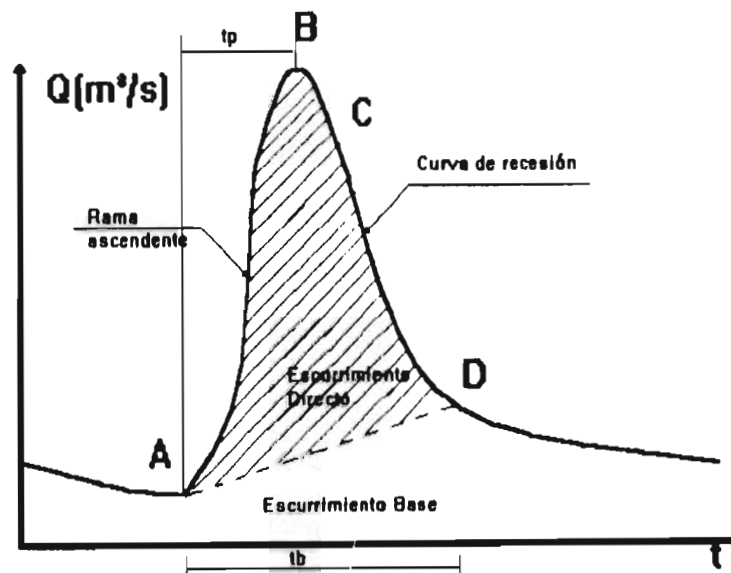


Fig. 1.1 Hidrograma Aislado

El punto D del hidrograma estará a un tiempo de N días después del pico, esta forma de calcular el tiempo de vaciado es útil en cuencas con un área no menor de 3 km².

Sus resultados son en general aceptables, aunque como en otros métodos, debe tomarse con cierta reserva.

Una vez obtenidos estos puntos es posible separar el hidrograma histórico máximo registrado en la zona de interés.

A continuación se deben analizar los gastos máximos anuales y obtener una función de probabilidad que mejor ajuste a los datos, con esta función es posible estimar gastos máximos para distintos periodos de retorno (Q_{tr}).

Para obtener las avenidas de diseño descadas resta hacer una amplificación o reducción del hidrograma de la avenida máxima registrada, esta amplificación o reducción dependerá de un parámetro llamado factor de ajuste (FA), que no es otro más que el cociente entre el gasto medio máximo para un determinado periodo de retorno entre el gasto pico de la avenida histórica.

$$FA = \frac{Q_{tr}}{Q_p} \quad (2)$$

Una vez obtenido el factor Fa el hidrograma de diseño se obtiene al multiplicar este por cada ordena y del hidrograma de la avenida máxima histórica.

$$Q_{Dis} = Q_i * FA \quad (3)$$

Con esta información es posible identificar el gasto pico para distintos periodos de retorno y calcular el volumen antes y el volumen después del pico.

En el capítulo de aplicaciones de los distintos métodos, se analiza con más detalle este procedimiento.

1.2. MÉTODO SUDAFRICANO "HIDROGRAMA DE AVENIDAS EXTREMAS CON UNA PROBABILIDAD ELEGIDA.

Es de vital importancia el momento en que la probabilidad de una avenida empieza a igualar o exceder los términos de la descarga pico y el volumen, ya que conocer el pico de la avenida y su probabilidad no es suficiente.

Para este propósito, el tránsito de un hidrograma fue desarrollado para proporcionar un modelo que produzca una familia de hidrogramas con distintos picos y volúmenes, para un periodo de retorno constante. El modelo explora la distribución bivariada log-normal para describir la relación entre los picos y los volúmenes.

Los datos para el estudio fueron definidos por series, las cuales describen una serie de eventos en términos de su gasto pico y su correspondiente volumen.

Una función de distribución conjunta (log-normal bivariada) fue aplicada para estandarizar los picos y sus volúmenes correspondientes.

El punto principal del modelo fue mantener la idea central de un tránsito de hidrograma, el cual describe la avenida de diseño en términos de su pico y su volumen.

En mucha de la literatura disponible en la estimación de avenidas de diseño se le da gran importancia a los picos máximos, pero sin embargo a los volúmenes no. Iliemstra y Francis le dan el mismo peso a cada uno, pero éste disminuye cuando se recurre al modelo. En este es deseable tener como variable primaria al gasto pico y relacionarlo con la avenida de diseño, la cual este en términos del gasto y el volumen.

Lo anterior se desarrollo aplicando una función de distribución de probabilidad bivariada, la cual describe el tamaño de los volúmenes dad una descarga pico en el intervalo de recurrencia.

La transformación de la distribución normal conjunta se realiza por medio de percentiles.

Desarrollo del Método.

Se usa la función de densidad de probabilidad bivariada estandarizada, aplicando el logaritmo natural a los picos y volúmenes. Además este método basa su estructura en un modelo matemático en el cual la estimación conjunta se lleva a cabo vía percentiles, aquí se produce una serie de familias de hidrogramas con gasto pico y volumen variable para periodos de retorno constantes, y utiliza la distribución log-normal bivariada como parámetro para describir la relación entre ambas características de la avenida.

Para el desarrollo de este modelo se deben reunir las siguientes características:

- a). Registros continuos de al menos diez años
- b). Datos de gastos máximos y volúmenes de escurrimiento de las avenidas anuales de varias estaciones
- c). Area mayores a 10 Km².

Para la estimación de los volúmenes se aplico el concepto de área bajo la curva del hidrograma que tenia como fronteras, el gasto pico, la curva de llenado Q_{ll} y la curva de vaciado Q_v , considerando para ambas curvas valores de gasto superiores al 10% del gasto pico como se observa en la siguiente figura.

Ya obtenida la muestra de gastos y volúmenes máximos anuales, se ajustaron funciones marginales con distribución lognormal. Así mismo se estimó la probabilidad conjunta de ambas variables normalizadas y estandarizadas así como el coeficiente de correlación ρ .

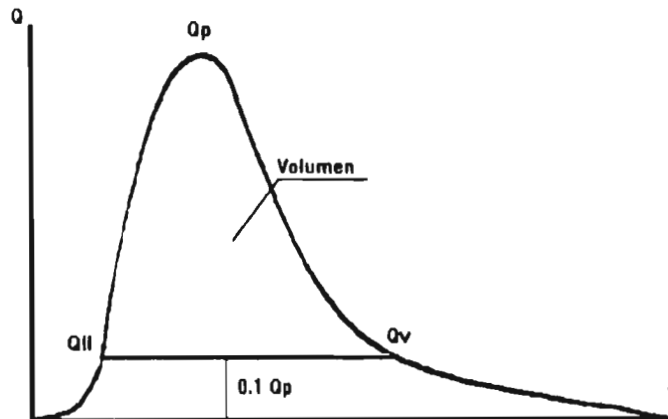


Fig. 1.2.1. Criterio para el cálculo de volúmenes de escurrimiento de avenidas máximas

Una vez conocida la distribución de probabilidad conjunta de las variables (volumen x y pico y) normalizadas y estandarizadas, se calcularon las funciones de distribución condicionadas $G(x/y)$ tales que el volumen exceda un determinado valor para gastos pico de 0.6, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y valores dados de coeficientes de correlación (0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95). Tal como se muestra en la siguiente figura ($\rho=0.85$).

Estos mismos resultados pueden presentarse relacionando el valor del gasto pico estandarizado con el volumen estandarizado para probabilidades condicionadas $G(x/y)$ del 25%, 50% y 75%, como se muestra en la figura. Para construir la figura se marcan los percentiles 75%, 50% y 25% de la figura 1.2.2, se proyectan a las curvas de gasto pico y se prolongan sobre el eje x para obtener su respectivo valor estandarizado, de esta manera, se obtienen parejas x,y para cada percentil y se ubican en una gráfica para formar curvas con diferentes valores de percentiles como las que aparecen en la figura:

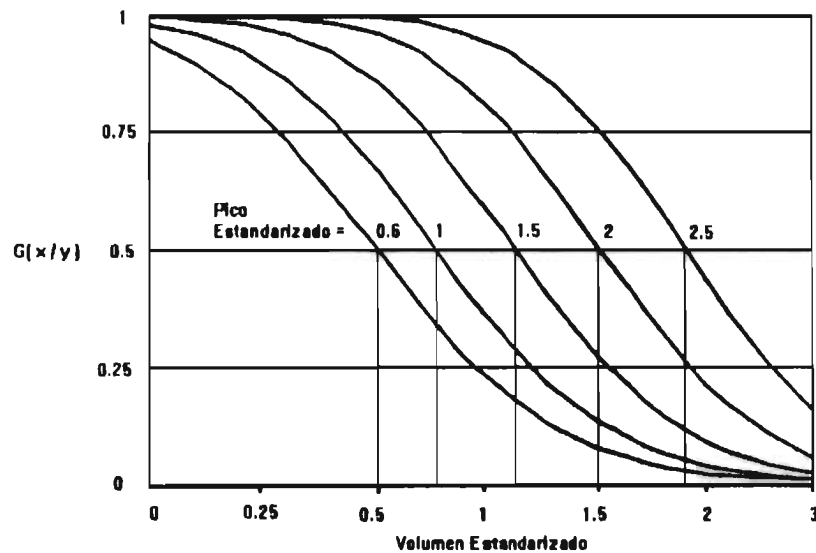


Fig. 1.2.2. Distribución condicional acumulativa, $\rho=0.85$

Los resultados que aparecen en dicha figura se suavizan con curvas de la forma de una hipérbola rectangular, las cuales se ajustan considerablemente bien, según lo comprobaron sus autores. Con estos datos se construyó la tabla 1 de la siguiente forma:

Intervalo de recurrencia (años)	Probabilidad condicional de excedencia.	Pico estandar.	Volumen Estandar.					
			$\rho=0.70$	$\rho=0.75$	$\rho=0.80$	$\rho=0.85$	$\rho=0.90$	$\rho=0.95$
1000	100	3.717	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	3.646	2.315	2.540	2.766	2.943	3.124	3.321
	50	3.540	2.707	2.902	3.079	3.236	3.358	3.404
	25	3.353	3.078	3.209	3.345	3.498	3.562	3.630
500	100	3.540	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	3.463	2.174	2.393	2.614	2.787	2.964	3.158
	50	3.353	2.568	2.757	2.928	3.081	3.199	3.307
	25	3.156	2.938	3.063	3.194	3.341	3.400	3.463
200	100	3.290	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	3.208	1.981	2.191	2.405	2.571	2.743	2.933
	50	3.090	2.376	2.556	2.719	2.864	2.976	3.078
	25	2.878	2.745	2.961	2.983	3.122	3.175	3.230
100	100	3.090	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	3.004	1.830	2.033	2.240	2.401	2.568	2.754
	50	2.878	2.225	2.396	2.553	2.692	2.799	2.896
	25	2.652	2.591	2.700	2.816	2.947	2.995	3.043
50	100	2.878	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	2.783	1.669	1.863	2.063	2.218	2.381	2.591
	50	2.652	2.067	2.230	2.379	2.510	2.612	2.702
	25	2.409	2.431	2.531	2.639	2.762	2.804	2.843
20	100	2.576	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	2.475	1.451	1.632	1.822	1.967	2.122	2.295
	50	2.326	1.846	1.995	2.132	2.253	2.345	2.427
	25	2.054	2.204	2.292	2.387	2.497	2.529	2.557
10	100	2.326	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	2.216	1.230	1.443	1.623	1.760	1.908	2.075
	50	2.054	1.668	1.805	1.931	2.042	2.127	2.201
	25	1.751	2.019	2.095	2.178	2.277	2.301	2.317
5	100	2.054	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	1.932	1.085	1.241	1.409	1.536	1.676	1.835
	50	1.751	1.477	1.600	1.713	1.813	1.885	1.952
	25	1.405	1.818	1.880	1.949	2.033	2.046	2.050

Tabla 1. Valores Estandarizados de gastos y volúmenes de avenidas.

Dado que la probabilidad $P(x/y)$ de que los gastos pico y los volúmenes excedan determinado valor pueden obtenerse mediante la siguiente ecuación:

$$P(x/y) = G(x/y)P(y) \quad (1)$$

donde $P(y)$ es la probabilidad no condicionada original de que el gasto pico Y exceda un valor dado y .

Entonces, para un determinado valor de $P(x,y)$; por ejemplo $P(x,y)=1/1000$ (que corresponde a un periodo de retorno de 1000 años), si $G(x/y)=0.75$, $P(y)$ debe ser $1/750$; si $G(x/y)=0.5$, $P(y)=1/500$ y si $G(x/y)=0.25$, $P(y)=1/250$.

Así, para el periodo de retorno de 1000 años y considerando la distribución normal estándar, si $P(y)=1/750$, $y=3.003$ y su correspondiente valor del volumen x , se obtiene de la figura 3.1.2b, para el percentil 75% (en este caso, para $\rho=0.85$), $x=2.401$; de la misma forma, si $P(y)=1/500$, $y=2.878$ y $x=2.692$; finalmente, si $P(y)=1/250$, $y=2.652$ y $x=2.947$.

El procedimiento descrito, utilizando otros periodos de retorno y otros valores de coeficiente conducen a la tabla 1.

1.3 MÉTODO NERC (NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL) CALCULO DE VOLÚMENES DE AVENIDAS PARA DIFERENTES DURACIONES

Desarrollado en Inglaterra, este método relaciona el promedio de los gastos medios máximos anuales con diferentes duraciones respecto al promedio de los gastos máximos anuales, ya sea instantáneo o diario. Al dibujar el cociente de los gastos (radios de reducción) vs duración, se obtienen curvas de reducción, a partir de las cuales es posible construir el hidrograma de la avenida de diseño y por lo tanto conocer su volumen.

En primer lugar se obtienen los gastos picos instantáneos y los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días, en todos los años de registro de estaciones de interés.

Los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días se calculan de la misma forma que el método desarrollado por el Instituto de Ingeniería (ver inciso 1.4), es decir, se obtiene el promedio máximo, en cada año, de los n gastos medios diarios consecutivos, de acuerdo con la duración d que se esté analizando (en el caso de la duración d=1 día, el gasto medio máximo anual g.m.m.a. es igual al gasto máximo de todos los días del año que se analizan; para d=2 días, el g.m.m.a. es igual al promedio máximo de dos gastos diarios consecutivos y así sucesivamente hasta una duración d=10 días en donde el g.m.m.a. es igual al promedio máximo de 10 gastos medios diarios consecutivos en todo el año analizado.

Una vez conocido el g.m.m.a. para cada duración, se calcula el promedio aritmético de los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días (Q_{m1d} , Q_{m2d} , Q_{m3d} , Q_{m4d} , etc.) y de los gastos máximos anuales instantáneos (Q_{minst}); el promedio se obtiene considerando todos los años del registro.

A continuación se calculan los radios de reducción r, que resultan del cociente del promedio de los gastos asociados a cada duración entre el promedio de los gastos máximos anuales ya sea instantáneos (Q_{minst}/Q_{minst} , Q_{m1d}/Q_{minst} , Q_{m2d}/Q_{minst} , ..., Q_{m10d}/Q_{minst}) o bien para una duración d=1 día (Q_{m1d}/Q_{m1d} , Q_{m2d}/Q_{m1d} , ..., Q_{m10d}/Q_{m1d}).

Las parejas radio de reducción vs duración se dibujan en una gráfica y se les ajustan curvas de la forma:

$$r(d) = \frac{1}{(1 + Bd)^N} \tag{1}$$

donde:

r(d) radio de reducción para una duración d, en días.

N, B parámetros determinados empíricamente.

Un ejemplo de estas curvas se muestra en la figura 1.3, para diferentes estaciones hidrométricas, donde se empleó el gasto máximo anual instantáneo como cociente del radio. Se observa en la figura, que el valor de radio disminuye a medida que la duración aumenta.

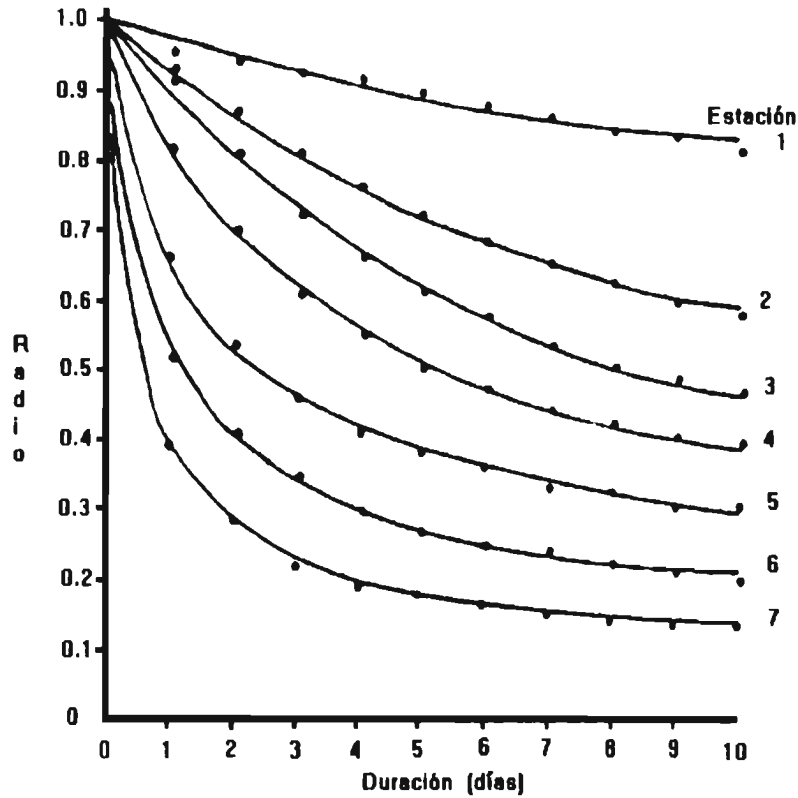


Fig. 1.3 Ajuste de curvas típicas de reducción a datos observados.

Para obtener el gasto de diseño para determinado periodo de retorno se aplica la siguiente fórmula:

$$Q_{dis_{Tr}} = \left(\frac{Q}{Q_{inst}} \right)_{Tr} (Q_{prom})(r(d)) \quad (2)$$

donde:

Q/Q_{inst} representa el ajuste de la mejor distribución de probabilidad realizada para las muestras estandarizadas de los gastos máximos instantáneos, utilizando el método de las estaciones año.

Q_{prom.} es el gasto medio diario obtenido a partir de las características fisiográficas de la cuenca, en el presente trabajo se ajusto tomando solamente como parámetro el área, esto con fines simplificativos.

r(d) es el radio de reducción el cual será obtenido para el tiempo base, como aproximación se estimo al tiempo base igual al tiempo de concentración, el cual se estimo a partir de la formula de Kirpich.

Es necesario hacer notar que como parte fundamental se encuentra la regionalización de la zona , ya que este método ha sido propuesto considerando que la región es homogénea.

Como la regionalización de la zona queda fuera del alcance de este trabajo, partiremos utilizando los datos de las estaciones disponibles (42), y a partir de estos , sin hacer una separación por regiones, se efectuaran los cálculos.

Para la estimación del volumen, el procedimiento es similar solamente que trabajaremos con volúmenes en vez de gastos. por tanto la fórmula a usar será la siguiente:

$$V_{dis_{T_r}} = \left(\frac{V}{V_{msl}} \right)_{T_r} (V_{prom})(r(d)) \quad (3)$$

En la sección de aplicaciones se describe de manera detallada este procedimiento.

1.4 MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA Y LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

El objetivo de éste método radica en estimar avenidas de diseño para distintos periodos de retorno a través de un análisis probabilístico de los gastos medios máximos de todos los años de registro de la estación.

A la muestra de gastos medios diarios se le hace un análisis para obtener los gastos medios máximos anuales asociados a varias duraciones (d) en días. Estos valores se obtienen al considerar para cada año, todos los grupos posibles de gastos medios diarios en (d) días consecutivos.

Ya obtenidos los valores máximos anuales correspondientes a cada duración, estos son ajustados a diferentes distribuciones de probabilidad (normal, log-normal, gumbel, doble gumbel, gamma y exponencial) y se elige aquella que mejor se ajuste a la muestra en términos del error cuadrático, el cual se obtiene con mediante la siguiente expresión:

$$e^2 = \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{cal_i})^2 \quad (1)$$

donde

Q_i gastos medidos

Q_{cal_i} gastos calculados

n número de datos de la muestra

Una vez elegida la distribución de probabilidad a la que mejor se ajusta, se calculan gastos medios máximos para diferentes duraciones y periodos de retorno. A su vez, a éstos les corresponden gastos individuales (gastos medios diarios) para cada periodo, los cuales se calculan de las ecuaciones recursivas siguientes:

$$Q_1 = Q_{med_1}$$

$$Q_2 = 2 * Q_{med_2} - Q_1$$

$$Q_3 = 3 * Q_{med_3} - (Q_1 + Q_2)$$

...

...

$$Q_d = d * Q_{med_d} - \left(\sum_{i=1}^{d-1} Q_i \right) \quad (2)$$

donde

Q_d gasto medio en el día d .

Q_{med_d} gasto promedio máximo para una duración de d días.

Dado el procedimiento de cálculo, los gastos que se obtienen para cada periodo de retorno están acomodados de modo que no corresponde a un hidrograma ordinario, por lo que es necesario reordenar dichos valores para obtener las avenidas de diseño.

El reordenamiento consiste en acomodar los valores de tal manera que, por un lado, el hidrograma resultante tenga semejanza con alguno de los mayores hidrogramas medidos en la estación, y por otro lado que los valores se ordenen cumpliendo con que el promedio máximo de n valores máximos consecutivos resulte igual al gasto promedio máximo Q_{med} correspondiente al periodo de retorno que se analiza.

CAPÍTULO 2

***Estimación Conjunta
(Método Propuesto)***



ESTIMACIÓN CONJUNTA DE AVENIDAS PICO Y VOLÚMENES DE DESCARGA (MÉTODO PROPUESTO)

2.1 ESTIMACIÓN CONJUNTA DE AVENIDAS PICO Y VOLÚMENES DE DESCARGA

Para obtener los eventos extremos dada la probabilidad de excedencia en términos de las avenidas pico y sus volúmenes de descarga se obtiene un sistema de ecuaciones no lineales que involucran cuatro relaciones bivariadas (Escalante, 1996)¹ que son: Gasto pico-Volumen total ($Qp-Vt$), Gasto pico-Volumen antes del pico ($Qp-Vp$), Gasto pico-Volumen después del pico ($Qp-Vd$) y Volumen antes del pico-Volumen después del pico ($Vp-Vd$), con cuatro variables reales Gasto pico, Volumen total, Volumen antes y volumen después del pico (Qp, Vt, Vp y Vd). Las relaciones son modeladas por una función de distribución bivariada (logística) con valores extremos del tipo I (EVI) marginal.

El sistema se resuelve considerando que la probabilidad de ocurrencia es la misma para cada relación bivariada.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO LOGÍSTICO.

La forma general del modelo logístico para una distribución bivariada es Gumbel (1960):

$$F(x, y, \theta) = \exp \left\{ - \left[(-\ln F(x))^m + (-\ln F(y))^m \right]^{1/m} \right\}$$

donde m es el parámetro de asociación, $F(s)$ es la función de distribución marginal de s , $m > 1$.

Las distribuciones marginales pueden ser del tipo Gumbel, General de Valores Extremos o Gumbel de dos poblaciones (Mixtas).

La forma particular cuando ambas marginales son de valores extremos tipo I (EVI) es:

$$F(x, y, u1, \alpha1, u2, \alpha2, m) = \exp \left\{ - \left[e^{-m \left(\frac{x-u1}{\alpha1} \right)} + e^{-m \left(\frac{y-u2}{\alpha2} \right)} \right]^{1/m} \right\}$$

¹ Escalante C, 1996 "Estimación Conjunta de Avenidas" XXI Congreso Nacional de Ingeniería. Pp 120-125

La correspondiente función de densidad es:

$$f(x, y, u1, \alpha1, u2, \alpha2, m) = \frac{1}{\alpha1\alpha2} e^{-m\left(\frac{x-u1}{\alpha1}\right)} + e^{-m\left(\frac{y-u2}{\alpha2}\right)} \left[e^{-m\left(\frac{x-u1}{\alpha1}\right)} + e^{-m\left(\frac{y-u2}{\alpha2}\right)} \right]^{1-m-2}$$

$$\left\{ m-1 + \left[e^{-m\left(\frac{x-u1}{\alpha1}\right)} + e^{-m\left(\frac{y-u2}{\alpha2}\right)} \right]^{1-m} \right\} \exp \left\{ - \left[e^{-m\left(\frac{x-u1}{\alpha1}\right)} + e^{-m\left(\frac{y-u2}{\alpha2}\right)} \right]^{1-m} \right\}$$

Los parámetros de la ecuación son estimados por medio de la metodología propuesta por Raynal (1985).

2.3 PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN.

Usando la función de distribución bivariada e igualando esta a cero, se obtienen cuatro relaciones bivariadas con cuatro variables (Qp, Vt, Vp, Vd) como se indica a continuación:

$$f(Qp, Vt) = e^{-m1\left(\frac{Qp-L1}{\alpha1}\right)} + e^{-m1\left(\frac{Vt-L2}{\alpha2}\right)} - [-LnF(Qp, Vt)]^{m1} = 0 \quad (1)$$

$$f(Qp, Vp) = e^{-m2\left(\frac{Qp-L3}{\alpha3}\right)} + e^{-m2\left(\frac{Vp-L4}{\alpha4}\right)} - [-LnF(Qp, Vp)]^{m2} = 0 \quad (2)$$

$$f(Qp, Vd) = e^{-m3\left(\frac{Qp-L5}{\alpha5}\right)} + e^{-m3\left(\frac{Vd-L6}{\alpha6}\right)} - [-LnF(Qp, Vd)]^{m3} = 0 \quad (3)$$

$$f(Vp, Vd) = e^{-m4\left(\frac{Vp-L7}{\alpha7}\right)} + e^{-m4\left(\frac{Vd-L8}{\alpha8}\right)} - [-LnF(Vp, Vd)]^{m4} = 0 \quad (4)$$

Donde el punto clave radica en que la probabilidad de ocurrencia de F(Qp, Vt), F(Qp, Vp), F(Qp, Vd) y F(Vp, Vd) deben ser iguales pues se trata de eventos que no son independientes entre si, el valor se calcula asociando la probabilidad al periodo de retorno deseado, esto con la fórmula:

$$F = 1 - \frac{1}{Tr}$$

Donde:

F es la probabilidad de ocurrencia

Tr es el periodo de retorno

Para reducir el sistema se puede poner una ecuación en función de otra, por ejemplo de la ecuación (3) se despeja Vd y queda:

$$Vd = U8 - \frac{\alpha 8}{m4} \ln \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{m4} - e^{-m4 \left(\frac{Vp-L7}{\alpha 7} \right)} \right\}$$

Sustituyendo en la ecuación (4) se tiene:

$$e^{-m1 \left(\frac{Qp-L1}{\alpha 1} \right)} + e^{-m1 \left(\frac{Vp-L7}{\alpha 2} \right)} \exp \frac{-m1}{\alpha 2} \left\{ U8 - \frac{\alpha 8}{m4} \ln \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{m4} - e^{-m4 \left(\frac{Vp-L7}{\alpha 7} \right)} \right\} \right\} - [-LnF(Qp, V1)]^{m1} = 0$$

Agrupando y factorizando se tiene:

$$e^{-m1 \left(\frac{Qp-L1}{\alpha 1} \right)} + e^{-m1 (Vp-L2+L8)} \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{m4} - e^{-m4 \left(\frac{Vp-L7}{\alpha 7} \right)} \right\}^{\frac{m1\alpha 8}{\alpha 2m4}} - [-LnF(Qp, Vp)]^{m1} = 0$$

De aquí se obtiene:

$$e^{-\frac{m1}{\alpha 2} (Vp-L2+L8)} \frac{m1\alpha 8}{\alpha 2m4} \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{m4} - e^{-m4 \left(\frac{Vp-L7}{\alpha 7} \right)} \right\}^{\frac{m1\alpha 8}{\alpha 2m4} - 1} e^{-m4 \left(\frac{Vp-L7}{\alpha 7} \right)} \left(\frac{-m4}{\alpha 7} \right) + e^{-\frac{m1}{\alpha 2} (Vp-L2+L8)} \left(\frac{-m1}{\alpha 2} \right) \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{m4} - e^{-m4 \left(\frac{Vp-L7}{\alpha 7} \right)} \right\}^{\frac{m1\alpha 8}{\alpha 2m4}} = 0$$

Haciendo algunas manipulaciones el sistema se reduce a:

$$f(Qp, V1) = e^{-m1 \left(\frac{Qp-L1}{\alpha 1} \right)} + e^{-\frac{m1}{\alpha 2} (U8-L2-Lp)} \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{m4} - e^{-m4 \left(\frac{Vp-L7}{\alpha 7} \right)} \right\}^{\frac{m1\alpha 8}{\alpha 2m4}} - [-LnF(Qp, V1)]^{m1} = 0 = f1$$

Renombrando las funciones para fines prácticos se tiene que:

$$f(Qp, Vp) = e^{-m_2 \left(\frac{Qp-L_3}{\alpha_3} \right)} + e^{-m_2 \left(\frac{Vp-L_4}{\alpha_4} \right)} - [-LnL'(Qp, Vp)]^{m_2} = 0 = f_2$$

$$f(Qp, Vd) = e^{-m_3 \left(\frac{Qp-L_5}{\alpha_5} \right)} + e^{-m_3 \left(\frac{Vd-L_6}{\alpha_6} \right)} - [-LnL'(Qp, Vd)]^{m_3} = 0 = f_3$$

El sistema formado por f1, f2 y f3, es altamente no lineal, por lo que es necesario aplicar un método numérico para su solución, y aún así es posible tener problemas de sobreflujo en algunas de las variables, por lo tanto a continuación se describirán algunos métodos de solución empleados en este trabajo y las características de los resultados obtenidos de los mismos.

2.4 MÉTODOS NUMÉRICOS DE SOLUCIÓN DE ECUACIONES SIMULTÁNEAS NO LINEALES

2.4.1 Método de punto fijo multivariable.

Este algoritmo es aplicable a sistemas de cualquier número de ecuaciones. Sin embargo, para ser más concisos y evitar notación complicada, se considerará sólo el caso de dos ecuaciones con dos incógnitas. estas generalmente se escribirán como:

$$\begin{aligned} f_1(x,y) &= 0 \\ f_2(x,y) &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

y se tratará de encontrar pares de valores (x, y) que satisfagan ambas ecuaciones.

Inicialmente se resolverá la primera ecuación para alguna de las variables, x por ejemplo, y la segunda para y .

$$\begin{aligned} x &= g_1(x,y) \\ y &= g_2(x,y) \end{aligned} \tag{2}$$

Se tratará de obtener la estimación $(k+1)$ -ésima a partir de la estimación k -ésima con la expresión:

$$\begin{aligned} x^{k+1} &= g_1(x^k, y^k) \\ y^{k+1} &= g_2(x^k, y^k) \end{aligned} \tag{3}$$

Se comienza con valores iniciales x^0, y^0 , se calculan nuevos valores x^1, y^1 y se repite el proceso, esperando que después de cada iteración los valores de x^k, y^k se aproximen a la raíz buscada x^, y^* , la cual cumple con:*

$$\begin{aligned} x^* &= g_1(x^*, y^*) \\ y^* &= g_2(x^*, y^*) \end{aligned} \tag{4}$$

Para observar la convergencia del proceso iterativo, se pueden usar los criterios de la distancia entre dos vectores consecutivos, o bien las distancias componente a componente de dos vectores consecutivos. También existe un criterio de convergencia equivalente que puede aplicarse antes de iniciar el proceso iterativo mencionado, y que dice:

Una condición suficiente aunque no necesaria, para asegurar la convergencia es que:

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial g_1}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial g_2}{\partial x} \right| &\leq M < 1 \\ \left| \frac{\partial g_1}{\partial y} \right| + \left| \frac{\partial g_2}{\partial y} \right| &\leq M < 1 \end{aligned} \quad (5)$$

para todos los puntos (x, y) de la región del plano que contiene todos los valores (x^k, y^k) y la raíz buscada (x', y') .

Por otro lado; si M es muy pequeña en una región de interés, la iteración converge rápidamente; si M es cercana a 1 en magnitud, entonces la iteración puede converger lentamente.

Por lo general es muy difícil encontrar el sistema (2) a partir de la ecuación (1) de modo que satisfaga la condición (5).

De todas maneras, cualquiera que sea el sistema (4) a que se haya llegado y que se vaya a resolver con este método, puede aumentarse la velocidad de convergencia usando desplazamientos sucesivos en lugar de desplazamientos simultáneos es decir, se iteraría mediante:

$$\begin{aligned} x^{k+1} &= g_1(x^k, y^k) \\ y^{k+1} &= g_2(x^{k+1}, y^k) \end{aligned} \quad (6)$$

Si la iteración por desplazamientos simultáneos diverge, generalmente el método por desplazamientos sucesivos divergería más rápido; es decir, se detecta más rápido la divergencia, por lo que se recomienda en general el uso de desplazamientos sucesivos en lugar de desplazamientos simultáneos.

2.4.2 Método de Newton-Raphson.

No siempre un sistema de ecuaciones puede transformarse fácilmente para hacerlo converger con el método del punto fijo multivariable. Por esta razón es necesario desarrollar algún algoritmo que pueda ser usado para cambiar la transformación en un problema general.

Para construir el algoritmo empezaremos haciendo una aproximación del método del punto fijo multivariable, pero para el caso unidimensional.

Trataremos de encontrar una función ϑ con la propiedad que la función g , dada por $g(x) = x - \vartheta(x)f(x)$ da una convergencia cuadrática para un punto fijo p de g .

A partir de esta condición el método de Newton se desarrolla seleccionando $\vartheta(x) = 1/f'(p) \neq 0$ en el punto fijo p .

Usando una aproximación similar para el caso n -dimensional tenemos la matriz:

$$A(x) = \begin{bmatrix} a_{11}(x) & \dots & a_{12}(x) & \dots & \dots & \dots & a_{1n}(x) \\ a_{21}(x) & \dots & a_{22}(x) & \dots & \dots & \dots & a_{2n}(x) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}(x) & \dots & a_{n2}(x) & \dots & \dots & \dots & a_{nn}(x) \end{bmatrix}$$

dentro de cada una de las entradas $a_{ij}(x)$ son una función de R^n dentro de R . El procedimiento requiere que $A(x)$ sea encontrado de:

$$G(x) = x - A(x)^{-1} F'(x)$$

donde la convergencia cuadrática de la solución $F(x) = 0$ proporciona, como es de esperarse que $A(x)$ es un punto no singular permanente.

Definiendo una matriz $J(x)$ por:

$$J(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

Debe observarse que:

$A(p)^{-1} J(p) = I$ la matriz identidad o que $A(p) = J(p)$.

Una aproximación para escoger $A(x)$ es consecuencia de que $A(x) = J(x)$.

La función G es consecuentemente

$$G(x) = x - J(x)^{-1} F(x)$$

y la iteración involucrada en el proceso es de la forma

$$x^{(k)} = G(x^{(k-1)}) = x^{(k-1)} - J(x^{(k-1)})^{-1} F(x^{(k-1)})$$

Este método es llamado razonablemente método de Newton para sistemas no lineales, y proporciona con suficiente exactitud los valores buscados, siempre que un valor inicial sea conocido y que exista la inversa de la matriz $J(x)$.

La matriz $J(x)$, es llamada Jacobiano y tiene numerosas aplicaciones.

Una debilidad del método de Newton radica en que es necesario invertir la matriz $J(x)$ en cada paso, y eso no siempre es posible; consecuencia que el algoritmo tenga que sufrir una modificación en base a dos pasos:

Primero, se encuentra un vector y , el cual satisfaga que

$$J(x^{(k)})y = -F(x^{(k)})$$

después que esto se halla terminado, la nueva aproximación $x^{(k+1)}$, puede ser obtenida adicionando y a $x^{(k)}$.

2.5 APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE SOLUCIÓN A LA ESTIMACIÓN CONJUNTA.

Aplicación del modelo al caso de estudio.

Después de hacer una breve descripción de algunos de los métodos existentes para solucionar ecuaciones simultáneas no lineales, regresaremos al caso en estudio para su aplicación, para esto se partirá del sistema de ecuaciones a resolver.

$$f(Qp, Vt) = e^{-m1\left(\frac{Qp-U1}{a1}\right)} + e^{\frac{-m1(U8-U2-1p)}{a2}} \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{m4} - e^{-m4\left(\frac{Vp-U7}{a7}\right)} \right\}^{\frac{m1a8}{a2m4}} -$$

$$[-LnF(Qp, Vt)]^{m1} = 0 = f1$$

$$f(Qp, Vp) = e^{-m2\left(\frac{Qp-U3}{a3}\right)} + e^{-m2\left(\frac{Vp-U4}{a4}\right)} - [-LnF(Qp, Vp)]^{m2} = 0 = f2$$

$$f(Qp, Vd) = e^{-m3\left(\frac{Qp-U5}{a5}\right)} + e^{-m3\left(\frac{Vd-U6}{a6}\right)} - [-LnF(Qp, Vd)]^{m3} = 0 = f3$$

De los párrafos anteriores se sabe que el sistema a calcular parte de la forma:

$$J(x)\Delta x^{(k+1)} = -[f]$$

Desarrollando el Jacobiano y reescribiendo en términos de las variables se tiene que:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Qp} & \frac{\partial f_1}{\partial Vp} & \frac{\partial f_1}{\partial Vd} \\ \frac{\partial f_2}{\partial Qp} & \frac{\partial f_2}{\partial Vp} & \frac{\partial f_2}{\partial Vd} \\ \frac{\partial f_3}{\partial Qp} & \frac{\partial f_3}{\partial Vp} & \frac{\partial f_3}{\partial Vd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Qp \\ \Delta Vp \\ \Delta Vd \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}$$

A continuación se obtendrán cada uno de los términos del jacobiano.

Para f_1 se tiene que:

$$\frac{\partial f_1}{\partial Qp} = e^{-m_1 \left(\frac{Qp - u_1}{a_1} \right)} \left(-\frac{m_1}{a_1} \right)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial Vp} = \left\{ (-\text{Ln}F(Qp, Vp))^{m_1} - e^{-m_1 \left(\frac{m \cdot a_8}{a_1 m_1} \right)} \right\} \left[e^{-\frac{m_1}{a_1} (u_4 - u_2 - Vp)} \left(\frac{m_1}{a_2} \right) \right] +$$

$$\left(\frac{m_1 a_8}{a_2 m_4} \right) \left\{ (-\text{Ln}F(Qp, Vp))^{m_1} - e^{-m_1 \left(\frac{Vp - u_7}{a_7} \right)} \right\} \frac{m_1 a_8}{a_2 m_4}^{-1} \left[-e^{-m_1 \left(\frac{Vp - u_7}{a_7} \right)} \left(-\frac{m_1}{a_7} \right) \right]$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial d} = 0$$

Para f_2 :

$$\frac{\partial f_2}{\partial Qp} = e^{-m_2 \left(\frac{Qp - u_3}{a_3} \right)} \left(-\frac{m_2}{a_3} \right)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial Vp} = e^{-m_2 \left(\frac{Vp - u_4}{a_4} \right)} \left(-\frac{m_2}{a_4} \right)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial d} = 0$$

Para f_3 de manera análoga:

$$\frac{\partial f_3}{\partial Qp} = e^{-m_1 \left(\frac{Qp - u_1}{\alpha_1} \right)} \left(-\frac{m_1}{\alpha_1} \right)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial Vp} = 0$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial Vd} = e^{-m_1 \left(\frac{Vd - u_6}{\alpha_6} \right)} \left(-\frac{m_1}{\alpha_6} \right)$$

Una vez obtenidas las derivadas parciales del jacobiano, se procede a calcular los incrementos Δ , y hasta que se llegue a cumplir que las f sean iguales a cierto valor de tolerancia, como ejemplo $1 \cdot 10E-03$, $1 \cdot 10E-05$, etc., entonces se detendrá el proceso.

A continuación se describe el procedimiento de cálculo para estimar los valores deseados.

- 1 Se obtienen los parámetros para las relaciones univariadas por medio de estimadores (Qp , Vt , Vp , y Vd).
- 2 Se obtienen los parámetros para las relaciones bivariadas por medio de estimadores por máxima verosimilitud ($Qp-Vt$, $Qp-Vp$, $Qp-Vd$ y $Vp-Vd$), de acuerdo con el procedimiento propuesto por Raynal (1985).
- 3 Dada una probabilidad de excedencia, se seleccionan valores iniciales para Qp , Vt , Vp y Vd , los cuales se denotaran por Qp^* , Vt^* , Vp^* y Vd^* .
- 4 Se calcularán f_1 , f_2 y f_3 de acuerdo con sus respectivas ecuaciones, y cuando éstas sean iguales a la tolerancia, entonces el proceso se detendrá, en caso contrario continuamos con el siguiente paso.
- 5 Se efectuarán las correcciones necesarias para Qp^* , Vt^* , Vp^* y Vd^* para lo cual se emplearán determinantes como se muestra a continuación:

$$\Delta Qp = \frac{f_2 \frac{\partial_1}{\partial p} \frac{\partial_3}{\partial d} - f_1 \frac{\partial_2}{\partial p} \frac{\partial_3}{\partial d}}{D}$$

$$\Delta Vp = \frac{f_1 \frac{\partial_2}{\partial Qp} \frac{\partial_3}{\partial d} - f_2 \frac{\partial_1}{\partial Qp} \frac{\partial_3}{\partial d}}{D}$$

$$\Delta Vd = \frac{f_1 \frac{\partial_2}{\partial p} \frac{\partial_3}{\partial Qp} + f_3 \frac{\partial_1}{\partial p} \frac{\partial_2}{\partial Qp} - f_3 \frac{\partial_1}{\partial Qp} \frac{\partial_2}{\partial p} - f_2 \frac{\partial_1}{\partial p} \frac{\partial_3}{\partial Qp}}{D}$$

Donde:

$$D = \frac{\partial_1}{\partial Qp} * \frac{\partial_2}{\partial p} * \frac{\partial_3}{\partial d} - \frac{\partial_2}{\partial Qp} * \frac{\partial_1}{\partial p} * \frac{\partial_3}{\partial d}$$

6' Se corrige el valor estimado:

$$Qp^* = Qp + \Delta Qp$$

$$Vp^* = Vp + \Delta Vp$$

$$Vd^* = Vd + \Delta Vd$$

Después se regresa al paso 4 y se evalúan las funciones.

APLICACIÓN DEL MODELO A DISTINTAS ESTACIONES DE MEDICIÓN.

A continuación se aplica el algoritmo de solución a varias estaciones de medición, y se obtiene valores para el gasto pico, volumen antes y después de la avenida y volumen total, a partir de estos, se construyen los hidrogramas correspondientes para distintos periodos de retorno.

3.1 ESTACIÓN ALAMOS

COLECTOR GENERAL: Río Fuerte
 ÁREA DRENADA: 2 270 km²
 COORDENADAS: Long. W.G. 108° 44' 30"
 Lat. N. 26° 23' 35"
 PERIODO DE REGISTROS 1949-1968
 UBICACIÓN: Se encontraba localizada sobre el arroyo Alamos, 7 km aguas abajo del sitio donde se construyó la cortina de la presa Josefa Ortiz de Domínguez, en el municipio de El Fuerte, estado de Sinaloa.

- 1 Inicialmente se estimaron los parámetros univariados para Q_p , V_t , V_p y V_d .
- 2 A partir de estos y aplicando el procedimiento propuesto por Raynal (1985), se obtienen los parámetros bivariados por medio de estimadores por máxima verosimilitud.

Relación	u_1	a_1	u_2	a_2	m
Q_p-V_t	78.627	66.037	13.07	11.705	2.964
Q_p-V_p	78.833	69.079	5.917	5.212	1.912
Q_p-V_d	77.435	63.178	6.613	7.156	2.593
V_p-V_d	5.93	5.082	6.749	7.343	1.458

Donde:

u_n Parámetros de ubicación
 a_n Parámetros de escala
 m Parámetro de asociación

- 3 Se proponen distintas probabilidades de excedencia (Tr), y a partir de éstas se calculan los valores iniciales para Q_p , V_p y V_d , los cuales se denotan como Q_p^* , V_p^* y V_d^* y serán los valores de arranque del modelo.

Así el sistema de ecuaciones a resolver se transforma en:

$$f(Qp, Vt) = e^{-2.964 \left(\frac{Qp-78.627}{66.037} \right)} + e^{0.2532(-6.321 - Vp)} \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{1.458} - e^{1.458 \left(\frac{Vp-5.93}{5.082} \right)} \right\} - [-LnF(Qp, Vt)]^{2.964} = 0 = f1$$

$$f(Qp, Vp) = e^{-1.912 \left(\frac{Qp-78.833}{69.079} \right)} + e^{-1.912 \left(\frac{Vp-5.917}{5.212} \right)} - [-LnF(Qp, Vp)]^{1.912} = 0 = f2$$

$$f(Qp, Vd) = e^{-2.593 \left(\frac{Qp-77.435}{63.178} \right)} + e^{-2.593 \left(\frac{Vd-6.613}{7.156} \right)} - [-LnF(Qp, Vd)]^{2.593} = 0 = f3$$

Donde el valor de la función de probabilidad $F(Vp, Vd)$, $F(Qp, Vp)$ y $F(Qp, Vd)$ propuesto es de 0.5.

Del capítulo anterior se sabe que el sistema a calcular parte de la forma:

$$J(x)\Delta x^{(k+1)} = -[f]$$

Desarrollando el jacobiano y reescribiendo en términos de las variables se tiene que:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Qp} & \frac{\partial f_1}{\partial Vp} & \frac{\partial f_1}{\partial Vd} \\ \frac{\partial f_2}{\partial Qp} & \frac{\partial f_2}{\partial Vp} & \frac{\partial f_2}{\partial Vd} \\ \frac{\partial f_3}{\partial Qp} & \frac{\partial f_3}{\partial Vp} & \frac{\partial f_3}{\partial Vd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Qp \\ \Delta Vp \\ \Delta Vd \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}$$

A continuación se obtienen cada uno de los términos del jacobiano.

Para $f1$ se tiene que:

$$\frac{\partial f_1}{\partial Qp} = e^{-2.964 \left(\frac{Qp-78.627}{66.037} \right)} (-0.0448)$$

CAPÍTULO 3

***Aplicación del modelo a
distintas estaciones de
medición***



$$\frac{\partial \tilde{J}_1}{\partial Vp} = \left\{ (-\text{Ln}f'(Qp, Vt))^{1.458} - e^{-1.458(1.275)} \right\} \left[e^{-0.253(-6.321-Vp)} (0.253) \right] +$$

$$(1.275) \left\{ (-\text{Ln}f'(Qp, Vt))^{1.458} - e^{-1.458\left(\frac{Vp-77.435}{63.178}\right)} \right\}^{1.275-1} \left[-e^{-1.458\left(\frac{Vp-77.435}{63.178}\right)} (-0.286) \right]$$

$$\frac{\partial \tilde{J}_1}{\partial Vd} = 0$$

Para f2:

$$\frac{\partial \tilde{J}_2}{\partial Qp} = e^{-1.912\left(\frac{Qp-78.833}{69.079}\right)} (-0.0276)$$

$$\frac{\partial \tilde{J}_2}{\partial Vp} = e^{-1.912\left(\frac{Vp-5.917}{5.212}\right)} (-0.366)$$

$$\frac{\partial \tilde{J}_2}{\partial Vd} = 0$$

Para f3 de manera análoga se tiene:

$$\frac{\partial \tilde{J}_3}{\partial Qp} = e^{-2.593\left(\frac{Qp-77.435}{63.178}\right)} (-0.04104)$$

$$\frac{\partial \tilde{J}_3}{\partial Vp} = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{J}_3}{\partial Vd} = e^{-2.593\left(\frac{Vd-6.613}{7.156}\right)} (-0.362)$$

- 4 Una vez obtenidas las derivadas parciales del jacobiano como se puede observar, todos los términos están en función de Qp, Vp y Vd, por lo

tanto se empezará con los valores de iniciales, en caso de no hacer cero a las funciones, entonces se procederá como se indica a continuación.

- 5 Se efectuarán las correcciones necesarias para Qp^* , Vt^* , Vp^* y Vd^* para lo cual se emplearán determinantes como se muestra a continuación:

$$\Delta Qp = \frac{f_2 \frac{\partial_1}{\partial p} \frac{\partial_3}{\partial d} - f_1 \frac{\partial_2}{\partial p} \frac{\partial_3}{\partial d}}{D}$$

$$\Delta Vp = \frac{f_1 \frac{\partial_2}{\partial Qp} \frac{\partial_3}{\partial d} - f_2 \frac{\partial_1}{\partial Qp} \frac{\partial_3}{\partial d}}{D}$$

$$\Delta Vd = \frac{f_1 \frac{\partial_2}{\partial p} \frac{\partial_3}{\partial Qp} + f_3 \frac{\partial_1}{\partial p} \frac{\partial_2}{\partial Qp} - f_3 \frac{\partial_1}{\partial Qp} \frac{\partial_2}{\partial p} - f_2 \frac{\partial_1}{\partial p} \frac{\partial_3}{\partial Qp}}{D}$$

Donde:

$$D = \frac{\partial_1}{\partial Qp} * \frac{\partial_2}{\partial p} * \frac{\partial_3}{\partial d} - \frac{\partial_2}{\partial Qp} * \frac{\partial_1}{\partial p} * \frac{\partial_3}{\partial d}$$

- 6 Se corrige el valor estimado:

$$Qp^* = Qp^* + \Delta Qp$$

$$Vp^* = Vp^* + \Delta Vp$$

$$Vd^* = Vd^* + \Delta Vd$$

Después se regresa al paso 4 y se evalúan las funciones.

Este procedimiento y los valores obtenidos se muestran a continuación:

<i>Datos Iniciales Tr = 2 años</i>		
$Qp = 111 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 8.792619 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 12.15129 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	111.0000	8.7926	12.1512	-0.576E-01	0.263E+00	-0.149E-07
2	112.6226	10.7035	11.8064	-0.393E-01	0.690E-01	0.164E-02
3	108.9812	12.4171	12.4751	-0.849E-02	0.300E-01	0.690E-02
4	107.0255	14.0012	13.1422	-0.736E-03	0.136E-01	0.413E-02
5	105.5989	15.6770	13.7747	0.170E-02	0.838E-02	0.281E-02
6	103.1326	19.6800	15.0566	0.119E-01	0.206E-01	0.861E-02
7	105.7110	12.9598	13.3944	0.269E-01	0.545E-01	0.124E-01
8	106.5724	14.5197	13.4367	-0.231E-03	0.104E-01	0.204E-03

<i>Datos Finales Tr = 2 años</i>		
$Qp = 106.5724 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 14.5197 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 13.4367 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 4.2 años</i>		
$Qp = 170 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 13.5477 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 18.8715 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	170.0000	13.5477	18.8715	-0.210E-02	0.581E-01	0.186E-08
2	173.4346	15.8096	18.1317	-0.263E-02	0.165E-01	0.676E-03
3	169.0081	18.4251	18.8863	-0.577E-03	0.966E-02	0.868E-03

<i>Datos Finales Tr = 4.2 años</i>		
$Qp = 169.0081 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 18.4251 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 18.8863 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 5 años</i>		
$Qp = 183 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 14.5527 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 20.1806 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	183.0000	14.5527	20.1806	-0.119E-02	0.412E-01	0.466E-09
2	186.3420	16.8875	19.5021	-0.150E-02	0.121E-01	0.359E-03
3	181.6927	19.7291	20.2513	-0.308E-03	0.750E-02	0.538E-03

<i>Datos Finales Tr = 5 años</i>		
$Qp = 181.6927 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 19.7291 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 20.2531 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 5.25 años</i>		
$Qp = 186 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 14.8296 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 20.6628 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	186.000	14.8296	20.6628	-0.180E-03	0.383E-01	0.000E+00
2	189.813	17.1875	19.8476	-0.126E-02	0.112E-01	0.432E-03
3	185.201	20.0936	20.6193	-0.263E-03	0.697E-02	0.485E-03

<i>Datos Finales Tr = 5.22 años</i>		
$Qp = 185.201 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 20.0936 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 20.6193 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 7 años</i>		
$Qp = 206 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 16.4324 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 22.9039 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	206.0000	16.4324	22.9039	-0.222E-03	0.227E-01	0.698E-09
2	210.2802	18.9113	21.9969	-0.494E-03	0.679E-02	0.239E-03
3	205.4621	22.2117	22.7877	-0.942E-04	0.457E-02	0.232E-03

<i>Datos Finales Tr = 7 años</i>		
$Qp = 205.4621 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 22.2117 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 22.7876 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 10 años</i>		
$Qp = 230 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 18.3663 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 25.6360 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	230.0000	18.3663	25.6360	-0.253E-04	0.121E-01	0.000E+00
2	234.9334	20.9936	24.5853	-0.158E-03	0.372E-02	0.120E-03
3	229.9374	24.8186	25.4030	-0.249E-04	0.270E-02	0.943E-04

<i>Datos Finales Tr = 10 años</i>		
$Qp = 229.9374 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 24.8186 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 25.4030 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

Datos Iniciales Tr = 10.5 años		
$Qp = 233 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 18.6275 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 26.0569 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

NK	Qp	Vp	Vd	F1	F2	F3
1	233.0000	18.6275	26.0569	-0.560E-05	0.112E-01	0.175E-09
2	238.2092	21.2768	24.8144	-0.133E-03	0.345E-02	0.122E-03
3	233.2522	25.1776	25.7503	-0.210E-04	0.251E-02	0.850E-04

Datos Finales Tr = 10.5 años		
$Qp = 233.2522 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 25.1776 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 25.7503 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

Datos Iniciales Tr = 20 años		
$Qp = 276 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 22.0245 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 30.6791 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

NK	Qp	Vp	Vd	F1	F2	F3
1	276.0000	22.0245	30.6791	0.468E-05	0.356E-02	-0.437E-10
2	281.6579	24.9315	29.5450	-0.182E-04	0.116E-02	0.231E-04
3	276.3077	29.9033	30.3676	-0.837E-06	0.963E-03	0.159E-04

Datos Finales Tr = 20 años		
$Qp = 276.3077 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 29.9033 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 30.3676 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

Datos Iniciales Tr = 21 años		
$Qp = 279 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 22.2787 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 31.0696 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

NK	Qp	Vp	Vd	F1	F2	F3
1	279.0000	22.2787	31.0696	0.562E-05	0.329E-02	0.291E-10
2	284.8567	25.2072	29.8739	-0.155E-04	0.108E-02	0.223E-04
3	279.5429	30.2684	30.7083	-0.611E-06	0.893E-03	0.142E-04

Datos Finales Tr = 21 años		
$Qp = 279.5429 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 30.2684 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 30.7083 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 50 años</i>		
$Qp = 334 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 26.7596 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 37.5292 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	334.0000	26.7596	37.5292	0.171E-05	0.759E-03	-0.637E-11
2	341.6446	30.0555	35.8329	-0.907E-06	0.260E-03	0.438E-05
3	336.6013	36.8819	36.7549	0.164E-06	0.233E-03	0.171E-05

<i>Datos Finales Tr = 50 años</i>		
$Qp = 336.6013 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 36.8819 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 36.7549 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 100 años</i>		
$Qp = 379 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 30.3079 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 42.3385 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	379.0000	30.3079	42.3385	0.273E-06	0.225E-03	0.682E-12
2	387.0163	33.8806	40.7358	-0.104E-06	0.811E-04	0.698E-06
3	381.8837	42.3658	41.6006	0.488E-07	0.777E-04	0.262E-06

<i>Datos Finales Tr = 100 años</i>		
$Qp = 381.8837 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 42.3658 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 41.6006 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 500 años</i>		
$Qp = 480 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 38.5076 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 54.0821 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	480.0000	38.5076	54.0521	0.544E-08	0.146E-04	-0.213E-13
2	490.6265	42.8055	51.7105	-0.439E-10	0.562E-05	0.225E-07
3	487.1361	56.5802	52.7011	0.882E-09	0.544E-05	0.505E-08

<i>Datos Finales Tr = 500 años</i>		
$Qp = 487.1361 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 56.5802 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 52.7011 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 1000 años</i>		
$Qp = 524 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 42.0327 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 59.0068 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	524.0000	42.0327	59.0068	0.851E-09	0.438E-05	0.355E-14
2	535.3295	46.6451	56.5318	0.408E-10	0.174E-05	0.418E-08
3	532.5284	63.3978	57.5155	0.137E-09	0.168E-05	0.836E-09

<i>Datos Finales Tr = 1000 años</i>		
$Qp = 532.5284 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 63.3978 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 57.5155 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 5000 años</i>		
$Qp = 626 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 50.2145 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 70.4662 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	626.0000	50.2145	70.4662	0.109E-10	0.268E-06	-0.111E-15
2	638.9023	55.6015	67.7419	0.152E-11	0.113E-06	0.820E-10
3	638.1194	81.8047	68.7214	0.154E-11	0.105E-06	0.135E-10

<i>Datos Finales Tr = 5000 años</i>		
$Qp = 638.1194 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 81.8047 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 68.7214 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 10000 años</i>		
$Qp = 670 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 53.7358 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 75.3779 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	670.0000	53.7358	75.3779	0.161E-11	0.799E-07	-0.121E-16
2	683.4842	59.4718	72.6041	0.269E-12	0.344E-07	0.145E-10
3	683.6207	91.1834	73.5682	0.216E-12	0.312E-07	0.225E-11

<i>Datos Finales Tr = 10000 años</i>		
$Qp = 683.6207 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 91.1834 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 73.5682 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

3.2 ESTACIÓN BAMICORI

COLECTOR GENERAL: Río Fuerte
ÁREA DRENADA: 223 km²
COORDENADAS: Long. W.G. 108° 30' 00"
 Lat. N. 26° 22' 30"
PERIODO DE REGISTROS 1951-1980
UBICACIÓN: Se encuentra localizada en el arroyo de Baotén, aproximadamente a unos 700m de Bamicori, dentro del municipio de El Fuerte, estado de Sinaloa.

- 1 Inicialmente se estimaron los parámetros univariados para Q_p , V_t , V_p y V_d .
- 2 A partir de estos y aplicando el procedimiento propuesto por Raynal (1985), se obtienen los parámetros bivariados por medio de estimadores por máxima verosimilitud.

Relación	$u1$	$a1$	$u2$	$a2$	m
Q_p-V_t	22.219	21.574	2.619	2.206	3.82
Q_p-V_p	22.915	21.563	1.172	1.053	2.561
Q_p-V_d	22.132	20.91	1.323	0.75	3.059
V_p-V_d	1.197	1.139	1.348	1.244	1.855

Donde:

u_n Parámetros de ubicación
 a_n Parámetros de escala
 m Parámetro de asociación

- 3 Se proponen distintas probabilidades de excedencia (Tr), y a partir de éstas se calculan valores iniciales para Q_p , V_p y V_d , los cuales se denotan como Q_p^* , V_p^* y V_d^* y serán los valores de arranque del modelo.

Así el sistema de ecuaciones a resolver se transforma en:

$$f(Qp, Vt) = e^{3.82 \left(\frac{Qp - 22.219}{21.574} \right)} + e^{1.731(-1.271 - 1p)} \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{1.855} - e^{1.855 \left(\frac{1p - 1.197}{1.139} \right)} \right\}^{1.1612} - [-LnF(Qp, Vt)]^{3.82} = 0 = f1$$

$$f(Qp, Vp) = e^{-1.561 \left(\frac{Qp - 22.915}{21.563} \right)} + e^{-2.561 \left(\frac{1p - 1.172}{1.053} \right)} - [-LnF(Qp, Vp)]^{2.561} = 0 = f2$$

$$f(Qp, Vd) = e^{-3.059 \left(\frac{Qp - 22.132}{20.91} \right)} + e^{-3.059 \left(\frac{1d - 1.323}{0.75} \right)} - [-LnF(Qp, Vd)]^{3.059} = 0 = f3$$

Del capítulo anterior se sabe que el sistema a calcular parte de la forma:

$$J(x)\Delta x^{(k+1)} = -[f]$$

Desarrollando el jacobiano y reescribiendo en términos de las variables se tiene que:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Qp} & \frac{\partial f_1}{\partial Vp} & \frac{\partial f_1}{\partial Vd} \\ \frac{\partial f_2}{\partial Qp} & \frac{\partial f_2}{\partial Vp} & \frac{\partial f_2}{\partial Vd} \\ \frac{\partial f_3}{\partial Qp} & \frac{\partial f_3}{\partial Vp} & \frac{\partial f_3}{\partial Vd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Qp \\ \Delta Vp \\ \Delta Vd \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}$$

A continuación se obtendrán cada uno de los términos del jacobiano.

Para $f1$ se tiene que:

$$\frac{\partial f_1}{\partial Qp} = e^{-5.82 \left(\frac{Qp - 22.219}{21.574} \right)} (-0.177)$$

$$\frac{\mathcal{J}_1}{\partial p} = \left\{ (-\ln L(\cdot)(Qp, Vt))^{1.855} - e^{-1.855(1.1612)} \right\} \left[e^{-1.731(-1.271-1/p)} (1.731) \right] +$$

$$(1.1612) \left\{ \left((-\ln L(\cdot)(Qp, Vt))^{1.855} - e^{-1.855\left(\frac{1/p-1.197}{1.1394}\right)} \right) \right\}^{1.1612-1} \left[-e^{-1.855\left(\frac{1/p-1.197}{1.139}\right)} (-1.628) \right]$$

$$\frac{\mathcal{J}_1}{\partial d} = 0$$

Para f2:

$$\frac{\mathcal{J}_2}{\partial Qp} = e^{-2.561\left(\frac{Qp-22.95}{21.563}\right)} (-0.1187)$$

$$\frac{\mathcal{J}_2}{\partial p} = e^{-2.561\left(\frac{1/p-1.172}{1.053}\right)} (-2.432)$$

$$\frac{\mathcal{J}_2}{\partial d} = 0$$

Para f3 de manera análoga se tiene:

$$\frac{\mathcal{J}_3}{\partial Qp} = e^{-3.059\left(\frac{Qp-22.132}{20.91}\right)} (-0.1462)$$

$$\frac{\mathcal{J}_3}{\partial p} = 0$$

$$\frac{\mathcal{J}_3}{\partial d} = e^{-3.059\left(\frac{1/d-1.323}{0.75}\right)} (-4.078)$$

- 4 Una vez obtenidas las derivadas parciales del jacobiano como se puede observar, todos los términos están en función de Qp , Vp y Vd , por lo tanto se empezará con los valores de iniciales, en caso de no hacer cero a las funciones, entonces se procederá como se indica a continuación.
- 5 Se efectuarán las correcciones necesarias para Qp^* , Vt^* , Vp^* y Vd^* para lo cual se emplearán determinantes como se muestra a continuación:

$$\Delta Qp = \frac{f_2 \frac{\partial_1}{\partial Vp} \frac{\partial_3}{\partial Vd} - f_1 \frac{\partial_2}{\partial Vp} \frac{\partial_3}{\partial Vd}}{D}$$

$$\Delta Vp = \frac{f_1 \frac{\partial_2}{\partial Qp} \frac{\partial_3}{\partial Vd} - f_2 \frac{\partial_1}{\partial Qp} \frac{\partial_3}{\partial Vd}}{D}$$

$$\Delta Vd = \frac{f_1 \frac{\partial_2}{\partial Vp} \frac{\partial_3}{\partial Qp} + f_3 \frac{\partial_1}{\partial Vp} \frac{\partial_2}{\partial Qp} - f_3 \frac{\partial_1}{\partial Qp} \frac{\partial_2}{\partial Vp} - f_2 \frac{\partial_1}{\partial Vp} \frac{\partial_3}{\partial Qp}}{D}$$

Donde:

$$D = \frac{\partial_1}{\partial Qp} * \frac{\partial_2}{\partial Vp} * \frac{\partial_3}{\partial Vd} - \frac{\partial_2}{\partial Qp} * \frac{\partial_1}{\partial Vp} * \frac{\partial_3}{\partial Vd}$$

- 6 Se corrige el valor estimado:

$$Qp^* = Qp + \Delta Qp$$

$$Vp^* = Vp + \Delta Vp$$

$$Vd^* = Vd + \Delta Vd$$

Después se regresa al paso 4 y se evalúan las funciones.

Este procedimiento y los valores obtenidos se muestran a continuación:

<i>Datos Iniciales Tr = 2 años</i>		
$Qp = 60 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 2.6144 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 1.6008 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	60.0000	2.6144	1.6008	-0.211E+00	-0.394E+00	-0.461E-07

<i>Datos Finales Tr = 2 años</i>		
$Qp = 60 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 2.6144 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 1.6008 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 5 años</i>		
$Qp = 64 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 3.9054 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 2.5073 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	64.0000	3.9054	2.5073	-0.232E-02	-0.126E-02	0.140E-08

<i>Datos Finales Tr = 5 años</i>		
$Qp = 64 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 3.9054 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 2.5073 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 6.2 años</i>		
$Qp = 69 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 4.1764 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 2.6855 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	69.0000	4.1764	2.6855	-0.936E-03	-0.680E-02	-0.116E-08

<i>Datos Finales Tr = 6.2 años</i>		
$Qp = 69 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 4.1764 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 2.6855 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 7.75 años</i>		
$Qp = 74 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 4.4515 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 2.8671 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	74.0000	4.4515	2.8671	-0.372E-03	-0.363E-02	0.233E-09

<i>Datos Finales Tr = 7.75 años</i>		
$Qp = 74 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 4.4515 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 2.8671 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> <i>Tr = 10 años</i>		
$Qp = 80 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 4.7601 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.0672 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	80.0000	4.7601	3.0627	-0.134E-03	-0.184E-02	-0.728E-10

<i>Datos Finales</i> <i>Tr = 10 años</i>		
$Qp = 80 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 4.7601 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.0672 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> <i>Tr = 10.333 años</i>		
$Qp = 80 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 4.7994 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.1002 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	80.0000	4.7994	3.1002	-0.113E-03	-0.159E-02	0.102E-09

<i>Datos Finales</i> <i>Tr = 10.333 años</i>		
$Qp = 80 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 4.7994 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.1002 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> <i>Tr = 15.5 años</i>		
$Qp = 89 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 5.2810 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.4156 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	89.0000	5.2810	3.4156	-0.227E-04	-0.538E-03	0.528E-10

<i>Datos Finales</i> <i>Tr = 15.5 años</i>		
$Qp = 89 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 5.2810 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.4156 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> <i>Tr = 20 años</i>		
$Qp = 95 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 5.5800 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.6075 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	95.0000	5.5800	3.6075	-0.845E-05	-0.248E-03	0.418E-10

<i>Datos Finales</i> <i>Tr = 20 años</i>		
$Qp = 95 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 5.5800 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.6075 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 31 años</i>		
$Qp = 104 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 6.0896 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.9465 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	104.0000	6.0896	3.9465	-0.151E-05	-0.860E-04	-0.318E-11

<i>Datos Finales Tr = 31 años</i>		
$Qp = 104 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 6.0896 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 3.9465 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 50 años</i>		
$Qp = 105 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 6.6413 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 4.6830 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	105.0000	6.6413	4.6830	0.110E-06	0.143E-04	-0.227E-12
2	105.9432	8.5498	4.5185	0.290E-07	0.646E-05	0.368E-06

<i>Datos Finales Tr = 50 años</i>		
$Qp = 105.9432 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 8.5498 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 4.5185 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 100 años</i>		
$Qp = 120 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 7.4365 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 5.1468 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	120.0000	7.4365	5.1468	0.779E-08	0.242E-05	-0.284E-13
2	121.0095	9.5463	5.0167	0.198E-08	0.107E-05	0.348E-07

<i>Datos Finales Tr = 100 años</i>		
$Qp = 121.0095 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 9.5463 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 5.0167 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 500 años</i>		
$Qp = 155 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 9.2743 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 6.2408 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	155.0000	9.2743	6.2408	0.136E-10	0.338E-07	-0.666E-15
2	155.8892	11.8605	6.1808	0.337E-11	0.155E-07	0.932E-10

<i>Datos Finales Tr = 500 años</i>		
$Qp = 155.8892 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 11.8605 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 6.1808 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 1000 años</i>		
$Qp = 168 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 10.0643 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 6.9111 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	168.0000	10.0643	6.9111	0.275E-11	0.125E-07	-0.416E-16
2	170.2329	13.8855	6.5688	0.676E-12	0.442E-08	0.234E-09

<i>Datos Finales Tr = 1000 años</i>		
$Qp = 170.2329 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 13.8855 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 6.5688 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 5000 años</i>		
$Qp = 200.5 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 11.8981 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 8.5055 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	200.5000	11.8981	8.5055	0.122E-13	0.360E-09	-0.244E-18

<i>Datos Finales Tr = 5000 años</i>		
$Qp = 200.5 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 11.8981 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 8.5055 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 10000 años</i>		
$Qp = 214.8 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 12.6873 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 9.3097 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	214.8000	12.6873	9.3097	0.103E-14	0.703E-10	0.169E-20

<i>Datos Finales Tr = 10000 años</i>		
$Qp = 214.8 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 12.6873 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 9.3097 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

3.1 ESTACIÓN SAN IGNACIO

COLECTOR GENERAL:	Río Fuerte
ÁREA DRENADA:	12 166 km ²
COORDENADAS:	Long. W.G. 107° 52' 45"
	Lat. N. 26° 52' 15"
PERIODO DE REGISTROS	1967-1982
UBICACIÓN:	Se encuentra localizada, aproximadamente a unos 5 km. aguas abajo de la confluencia del río Batopilas al río San Miguel o Verde, cerca del poblado de San Ignacio, en el estado de Chihuahua, municipio de Batopilas antes de la confluencia del río Urique.

- 1 Inicialmente se estimaron los parámetros univariados para Q_p , V_t , V_p y V_d .
- 2 A partir de estos y aplicando el procedimiento propuesto por Raynal (1985), se obtienen los parámetros bivariados por medio de estimadores por máxima verosimilitud.

Relación	u_1	a_1	u_2	a_2	m
Q_p-V_t	897.928	385.539	174.313	62.814	2.833
Q_p-V_p	907.454	403.262	69.177	29.944	1.723
Q_p-V_d	912.748	387.651	96.851	41.481	2.554
V_p-V_d	68.745	31.174	100.372	44.565	1.432

Donde:

u_n Parámetros de ubicación
 a_n Parámetros de escala
 m Parámetro de asociación

- 3 Se proponen distintas probabilidades de excedencia (Tr), y a partir de éstas se calculan los valores iniciales para Q_p , V_p y V_d , los cuales se denotan como Q_p^* , V_p^* y V_d^* y serán los valores de arranque del modelo.

Así el sistema de ecuaciones a resolver se transforma en:

$$f(Qp, Vd) = e^{-2.833 \left(\frac{Qp - 897.928}{385.539} \right)} + e^{-0.0451(-37.558 - p)} \left\{ [-LnF(Vp, Vd)]^{1.432} - e^{1.432 \left(\frac{p - 68.745}{31.174} \right)} \right\}^{1.4035} - [-LnF(Qp, Vd)]^{2.833} = 0 = f1$$

$$f(Qp, Vp) = e^{-1.723 \left(\frac{Qp - 907.454}{403.262} \right)} + e^{-1.723 \left(\frac{p - 69.177}{29.944} \right)} - [-LnF(Qp, Vp)]^{1.723} = 0 = f2$$

$$f(Qp, Vd) = e^{-2.554 \left(\frac{Qp - 912.748}{387.651} \right)} + e^{-2.554 \left(\frac{Vd - 96.851}{41.481} \right)} - [-LnF(Qp, Vd)]^{2.554} = 0 = f3$$

Del capítulo anterior se sabe que el sistema a calcular parte de la forma:

$$J(x)\Delta x^{(k+1)} = -[f]$$

Desarrollando el jacobiano y reescribiendo en términos de las variables se tiene que:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Qp} & \frac{\partial f_1}{\partial Vp} & \frac{\partial f_1}{\partial Vd} \\ \frac{\partial f_2}{\partial Qp} & \frac{\partial f_2}{\partial Vp} & \frac{\partial f_2}{\partial Vd} \\ \frac{\partial f_3}{\partial Qp} & \frac{\partial f_3}{\partial Vp} & \frac{\partial f_3}{\partial Vd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Qp \\ \Delta Vp \\ \Delta Vd \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}$$

A continuación se obtendrán cada uno de los términos del jacobiano.

Para $f1$ se tiene que:

$$\frac{\partial f_1}{\partial Qp} = e^{-2.833 \left(\frac{Qp - 897.928}{385.539} \right)} (-0.0315)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial p} = \left\{ (-\ln f((Qp, Vt))^{1.432} - e^{-1.432(1.4035)}) \right\} \left[e^{-0.0451(37.558 - 1p)} (0.0451) \right] +$$

$$(1.4035) \left\{ \left((-\ln f((Qp, Vt))^{1.432} - e^{-1.432\left(\frac{1p-68.745}{31.174}\right)}) \right)^{1.4035-1} \left[-e^{-1.432\left(\frac{1p-68.745}{31.174}\right)} (-0.0459) \right] \right\}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial d} = 0$$

Para f2:

$$\frac{\partial f_2}{\partial Qp} = e^{-1.723\left(\frac{Qp-907.454}{403.262}\right)} (-0.00427)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial Vp} = e^{-1.723\left(\frac{1p-69.177}{29.944}\right)} (-0.0754)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial d} = 0$$

Para f3 de manera análoga se tiene:

$$\frac{\partial f_3}{\partial Qp} = e^{-2.554\left(\frac{Qp-912.748}{387.651}\right)} (-0.00658)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial Vp} = 0$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial d} = e^{-2.554\left(\frac{1d-96.851}{31.481}\right)} (-0.06157)$$

- 4 Una vez obtenidas las derivadas parciales del jacobiano como se puede observar, todos los términos están en función de Qp , Vp y Vd , por lo tanto se empezará con los valores de iniciales, en caso de no hacer cero a las funciones, entonces se procederá como se indica a continuación.
- 5 Se efectuarán las correcciones necesarias para Qp^* , Vl^* , Vp^* y Vd^* para lo cual se emplearán determinantes como se muestra a continuación:

$$\Delta Qp = \frac{f_2 \frac{\partial_1}{\partial Vp} \frac{\partial_3}{\partial Vd} - f_1 \frac{\partial_2}{\partial Vp} \frac{\partial_3}{\partial Vd}}{D}$$

$$\Delta Vp = \frac{f_1 \frac{\partial_2}{\partial Qp} \frac{\partial_3}{\partial Vd} - f_2 \frac{\partial_1}{\partial Qp} \frac{\partial_3}{\partial Vd}}{D}$$

$$\Delta Vd = \frac{f_1 \frac{\partial_2}{\partial Vp} \frac{\partial_3}{\partial Qp} + f_3 \frac{\partial_1}{\partial Vp} \frac{\partial_2}{\partial Qp} - f_3 \frac{\partial_1}{\partial Qp} \frac{\partial_2}{\partial Vp} - f_2 \frac{\partial_1}{\partial Vp} \frac{\partial_3}{\partial Qp}}{D}$$

Donde:

$$D = \frac{\partial_1}{\partial Qp} * \frac{\partial_2}{\partial Vp} * \frac{\partial_3}{\partial Vd} - \frac{\partial_2}{\partial Qp} * \frac{\partial_1}{\partial Vp} * \frac{\partial_3}{\partial Vd}$$

- 6 Se corrige el valor estimado:

$$Qp^* = Qp + \Delta Qp$$

$$Vp^* = Vp + \Delta Vp$$

$$Vd^* = Vd + \Delta Vd$$

Después se regresa al paso 4 y se evalúan las funciones.

Este procedimiento y los valores obtenidos se muestran a continuación:

<i>Datos Iniciales</i> <i>Tr = 2 años</i>		
$Qp = 1065 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 81.1706 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 156.4919 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	1065.0000	81.1706	156.4919	-0.566E-01	0.480E+00	0.000E+00

<i>Datos Finales</i> <i>Tr = 2 años</i>		
$Qp = 1065 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 81.1706 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 156.4919 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> <i>Tr = 3.4 años</i>		
$Qp = 1332 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 102.6233 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 184.6798 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	1332.0000	102.6233	184.6798	-0.878E-02	0.146E+00	0.186E-08

<i>Datos Finales</i> <i>Tr = 3.4 años</i>		
$Qp = 1332 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 102.6233 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 184.6798 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> <i>Tr = 4.25 años</i>		
$Qp = 1433 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 110.7632 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 195.8468 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	1433.0000	110.7632	195.8468	-0.427E-02	0.936E-01	0.000E+00

<i>Datos Finales</i> <i>Tr = 4.25 años</i>		
$Qp = 1433 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 110.7632 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 195.8468 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> <i>Tr = 5 años</i>		
$Qp = 1505 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 116.5041 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 202.5711 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	1505.0000	116.5041	202.5711	-0.263E-02	0.681E-01	0.000E+00

<i>Datos Finales</i> <i>Tr = 5 años</i>		
$Qp = 1505 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 116.5041 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 202.5711 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> $Tr = 5.667$ años		
$Qp = 1559 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 120.8441 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 208.2997 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	1559.0000	120.8441	208.2997	-0.180E-02	0.536E-01	0.233E-09

<i>Datos Finales</i> $Tr = 5.667$ años		
$Qp = 1559 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 120.8441 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 208.2997 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> $Tr = 8.5$ años		
$Qp = 1729 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 134.5289 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 226.758 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	1729.0000	134.5289	226.758	-0.534E-03	0.253E-01	0.873E-10

<i>Datos Finales</i> $Tr = 8.5$ años		
$Qp = 1729 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 134.5289 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 226.758 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales</i> $Tr = 10$ años		
$Qp = 1810 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 139.8979 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 220.8734 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	1810.0000	139.8979	220.8734	-0.468E-03	0.175E-01	-0.146E-09
2	1779.7340	160.5073	239.0440	-0.545E-04	0.858E-02	0.283E-03
3	1772.6560	191.4991	283.0028	-0.394E-04	0.498E-02	0.283E-03

<i>Datos Finales</i> $Tr = 10$ años		
$Qp = 1772.656 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 191.4991 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 283.0028 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 17 años</i>		
$Qp = 2010 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 157.1274 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 256.85 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	2010.0000	157.1274	256.85	-0.722E-04	0.735E-02	0.255E-10

<i>Datos Finales Tr = 17 años</i>		
$Qp = 2010 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 157.1274 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 256.85 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 20 años</i>		
$Qp = 2075 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 162.3379 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 263.4803 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	2075.0000	162.3379	263.4803	-0.458E-04	0.552E-02	0.146E-10

<i>Datos Finales Tr = 20 años</i>		
$Qp = 2075 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 162.3379 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 263.4803 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 50 años</i>		
$Qp = 2510 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 191.3841 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 272.5086 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	2510.0000	191.3841	272.5086	-0.863-05	0.743E-03	0.364E-11

<i>Datos Finales Tr = 50 años</i>		
$Qp = 2510 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 191.3841 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 272.5086 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 100 años</i>		
$Qp = 3010 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 213.1501 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 289.8635 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	3010.000	213.1501	289.8635	-0.200E-05	0.167E-04	0.500E-11
2	2996.204	213.6707	290.0770	-0.198E-05	0.169E-04	0.484E-08
3	2983.959	214.1767	290.2874	-0.196E-05	0.170E-04	0.902E-08
4	2972.923	214.6720	290.4957	-0.192E-05	0.171E-04	0.127E-07
5	2962.866	215.1595	290.7026	-0.192E-05	0.171E-04	0.160E-07

<i>Datos Finales Tr = 100 años</i>		
$Qp = 2962.866 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 215.1595 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 290.7026 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 500 años</i>		
$Qp = 3710 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 263.4484 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 355.9052 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	3710.000	263.4484	355.9052	-0.216E-07	-0.213E-05	-0.968E-13
2	3683.702	264.3030	356.1410	-0.213E-07	-0.205E-05	0.170E-09
3	3662.374	265.1160	356.3719	-0.211E-07	-0.199E-05	0.302E-09
4	3644.350	265.9035	356.6000	-0.209E-07	0.193E-05	0.410E-09
5	3628.714	266.6746	356.8261	-0.207E-07	0.188E-05	0.501E-09
6	3614.897	267.4352	357.0508	-0.204E-07	-0.184E-05	0.579E-09
7	3602.516	268.1898	357.2746	-0.202E-07	-0.179E-05	0.647E-09
8	3591.301	268.9418	357.4977	-0.200E-07	-0.176E-05	0.707E-09
9	3581.053	269.6941	357.7203	-0.198E-07	-0.172E-05	0.761E-09

<i>Datos Finales Tr = 500 años</i>		
$Qp = 3581.053 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 269.6941 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 357.7203 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

Datos Iniciales Tr = 1000 años		
$Qp = 4010 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 285.0722 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 384.4281 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

NK	Qp	Vp	Vd	F1	F2	F3
1	4010.000	285.0722	384.4281	-0.306E-08	-0.101E-05	0.899E-14
2	3975.915	286.1287	384.6732	-0.302E-08	-0.970E-06	0.397E-10
3	3949.792	287.1205	384.9124	-0.299E-08	-0.941E-06	0.685E-10
4	3928.463	288.0763	385.148	-0.296E-08	-0.917E-06	0.910E-10
5	3910.394	289.0113	385.3812	-0.292E-08	-0.895E-06	0.109E-09
6	3894.704	289.9349	385.6129	-0.289E-08	-0.875E-06	0.125E-09
7	3880.833	290.8540	385.8433	-0.286E-08	-0.857E-06	0.138E-09
8	3868.404	291.7738	386.0730	-0.283E-08	-0.840E-06	0.150E-09
9	3857.146	292.6988	386.3021	-0.280E-08	-0.824E-06	0.160E-09
10	3846.861	293.6327	386.5308	-0.277E-08	-0.809E-06	0.169E-09

Datos Finales Tr = 1000 años		
$Qp = 3846.861 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 293.6327 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 386.5308 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

Datos Iniciales Tr = 5000 años		
$Qp = 4510 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 335.261 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 452.6543 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

NK	Qp	Vp	Vd	F1	F2	F3
1	4510.000	335.2610	452.6543	-0.302E-10	0.752E-08	0.000E+00
2	4496.373	336.1992	452.8970	-0.299E-10	0.812E-08	0.246E-12
3	4484.204	337.1374	453.1378	-0.296E-10	0.865E-08	0.460E-12
4	4473.201	338.0813	453.3773	-0.293E-10	0.911E-08	0.650E-12
5	4463.159	339.0354	453.6159	-0.290E-10	0.953E-08	0.821E-12

Datos Finales Tr = 5000 años		
$Qp = 4463.159 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 339.0354 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 453.6159 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>Datos Iniciales Tr = 10000 años</i>		
$Qp = 5010 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 356.8614 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 479.4087 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

<i>NK</i>	<i>Qp</i>	<i>Vp</i>	<i>Vd</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	5010.000	356.8614	479.4087	-0.458E-11	-0.392E-07	0.505E-16
2	4929.011	359.0241	479.6866	-0.452E-11	-0.367E-07	0.333E-12
3	4884.982	360.8861	479.9495	-0.447E-11	-0.353E-07	0.487E-12
4	4853.422	362.6671	480.2059	-0.442E-11	-0.343E-07	0.589E-12
5	4828.607	364.4330	480.4585	-0.437E-11	-0.335E-07	0.665E-12
6	4808.099	366.2212	480.7084	-0.432E-11	-0.327E-07	0.724E-12
7	4790.604	368.0597	480.9565	-0.428E-11	-0.320E-07	0.773E-12
8	4775.344	369.9742	481.2032	-0.423E-11	-0.314E-07	0.813E-12
9	4761.812	371.9913	481.4490	-0.419E-11	-0.307E-07	0.847E-12
10	4749.658	374.1411	481.6942	-0.414E-11	-0.301E-07	0.877E-12
11	4738.631	376.4607	481.9390	-0.410E-11	-0.295E-07	0.902E-12
12	4728.542	378.9978	482.1837	-0.406E-11	-0.290E-07	0.924E-12

<i>Datos Finales Tr = 10000 años</i>		
$Qp = 4728.542 \text{ m}^3/\text{s}$	$Vp = 378.9978 \text{ E}+06 \text{ m}^3$	$Vd = 482.1837 \text{ E}+06 \text{ m}^3$

A continuación se presenta un resumen, conteniendo los resultados calculados para 22 estaciones de medición.

ESTACION:

ALAMOS

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	78,627	66,037	13,07	11,705	2,964
Qp-Vp	78,833	69,079	5,917	5,212	1,912
Qp-Vd	77,435	63,178	6,613	7,156	2,593
Vp-Vd	5,93	5,082	6,749	7,343	1,458

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
21	Observado	271,01	15,6021	49,3737
	Estimado	279,5429	30,2684	30,7031
10,5	Observado	260,71	11,2627	24,9156
	Estimado	233,25	25,17	25,75
7	Observado	258,75	23,1937	31,1787
	Estimado	205,46	22,21	22,78
5,25	Observado	240	11,023	14,1091
	Estimado	185,2	20,09	20,61
4,2	Observado	199,28	8,6089	21,7037
	Estimado	169	18,42	18,88

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	VI (1E+06 m ³)
2	106,57	14,51	13,43	27,94
5	181,69	19,72	20,25	39,97
10	229,84	24,79	25,44	50,23
20	276,3	29,9	30,6	60,5
50	336,36	36,73	36,84	73,57
100	381,83	42,31	41,62	83,93
500	487,13	56,58	52,7	109,28
1000	532,06	61,98	57,67	119,65
5000	637,74	78,037	68,89	146,927
10000	683,62	86,59	73,73	160,32

ESTACION:

BAMICORI

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	22,219	21,574	2,619	2,206	3,82
Qp-Vp	22,915	21,563	1,172	1,053	2,56
Qp-Vd	22,132	20,91	1,323	0,75	3,06
Vp-Vd	1,197	1,139	1,348	1,244	1,86

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
31	Observado	142,55	6,1582	7,2347
	Estimado	104	6,0896	3,9465
15,5	Observado	94,97	4,3576	4,1027
	Estimado	89	5,281	3,4156
10,333	Observado	79,58	3,8128	3,4379
	Estimado	80	4,7994	3,1002
7,75	Observado	71,28	3,132	4,4876
	Estimado	74	4,4515	2,8671
6,2	Observado	70,0535	3,0535	4,266
	Estimado	69	4,1764	2,6855

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vl (1E+06 m ³)
2	60	2,61	1,6	4,21
5	64	3,9	2,51	6,41
10	80	4,76	3,06	7,82
20	95	5,58	3,6	9,18
50	105,94	8,54	4,51	13,05
100	121	9,54	5,01	14,55
500	155,89	11,86	6,18	18,04
1000	170,23	13,88	6,56	20,44
5000	200,5	11,89	8,5	20,39
10000	214,8	12,68	9,3	21,98

ESTACION:

CAZANATE

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-VI	134,818	108,406	15,272	10,338	3,2
Qp-Vp	136,535	121,906	6,876	5,2	4,52
Qp-Vd	127,973	101,917	7,815	5,487	2,12
Vp-Vd	6,67	4,746	7,895	5,951	2,21

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
19	Observado	1259,2	54,3974	68,7355
	Estimado	436	21,5165	27,9989
9,5	Observado	551,36	23,8188	3,0548
	Estimado	382,4952	19,3867	19,4782
6,333	Observado	320,94	13,8646	19,9406
	Estimado	318	16,0256	21,6617
4,75	Observado	307,17	15,0358	13,2697
	Estimado	310	14,4605	17,321
3,8	Observado	231,26	9,9904	14,2906
	Estimado	259	13,2996	18,6211

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vi (1E+06 m ³)
2	193,3	9,95	11,94	21,89
5	291	14,78	20,33	35,11
10	380,73	26,64	21,57	48,21
20	441	21,76	28,36	50,12
50	559,48	27,91	28,21	56,12
100	631,41	31,28	31,77	63,05
500	772	37,15	46,06	83,21
1000	842	40,45	50,02	90,47
5000	1007	48,09	58,66	106,75
10000	1077	51,38	62,59	113,97

ESTACION: CIINIPAS

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	516,735	360,424	79,247	49,969	3,132
Qp-Vp	519,62	370,704	34,429	21,391	2,233
Qp-Vd	523,726	357,452	41,829	32,08	2,36
Vp-Vd	35,561	22,163	42,164	33,657	1,632

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
21	Observado	1476,44	63,7822	97,2778
	Estimado	1614	103,49	175,233
10,5	Observado	1332,68	83,3484	86,7292
	Estimado	1357	87,57	152,4
7	Observado	1317,11	58,5002	160,9662
	Estimado	1203	78	138,06
5,25	Observado	1095,28	72,7505	71,4563
	Estimado	1090	71,01	128,27
4,2	Observado	1045,62	58,9878	67,2123
	Estimado	1010	65,42	111,51

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vl (1E+06 m ³)
2	673,66	63,97	82,69	146,66
5	1065,88	101,58	124,84	226,42
10	1319,21	148,17	161,53	309,7
20	1596	102,38	173,77	276,15
50	1928,79	160,26	199,79	360,05
100	2176,95	186,59	223,4	409,99
500	2751,88	268,8	275,06	543,86
1000	3013,57	209,46	286,92	496,38
5000	3591,309	250,85	336,48	587,33
10000	3840,05	269,18	356,25	625,43

ESTACION: CHOIX

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	134,922	90,786	20,691	10,099	2,18
Qp-Vp	135,88	89,35	10,637	5,828	1,314
Qp-Vd	133,873	85,385	9,08	5,566	2,594
Vp-Vd	10,642	5,951	9,526	6,422	1,255

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
25	Observado	602,01	26,0068	32,5646
	Estimado	425,97	41,66	28,65
12,5	Observado	420,12	18,9994	27,8079
	Estimado	361,22	38,25	25,039
8,333	Observado	354,37	15,3088	21,4026
	Estimado	322,4501	36,9102	22,9402
6,25	Observado	350,99	15,1628	34,8697
	Estimado	294,2652	35,88	21,46
5	Observado	251,73	10,8747	14,6046
	Estimado	271,82	35,26	20,32

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vl (1E+06 m ³)
2	167,38	49,06	16,9	65,96
5	271,82	35,26	20,32	55,58
10	340	37,63	23,88	61,51
20	406,24	36,48	27,24	63,72
50	489,72	44,94	32,29	77,23
100	553,01	48,33	35,96	84,29
500	699,3	56,48	44,57	101,05
1000	762,21	60,077	48,32	108,397
5000	908,28	68,57	57,07	125,64
10000	971,15	72,27	60,85	133,12

ESTACION: GUERACHIIC

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vt	299,6	283,04	53,847	55,694	5,092
Qp-Vp	303,83	278,17	24,393	22,816	1,931
Qp-Vd	296,155	243,336	27,707	34,421	2,88
Vp-Vd	23,396	21,687	28,239	36,092	1,412

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
14	Observado	1711	102,9975	248,2842
	Estimado	1037	116,1	121,18
7	Observado	1431,1	152,6472	94,2218
	Estimado	829	105,22	98,06
4,667	Observado	1132,13	67,3225	147,4818
	Estimado	702	101,54	84,62
3,5	Observado	452,7	25,2331	33,728
	Estimado	608	104,49	75,38
2,8	Observado	305,4	14,4202	21,6821
	Estimado	505	42,11	81,93

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vt (1E+06 m ³)
2	402,46	116,14	60,58	176,72
5	724,82	101,84	86,93	188,77
10	937,65	110,45	109,93	220,38
20	1141,55	122,49	133,13	255,62
50	1405,29	139,99	163,97	303,96
100	1569,23	194,26	175,87	370,13
500	1927,34	234,8	221,46	456,26
1000	2096,43	275,47	241,33	516,8
5000	2489,6	419,01	297,64	716,65
10000	2658,82	520,46	323,27	843,73

ESTACION:

HUITES

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vi	1593,059	1218,119	330,368	205,876	2,25
Qp-Vp	1518,716	1215,896	154,781	118,679	1,366
Qp-Vd	1500,908	1113,377	167,897	116,154	2,784
Vp-Vd	156,487	122,994	167,068	110,778	1,308

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
45	Observado	8682	541,4412	558,6451
	Estimado	6173	877,6515	625,3039
22,5	Observado	8525	410,8752	1081,685
	Estimado	5317,342	792,1427	547,6331
15	Observado	6728,93	1746,18	877,91
	Estimado	4811	740,76	502,25
11,25	Observado	6428,73	334,3943	698,3943
	Estimado	4447,715	703,4147	470,018
9	Observado	5730,35	286,2803	482,6169
	Estimado	4162,512	673,7743	444,9503

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vt (1E+06 m ³)
2	2023,98	436,02	268,31	704,33
5	3388,96	591,54	378,28	969,82
10	4297,6	687,85	456,79	1144,64
20	5170,84	777,34	534,45	1311,79
50	6302,54	890,46	637,13	1527,59
100	7151,24	973,86	715,16	1689,02
500	9113,73	1163,89	897,71	2061,6
1000	9957,79	1244,83	976,84	2221,67
5000	11917,38	1431,74	1161,45	2593,19
10000	12760,91	1511,92	1241,2	2753,12

ESTACION: JAINA

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-VI	403,408	292,366	78,184	51,396	2,026
Qp-Vp	406,204	293,879	37,983	24,327	1,794
Qp-Vd	394,66	296,512	37,417	31,357	1,735
Vp-Vd	36,488	23,516	36,091	30,26	1,652

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
18	Observado	1409,57	60,8934	2,309
	Estimado	1300,16	125,0627	149,9576
9	Observado	1380,53	132,373	142,5803
	Estimado	1099,643	105,176	124,034
6	Observado	936,79	40,4693	101,3951
	Estimado	978,5396	93,38171	108,7088
4,5	Observado	864,47	37,3451	37,3451
	Estimado	889,5969	84,80605	97,5822
3,6	Observado	818,47	95,1311	57,1618
	Estimado	817,97	77,94	88,69

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	VI (1E+06 m ³)
2	608,23	58,1	62,99	121,09
5	922,54	87,97	101,69	189,66
10	1130,54	108,2	127,98	236,18
20	1330,21	128,08	153,91	281,99
50	1588,89	154,91	189,23	344,14
100	1782,3	176,8	218,64	395,44
500	2235,77	227,66	254,31	481,97
1000	2438,75	241,65	314,18	555,83
5000	2899,815	290,42	416,63	707,05
10000	3099,49	311,42	487,56	798,98

ESTACION: MAHIONE

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-VI	78,345	31,6	25,271	15,622	1,63
Qp-Vp	77,057	31,261	17,816	12,435	1,54
Qp-Vd	78,927	32,437	6,835	5,223	1,36
Vp-Vd	17,192	10,44	6,827	5,402	1,41

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
14	Observado	166,8	35,9528	8,8914
	Estimado	164,3356	61,3087	32,6524
7	Observado	145,52	59,5167	9,6517
	Estimado	142,5158	51,0539	24,8521
4,667	Observado	132,04	20,8915	14,9731
	Estimado	129,553	44,5756	21,0167
3,5	Observado	131,21	35,6802	14,011
	Estimado	120,1438	39,6648	18,3421
2,8	Observado	104,02	5,6549	12,7535
	Estimado	112,6151	35,61	16,25

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vi (1E+06 m ³)
2	100,44	28,95	12,96	41,91
5	131,77	45,7	21,65	67,35
10	153,77	56,43	28,51	84,94
20	175,49	66,3	40,32	106,62
50	203,92	78,62	57,27	135,89
100	217,15	88,51	68,78	157,29
500	241,06	106,21	56,54	162,75
1000	258,01	114,82	62,36	177,18
5000	288,63	138,52	100,67	239,19
10000	308,41	145,68	107,35	253,03

ESTACION: MOLINOS

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-VI	18,77	11,704	2,535	1,378	1,97
Qp-Vp	18,761	11,313	1,194	0,81	1,29
Qp-Vd	18,079	11,596	1,32	0,326	3,29
Vp-Vd	1,227	0,854	1,36	0,797	1,59

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
11	Observado	63,9	2,7605	3,6487
	Estimado	56	4,2344	2,091
5,5	Observado	40,16	1,7349	2,3414
	Estimado	47	3,5986	1,849
3,667	Observado	35,23	1,7319	2,7825
	Estimado	42	3,2043	1,698
2,75	Observado	20,5	0,8856	1,5077
	Estimado	38	2,9051	1,5837
2,2	Observado	20,06	3,1389	1,8092
	Estimado	34	2,6545	1,4889

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vt (1E+06 m ³)
2	33	2,54	1,44	3,98
5	46	3,5	1,81	5,31
10	55	4,14	2,05	6,19
20	63	4,76	2,29	7,05
50	74	5,55	2,59	8,14
100	82	6,15	2,82	8,97
500	101	7,53	3,35	10,88
1000	109	8,12	3,57	11,69
5000	118,52	8,8	3,82	12,62
10000	126,61	9,32	4,14	13,46

ESTACION: NARANJO

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	177,745	163,916	28,451	27,058	2,6
Qp-Vp	184,871	180,217	11,909	11,865	1,62
Qp-Vd	177,597	159,992	15,004	15,542	2,2
Vp-Vd	12,25	12,443	15,409	16,673	1,4

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
46	Observado	1083,88	53,5291	72,9518
	Estimado	799	60,7533	88,4858
23	Observado	917,61	39,6408	55,2619
	Estimado	686	51,9894	77,7372
15,333	Observado	825,45	43,0536	134,0613
	Estimado	620	46,8022	70,8275
11,5	Observado	823,8	35,5882	95,5074
	Estimado	572	43,0784	66,2479
9,2	Observado	762,18	109,385	32,9262
	Estimado	534	40,1545	62,8448

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vl (1E+06 m ³)
2	241,91	40,23	31,37	71,6
5	428	31,91	52,57	84,48
10	548	41,25	64,27	105,52
20	663	50,2	75,57	125,77
50	812	61,8	90,1	151,9
100	924	70,48	100,76	171,24
500	1182	90,56	125,93	216,49
1000	1293	99,19	136,7	235,89
5000	1551	119,22	161,45	280,67
10000	1662	127,85	172,14	299,99

ESTACION: PALO DULCE

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	453,18	371,248	79,439	59,162	4,76
Qp-Vp	455,16	318,109	36,554	38,108	2,49
Qp-Vd	440,31	419,139	41,426	23,286	2,18
Vp-Vd	35,872	43,465	39,968	22,224	1,37

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
19	Observado	4569,65	540,4514	197,4089
	Estimado	1674	163,6823	140,4632
9,5	Observado	1353,7	87,6917	104,6166
	Estimado	1371	132,3296	124,3218
6,333	Observado	932,27	44,2113	72,2127
	Estimado	1189	113,4171	113,812
4,75	Observado	906,63	47,4194	105,7506
	Estimado	1055	99,56	106,7704
3,8	Observado	789,56	35,1121	62,6288
	Estimado	948	88,4298	100,4694

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vl (1E+06 m ³)
2	594,2	78,47	120,55	199,02
5	1080	102,06	107,29	209,35
10	1394	134,68	125,28	259,96
20	1696	165,97	141,76	307,73
50	2086	206,46	163,98	370,44
100	2379	236,81	179,89	416,7
500	3055	306,94	217,72	524,66
1000	3346	337,09	233,61	570,7
5000	4021	407,07	270,9	677,97
10000	4311	437,19	287,45	724,64

ESTACION: SAN BLAS

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	1661,034	1131,861	389,428	458,815	2,99
Qp-Vp	1648,669	1075,26	224,781	356,781	2,25
Qp-Vd	1720,199	1325,07	151,727	98,791	3,6
Vp-Vd	229,784	360,586	148,471	82,711	1,9

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
9	Observado	8352,88	2612,85	640,47
	Estimado	4463,66	1053,32	547,36
4,5	Observado	3740	395,038	254,9411
	Estimado	3511	813,1231	437,005
3	Observado	2812	335,5087	379,131
	Estimado	3642,041	565,3475	244,67
2,25	Observado	2128,96	91,9711	143,3108
	Estimado	2435	422,39	301,96
1,8	Observado	1157,5	85,6094	126,6089
	Estimado	2310	306,3531	187,8205

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vi (1E+06 m ³)
2	2310	362,94	226,45	589,39
5	3810	771,64	338,86	1110,5
10	4600	1090,64	661,02	1751,66
20	5666	1301,79	544,42	1846,21
50	6714,44	1642,55	887,7	2530,25
100	7247,47	1893,53	1023,8	2917,33
500	9941,61	2471,35	922,99	3394,34
1000	10846,48	2721,46	1030,23	3751,69
5000	12913,44	3301,98	1348,04	4650,02
10000	13777,52	3551,82	1556,18	5108

ESTACION: SAN FRANCISCO

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	795,538	606,127	170,692	100,569	2,04
Qp-Vp	792,721	589,922	85,138	60,488	1,55
Qp-Vd	799,854	656,004	78,685	45,972	2,39
Vp-Vd	85,226	62,72	81,97	52,738	1,63

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
33	Observado	4002,69	226,9586	288,4468
	Estimado	3094	304,5645	301,7433
16,5	Observado	3924	266,9328	250,0113
	Estimado	2629	260,1023	269,0808
11	Observado	3482,1	714,109	240,1859
	Estimado	2265,613	289,4208	252,8057
8,25	Observado	2557,4	257,446	178,6061
	Estimado	2084,959	271,4717	171,8332
6,6	Observado	2415,92	156,3563	171,3839
	Estimado	1942,697	257,1551	176,9189

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vl (1E+06 m ³)
2				0
5	1762,05	238,66	130,17	368,83
10	2206,04	283,52	230,44	513,96
20	2777,2	289,71	245,81	535,52
50	3370	330,95	321,14	652,09
100	3828	374,74	353,29	728,03
500	4887	475,94	426,48	902,42
1000	5342	519,44	458,43	977,87
5000	6398	620,42	532,69	1153,11
10000	6826,72	666,74	583,52	1252,26

ESTACION: SAN IGNACIO

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	897,928	385,539	174,313	62,814	2,83
Qp-Vp	907,454	403,262	69,177	29,944	1,72
Qp-Vd	912,748	387,651	96,851	41,481	2,55
Vp-Vd	68,745	31,174	100,372	44,565	1,43

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
17	Observado	2654,45	177,6937	265,1262
	Estimado	2010	157,1274	256,85
8,5	Observado	2081,11	127,4922	231,7089
	Estimado	1729	134,5289	226,758
5,667	Observado	1611,19	128,4816	173,7966
	Estimado	1559	120,8441	208,2997
4,25	Observado	1455,97	64,9923	122,151
	Estimado	1433	110,7632	195,8468
3,4	Observado	1326,74	80,3062	185,3176
	Estimado	1332	102,6233	184,6798

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vl (1E+06 m ³)
2	1065	81,17	156,49	237,66
5	1505	116,5	202,57	319,07
10	1772,65	191,49	283	474,49
20	2075	162,33	263,48	425,81
50	2510	191,38	272,5	463,88
100	2962,86	215,15	290,7	505,85
500	3581,05	269,69	357,72	627,41
1000	3846,86	293,63	386,53	680,16
5000	4463,15	339,03	453,61	792,64
10000	4728,54	378,99	482,18	861,17

ESTACION: SAN MIGUEL

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	265,147	321,376	117,248	132,617	3,8
Qp-Vp	264,729	303,856	52,158	58,953	2,08
Qp-Vd	266,56	292,414	60,196	81,009	2,85
Vp-Vd	48,933	56,329	62,552	94,744	1,56

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
18	Observado	2550,94	260,1495	679,1661
	Estimado	1188,34	254,2973	308,371
9	Observado	704,61	117,9589	176,3506
	Estimado	957,4495	217,2516	254,8338
6	Observado	703,5	265,0018	68,2854
	Estimado	818,1266	195,6123	223,5161
4,5	Observado	635,75	112,3507	126,9385
	Estimado	715,8736	180,2294	201,2688
3,6	Observado	598,89	114,2135	169,341
	Estimado	633,5599	168,2824	184,0293

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vi (1E+06 m ³)
2	392,07	138,24	141,33	279,57
5	753,74	185,86	209,41	395,27
10	993,01	222,87	262,96	485,83
20	1222,95	259,94	316,52	576,46
50	1521,15	309,42	387,69	697,11
100	1744,92	347,3	441,91	789,21
500	2262,65	436,62	568,99	1005,61
1000	2485,39	475,58	624,15	1099,73
5000	3002,55	566,92	752,89	1319,81
10000	3432,25	569,97	806,57	1376,54

ESTACION: **TECUSIAPA**

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-VI	320,382	281,461	59,13	55,487	3,58
Qp-Vp	322,998	289,455	25,552	24,488	2,31
Qp-Vd	323,69	281,871	31,437	31,98	3,13
Vp-Vd	24,627	22,847	32,179	32,068	2

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
18	Observado	1496,3	125,8805	180,4594
	Estimado	1141	91,0137	145,4341
9	Observado	1164,67	50,3137	77,8131
	Estimado	989,9	82,0216	73,4778
6	Observado	871,7	48,1352	96,7879
	Estimado	814	64,5121	108,38
4,5	Observado	832,65	105,678	76,4852
	Estimado	703,2954	102,3987	82,0023
3,6	Observado	707,9	54,5832	126,1993
	Estimado	651	51,2757	89,5806

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vt (1E+06 m ³)
2	446,87	53,72	58,37	112,09
5	731,57	110,3	87,61	197,91
10	964,97	105,13	98,78	203,91
20	1160,447	125,85	114,47	240,32
50	1456,35	132,59	131,31	263,9
100	1651,67	149,28	151,26	300,54
500	2102,4	187,52	196,39	383,91
1000	2296,29	203,83	212,07	415,9
5000	2745,3	241,42	257,07	498,49
10000	2814,85	316,83	359,05	675,88

ESTACION: TINA

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	14,033	18,043	1,571	1,687	6,11
Qp-Vp	14,656	17,208	0,741	0,792	3,65
Qp-Vd	13,698	17,872	0,821	0,887	6,06
Vp-Vd	0,772	0,851	0,84	0,88	2,91

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
25	Observado	207,67	9,679	9,6309
	Estimado	81	4,4939	3,6628
12,5	Observado	61,19	2,6434	3,9403
	Estimado	69	3,8861	3,0282
8,333	Observado	58,08	2,5091	3,2772
	Estimado	61	3,5221	2,6493
6,25	Observado	55,23	2,3859	3,0184
	Estimado	55	3,2584	2,3751
5	Observado	42,5	1,836	2,4218
	Estimado	51	3,04844	2,1556

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vt (1E+06 m ³)
2	31	2,08	1,14	3,22
5	51	3,04	2,155	5,195
10	64	3,68	2,82	6,5
20	77	4,29	3,46	7,75
50	94	5,09	4,28	9,37
100	106	5,68	4,9	10,58
500	135	7,05	6,33	13,38
1000	148	7,65	6,95	14,6
5000	176	9,02	8,38	17,4
10000	189	9,6	8,99	18,59

ESTACION: TOAHAYANA

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-Vl	562,54	456,059	91,839	72,57	3,85
Qp-Vp	563,376	458,296	34,157	25,749	3,18
Qp-Vd	564,865	455,51	56,102	47,493	3,27
Vp-Vd	34,429	25,752	56,677	49,576	2,65

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
21	Observado	1792,18	77,4222	137,4736
	Estimado	1972,421	126,85	222,6169
10,5	Observado	1657,7	71,6127	139,098
	Estimado	1650,641	106,4227	186,4554
7	Observado	1657,42	92,1655	150,3118
	Estimado	1457,231	94,36103	164,8637
5,25	Observado	1476,8	86,3827	216,1961
	Estimado	1316,044	85,6525	149,1481
4,2	Observado	1219,2	108,4147	132,5601
	Estimado	1203,161	78,6749	136,6055

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	Vi (1E+06 m ³)
2	784,69	53,1	90,24	143,34
5	1291,65	84,12	146,43	230,55
10	1627,63	104,98	183,88	288,86
20	1950,01	125,4	220,08	345,48
50	2366,82	153,27	267,86	421,13
100	2676,68	178,17	305,63	483,8
500	3411,73	216,64	380	596,64
1000	3734,1	227,65	409,04	636,69
5000	4455	254,76	498,76	753,52
10000	4771	272,6	531,17	803,77

ESTACION: *URIQUE*

PARAMETROS BIVARIADOS

<i>RELACION</i>	<i>u1</i>	<i>a1</i>	<i>u2</i>	<i>a2</i>	<i>m2</i>
<i>Qp-V1</i>	<i>174,808</i>	<i>105,075</i>	<i>27,775</i>	<i>20,364</i>	<i>2,14</i>
<i>Qp-Vp</i>	<i>173,282</i>	<i>103,539</i>	<i>10,805</i>	<i>8,88</i>	<i>1,86</i>
<i>Qp-Vd</i>	<i>174,631</i>	<i>106,2</i>	<i>16,795</i>	<i>11,918</i>	<i>2,27</i>
<i>Vp-Vd</i>	<i>10,579</i>	<i>8,491</i>	<i>17,102</i>	<i>11,021</i>	<i>2,63</i>

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

<i>Tr</i>	<i>Flujo</i>	<i>Qp</i> <i>(m³/s)</i>	<i>Vp</i> <i>(1E+06 m³)</i>	<i>Vd</i> <i>(1E+06 m³)</i>
<i>17</i>	<i>Observado</i>	<i>497,11</i>	<i>22,6839</i>	<i>35,0892</i>
	<i>Estimado</i>	<i>539,6013</i>	<i>37,0929</i>	<i>51,6277</i>
<i>8,5</i>	<i>Observado</i>	<i>488,89</i>	<i>62,0978</i>	<i>66,4075</i>
	<i>Estimado</i>	<i>454,4363</i>	<i>30,9916</i>	<i>43,3104</i>
<i>5,667</i>	<i>Observado</i>	<i>396,95</i>	<i>17,887</i>	<i>31,9434</i>
	<i>Estimado</i>	<i>403,7898</i>	<i>27,3023</i>	<i>38,2636</i>
<i>4,25</i>	<i>Observado</i>	<i>396,28</i>	<i>17,1193</i>	<i>33,9673</i>
	<i>Estimado</i>	<i>366,8221</i>	<i>24,5886</i>	<i>34,5513</i>
<i>3,4</i>	<i>Observado</i>	<i>268,75</i>	<i>24,6434</i>	<i>30,4245</i>
	<i>Estimado</i>	<i>337,151</i>	<i>22,3994</i>	<i>31,5481</i>

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

<i>Tr</i>	<i>Qp</i> <i>(m³/s)</i>	<i>Vp</i> <i>(1E+06 m³)</i>	<i>Vd</i> <i>(1E+06 m³)</i>	<i>V1</i> <i>(1E+06 m³)</i>
<i>2</i>	<i>259,58</i>	<i>16,64</i>	<i>23,62</i>	<i>40,26</i>
<i>5</i>	<i>387,84</i>	<i>26,13</i>	<i>36,66</i>	<i>62,79</i>
<i>10</i>	<i>474,47</i>	<i>32,43</i>	<i>45,28</i>	<i>77,71</i>
<i>20</i>	<i>559,58</i>	<i>38,5</i>	<i>53,54</i>	<i>92,04</i>
<i>50</i>	<i>674,73</i>	<i>46,35</i>	<i>64,21</i>	<i>110,56</i>
<i>100</i>	<i>768,4</i>	<i>52,25</i>	<i>72,2</i>	<i>124,45</i>
<i>500</i>	<i>1329,05</i>	<i>65,8</i>	<i>86,26</i>	<i>152,06</i>
<i>1000</i>	<i>1498,27</i>	<i>71,68</i>	<i>88,7</i>	<i>160,38</i>
<i>5000</i>	<i>1540,81</i>	<i>85,44</i>	<i>96,31</i>	<i>181,75</i>
<i>10000</i>	<i>1603,177</i>	<i>91,33</i>	<i>99</i>	<i>190,33</i>

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

ESTACION: VERANERA

PARAMETROS BIVARIADOS

<i>RELACION</i>	<i>u1</i>	<i>a1</i>	<i>u2</i>	<i>a2</i>	<i>m2</i>
<i>Qp-Vl</i>	<i>159,635</i>	<i>136,376</i>	<i>36,831</i>	<i>25,189</i>	<i>2,12</i>
<i>Qp-Vp</i>	<i>162,485</i>	<i>140,197</i>	<i>19,201</i>	<i>17,098</i>	<i>1,55</i>
<i>Qp-Vd</i>	<i>155,863</i>	<i>123,488</i>	<i>16,36</i>	<i>10,572</i>	<i>2,35</i>
<i>Vp-Vd</i>	<i>19,87</i>	<i>18,617</i>	<i>16,163</i>	<i>11,427</i>	<i>1,52</i>

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

<i>Tr</i>	<i>Flujo</i>	<i>Qp</i> <i>(m³/s)</i>	<i>Vp</i> <i>(1E+06 m³)</i>	<i>Vd</i> <i>(1E+06 m³)</i>
<i>13</i>	<i>Observado</i>	<i>858,9</i>	<i>72,0965</i>	<i>52,8448</i>
	<i>Estimado</i>	<i>478</i>	<i>67,8815</i>	<i>50,8233</i>
<i>6,5</i>	<i>Observado</i>	<i>589,3</i>	<i>46,4271</i>	<i>65,2234</i>
	<i>Estimado</i>	<i>387</i>	<i>54,1839</i>	<i>43,1016</i>
<i>4,33</i>	<i>Observado</i>	<i>298,35</i>	<i>68,15</i>	<i>30,4582</i>
	<i>Estimado</i>	<i>337,84</i>	<i>83,8898</i>	<i>31,0427</i>
<i>3,25</i>	<i>Observado</i>	<i>242,9</i>	<i>31,8942</i>	<i>22,0104</i>
	<i>Estimado</i>	<i>294,2</i>	<i>71,406</i>	<i>28,0448</i>
<i>2,6</i>	<i>Observado</i>	<i>215,8</i>	<i>29,7821</i>	<i>16,27</i>
	<i>Estimado</i>	<i>294,3281</i>	<i>40,08033</i>	<i>17,3325</i>

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

<i>Tr</i>	<i>Qp</i> <i>(m³/s)</i>	<i>Vp</i> <i>(1E+06 m³)</i>	<i>Vd</i> <i>(1E+06 m³)</i>	<i>Vl</i> <i>(1E+06 m³)</i>
<i>2</i>	<i>212</i>	<i>27,69</i>	<i>27,78</i>	<i>55,47</i>
<i>5</i>	<i>352</i>	<i>48,79</i>	<i>39,75</i>	<i>88,54</i>
<i>10</i>	<i>469,15</i>	<i>85,58</i>	<i>36,95</i>	<i>122,53</i>
<i>20</i>	<i>533</i>	<i>76,16</i>	<i>55,5</i>	<i>131,66</i>
<i>50</i>	<i>689,45</i>	<i>106,06</i>	<i>49</i>	<i>155,06</i>
<i>100</i>	<i>777,51</i>	<i>121,61</i>	<i>55,24</i>	<i>176,85</i>
<i>500</i>	<i>981,84</i>	<i>160,17</i>	<i>71,74</i>	<i>231,91</i>
<i>1000</i>	<i>1068,81</i>	<i>178,67</i>	<i>77,26</i>	<i>255,93</i>
<i>5000</i>	<i>1271,35</i>	<i>227,69</i>	<i>93,22</i>	<i>320,91</i>
<i>10000</i>	<i>1358,57</i>	<i>252,44</i>	<i>100,85</i>	<i>353,29</i>

ESTACION: ZOPILOTE

PARAMETROS BIVARIADOS

RELACION	u1	a1	u2	a2	m2
Qp-VI	98,58	90,749	12,975	12,87	4,02
Qp-Vp	101,054	95,306	5,857	5,478	2,23
Qp-Vd	98,464	85,137	6,616	7,729	3,25
Vp-Vd	5,781	5,308	7,014	8,224	1,62

Comparación entre el gasto pico y volúmenes observados contra los estimados por medio del método propuesto, para las 5 avenidas más grandes registradas.

Tr	Flujo	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)
43	Observado	718,32	34,3777	63,9447
	Estimado	437,5419	41,0521	36,9065
21,5	Observado	621,65	26,8553	60,2912
	Estimado	374,3284	34,39186	31,7578
14,333	Observado	395,04	23,9052	55,0109
	Estimado	333	20,7219	29,4727
10,75	Observado	361,82	16,8731	24,9592
	Estimado	310,092	28,2241	26,5787
8,6	Observado	323,64	43,8247	17,0364
	Estimado	289,018	26,3026	24,8941

Flujos estimados para eventos con distintos periodos de retorno

Tr	Qp (m ³ /s)	Vp (1E+06 m ³)	Vd (1E+06 m ³)	VI (1E+06 m ³)
2	135,56	13,41	13	26,41
5	236,33	21,68	20,72	42,4
10	303,27	27,58	26,04	53,62
20	367,68	33,7	31,23	64,93
50	451,22	42,58	38,02	80,6
100	513,89	50,06	43,21	93,27
500	658,36	73,71	55,23	128,94
1000	720,21	88,6	60,45	149,05
5000	862,9	149,82	72,63	222,45
10000	923,93	200,2	77,91	278,11

CAPÍTULO 4

***Aplicación de los métodos
existentes a las estaciones
de estudio***



4.1 MÉTODO DE MAYORACION

4.1.1 *El procedimiento de cálculo aplicado a la estación "ÁLAMOS" es como sigue:*

- 1) *A partir de la información de 21 años de registros de gastos medios diarios, estos se analizaron y se estimaron los gastos medios máximos anuales.*
- 2) *Se ajustaron con distintas funciones de probabilidad, utilizando los métodos de momentos y máxima verosimilitud, y se estimó el error cuadrático mínimo para cada una de las distribuciones, obteniéndose así la que mejor se ajustaron a el grupo de datos. Este procedimiento se llevo a cabo por medio del programa de computo AX.*
- 3) *Con la distribución elegida, se calcularon los gastos promedios para 4.2, 5.25, 7, 10.5 y 21 años de periodo de retorno, los cuales corresponden a los periodos de retorno para los cuales se tienen valores medidos reales en la estación, esto se hace con la finalidad de comparar los resultados con los distintos métodos existentes.*

Año	Qmedio máximo
1949	209.5
1950	41.79
1951	33.36
1952	93.39
1953	20.03
1954	56.26
1955	277.4
1956	162
1957	123.7
1958	193.9
1959	261.6
1960	247.8
1961	56.49
1962	40.21
1963	275.3
1964	41.89
1965	110.3
1966	170.3
1967	1.536
1968	73.8
1969	84.28
	*1

Tabla 4.1.1 *Gastos medios máximos anuales*
 *1 *Mejor ajuste Distribución Doble Gumbel*

Tr	Qm l
4.2	209.33
5.25	251.679
7	259.004
10.5	266.022
21	276.14

Tabla 4.1.2 Gastos promedios máximos para distintos periodos de retorno.

- 4) Con el gasto pico de los gastos medios diarios se procedió a separar el hidrograma de la avenida máxima, tomando 15 días antes del pico y 15 días después. El gasto pico máximo observado es el correspondiente a 277.4 registrado en el año de 1955, quedando el hidrograma de esa avenida como sigue:

Gasto Antes	(m ³ /s)	Gasto después	(m ³ /s)
	17.98		221.9
	5.878		143.9
	52.21		204.5
	15.77	Punto D	157.5
	8.159		118.6
	33.95		59.13
	40.82		62.76
	79.71		47.8
	54.09		28.93
	29.45		17.39
	23.98		36.11
	11.34		18.6
	6.786		16.89
	32.23		12.78
Punto A	26.58		8.400

Tabla 4.1.3. Gastos diarios antes y después del pico

Se puede ver el hidrograma en la gráfica 4.1.1

- 5) Se identifico el punto de levantamiento A y de la fórmula (1, inciso 1.1) se obtuvo el punto D, tomando el área de 2 270 km² correspondiente al área de la cuenca.

$$N = 0.827 A^{0.2} = 0.827(2270)^{0.2} = 3.87 \approx 4 \text{ dias}$$

6) Así se obtiene el hidrograma correspondiente a la avenida máxima registrada y cada una de sus ordenadas.

El hidrograma se puede apreciar en la gráfica 4.1.2.

Los valores del hidrograma y del factor de ajuste se pueden ver a continuación así mismo como el volumen total, antes y después del pico.

Para el cálculo del volumen total se multiplicó el tiempo de duración por cada uno de los gastos promedios diarios, de manera análoga se procedió con el volumen antes (V_p) y después (V_d) del pico.

Estos resultados se puede visualizar a continuación en las siguientes tablas donde se resumen cada uno de ellos.

**METODO DE MAYORACION
ESTACION ALAMOS**

	Duración (días)					
	1	2	3	4	5	6
<i>Q (m³/s)</i>	26,58	277,4	221,9	143,9	204,7	157,5
<i>unitario</i>	0,095818	1	0,799928	0,518745	0,737924	0,567772

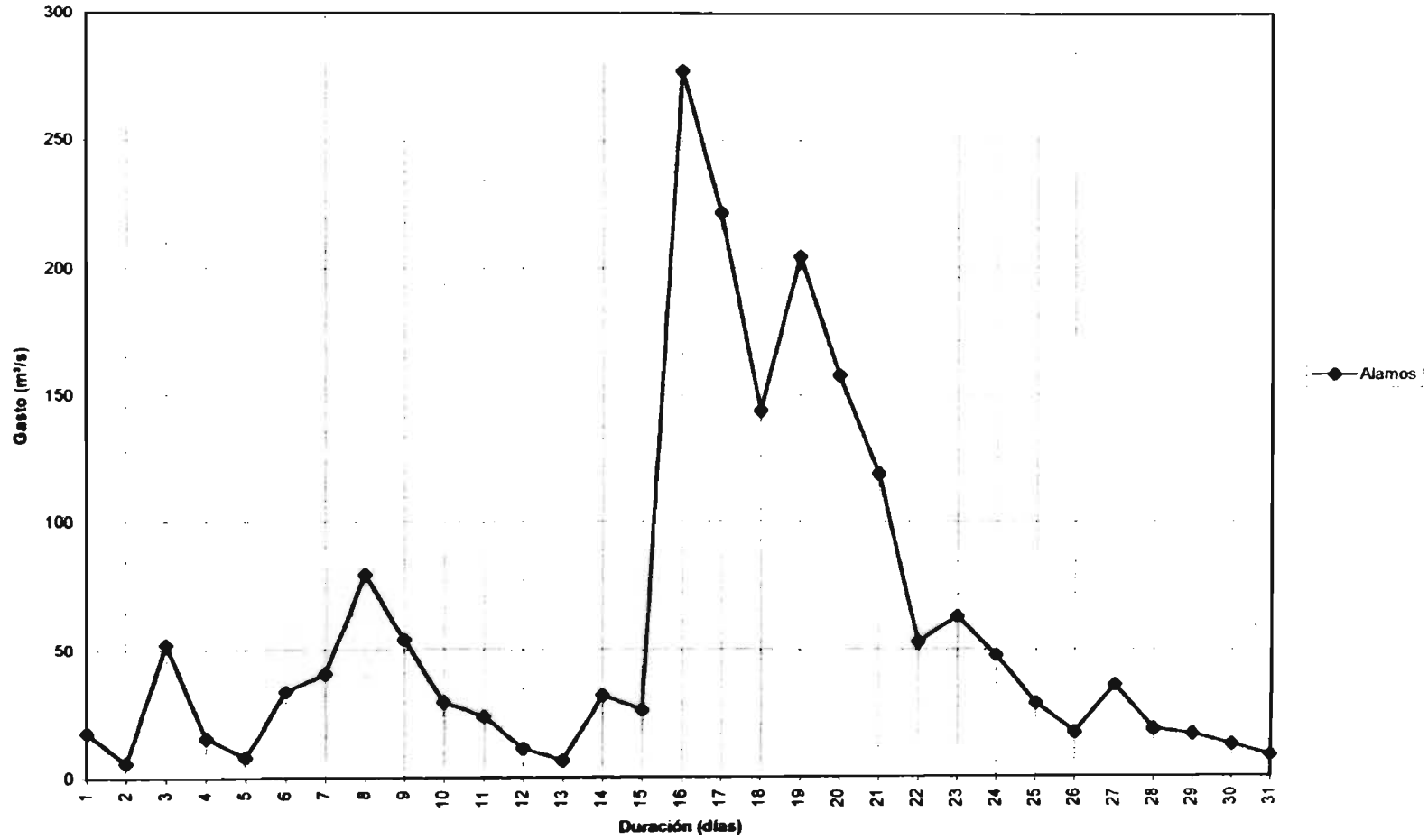
<i>Tr</i>	4.2	5.25	7	10.5	21
<i>Qmedio.max</i>	209,33	251,679	259,004	266,022	276,14
<i>FA</i>	0,754614	0,907278	0,933684	0,958983	0,995458

<i>Tr</i>	Duración (días)					
	1	2	3	4	5	6
4,2	20,05765	209,33	167,4489	108,589	154,4695	118,8517
5,25	24,11546	251,679	201,3251	130,5573	185,7199	142,8963
7	24,81733	259,004	207,1845	134,3572	191,1252	147,0553
10,5	25,48978	266,022	212,7984	137,9977	196,3039	151,0399
21	26,45927	276,14	220,8921	143,2464	203,7702	156,7846

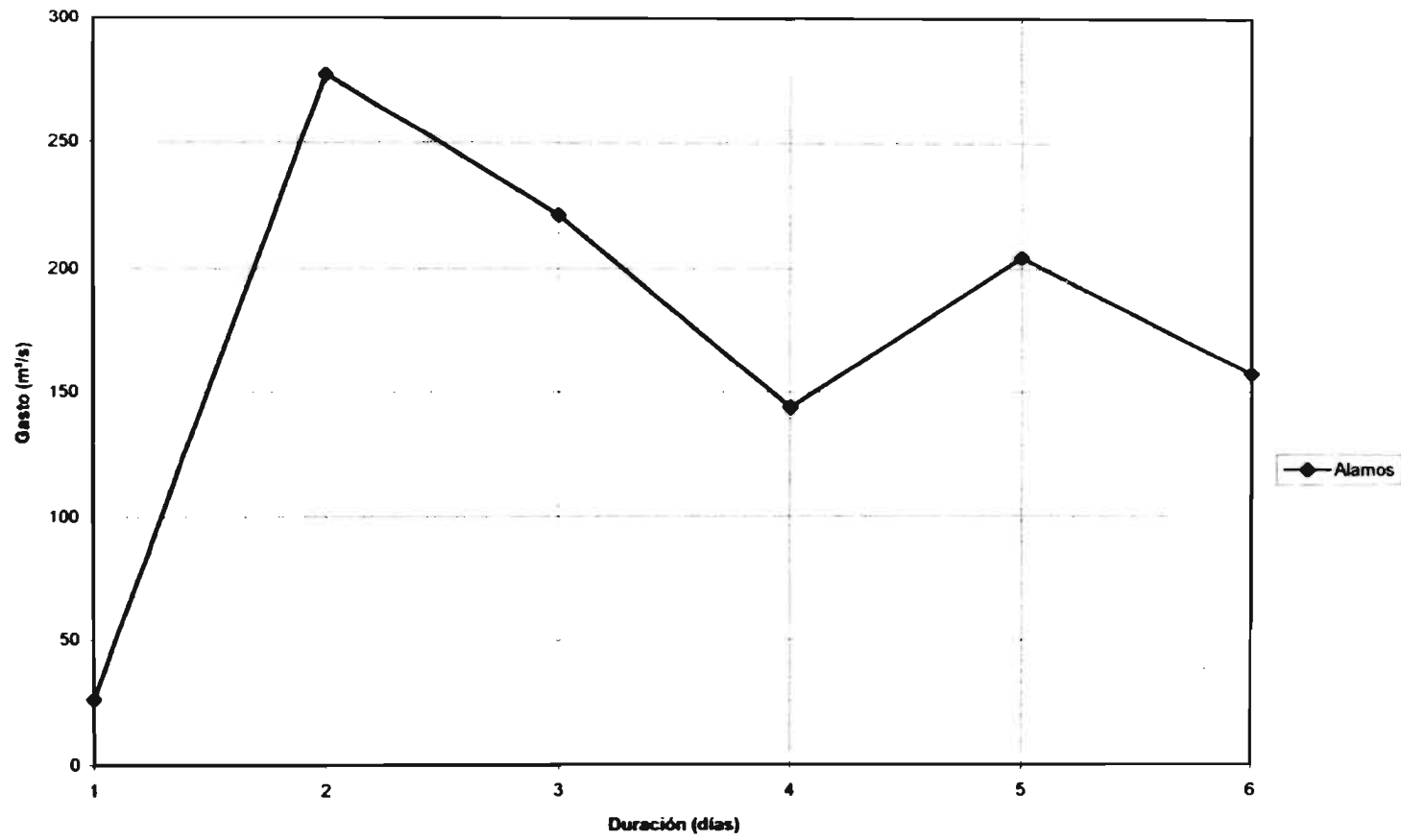
<i>Tr</i>	<i>Qp(m³/s)</i>	<i>Vl (m³)</i>	<i>Vp (m³)</i>	<i>Vd (m³)</i>
4,2	209,33	67,3E+6	10,8E+6	56,5E+6
5,25	251,679	80,9E+6	13,0E+6	67,9E+6
7	259,004	83,3E+6	13,3E+6	69,9E+6
10,5	266,022	85,5E+6	13,7E+6	71,8E+6
21	276,14	88,8E+6	14,2E+6	74,5E+6

1 1 1 1

Grafica 4.1.1 Hidrograma de gastos diarios (1955)



Gráfica 4.1.2. Hidrograma de la avenida máxima



4.1.2 El procedimiento de cálculo aplicado a la estación "BAMICORI" es como sigue:

- 1) A partir de la información de 26 años de registros de gastos medios diarios, estos se analizaron y se estimaron los gastos medios máximos anuales.
- 2) Se ajustaron con distintas funciones de probabilidad, utilizando los métodos de momentos y máxima verosimilitud, y se estimó el error cuadrático mínimo para cada una de las distribuciones, obteniéndose así la que mejor se ajustaron a el grupo de datos. Este procedimiento se llevo a cabo por medio del programa de computo AX.
- 3) Con la distribución elegida, se calcularon los gastos promedios para 6.2, 7.75, 10.333, 15.5 y 31 años de periodo de retorno, los cuales corresponden a los periodos de retorno para los cuales se tienen valores medidos reales en la estación, esto se hace con la finalidad de comparar los resultados con los distintos métodos existentes.

Año	Qmedio máximo
1951	11.31
1952	43.60
1953	25.34
1954	29.32
1955	99.51
1956	58.59
1957	18.23
1958	71.44
1959	14.83
1960	12.83
1961	23.25
1962	7.74
1963	67.05
1964	11.85
1965	72.10
1966	15.88
1967	5.58
1968	56.43
1969	3.68
1970	58.17
1971	14.44
1972	8.40
1973	23.20
1974	69.98
1975	18.58
1976	186.5
	*1

Tabla 4.1.2.1 Gastos medios máximos anuales
*1 Mejor ajuste Distribución Log-normal (máx. ver.) 2p.

Tr	Qm l
6.2	65.78
7.75	75.30
10.333	88.49
15.5	108.9
31	149.3

Tabla 4.1.2.2 Gastos promedios máximos para distintos periodos de retorno.

- 4) Con el gasto pico de los gastos medios diarios se procedió a separar el hidrograma de la avenida máxima, tomando 15 días antes del pico y 15 días después. El gasto pico máximo observado es el correspondiente a 186.5 registrado en el año de 1976, quedando el hidrograma de esa avenida como sigue:

Gasto Antes	(m ³ /s)	Gasto después	(m ³ /s)
	0.086		17.89
	0.867		10.71
	0.182	Punto D	7.806
	0.260		3.632
	0.230		0.827
	0.332		0.598
	0.204		0.395
	0.172		0.358
	0.098		0.338
	0.079		0.204
	0.666		0.157
	0.925		0.125
	0.280		0.355
	0.193		0.206
Punto A	0.146		0.180

Tabla 4.1.2.3. Gastos diarios antes y después del pico

Se puede ver el hidrograma en la gráfica 4.1.2.1

- 5) Se identifico el punto de levantamiento A y de la fórmula (1, inciso 1.1) se obtuvo el punto D, tomando el área de 223 km² correspondiente al área de la cuenca.

$$N = 0.827 A^{0.2} = 0.827(223)^{0.2} = 2.53 \approx 3 \text{ días}$$

- 6) Así se obtiene el hidrograma correspondiente a la avenida máxima registrada y cada una de sus ordenadas.

El hidrograma se puede apreciar en la gráfica 4.1.2.2

Los valores del hidrograma y del factor de ajuste se pueden ver a continuación así mismo como el volumen total, antes y después del pico.

Para el cálculo del volumen total se multiplicó el tiempo de duración por cada uno de los gastos promedios diarios, de manera análoga se procedió con el volumen antes (V_p) y después (V_d) del pico.

Estos resultados se puede visualizar a continuación en las siguientes tablas donde se resumen cada uno de ellos.

**METODO DE MAYORACION
ESTACION BAMICORI**

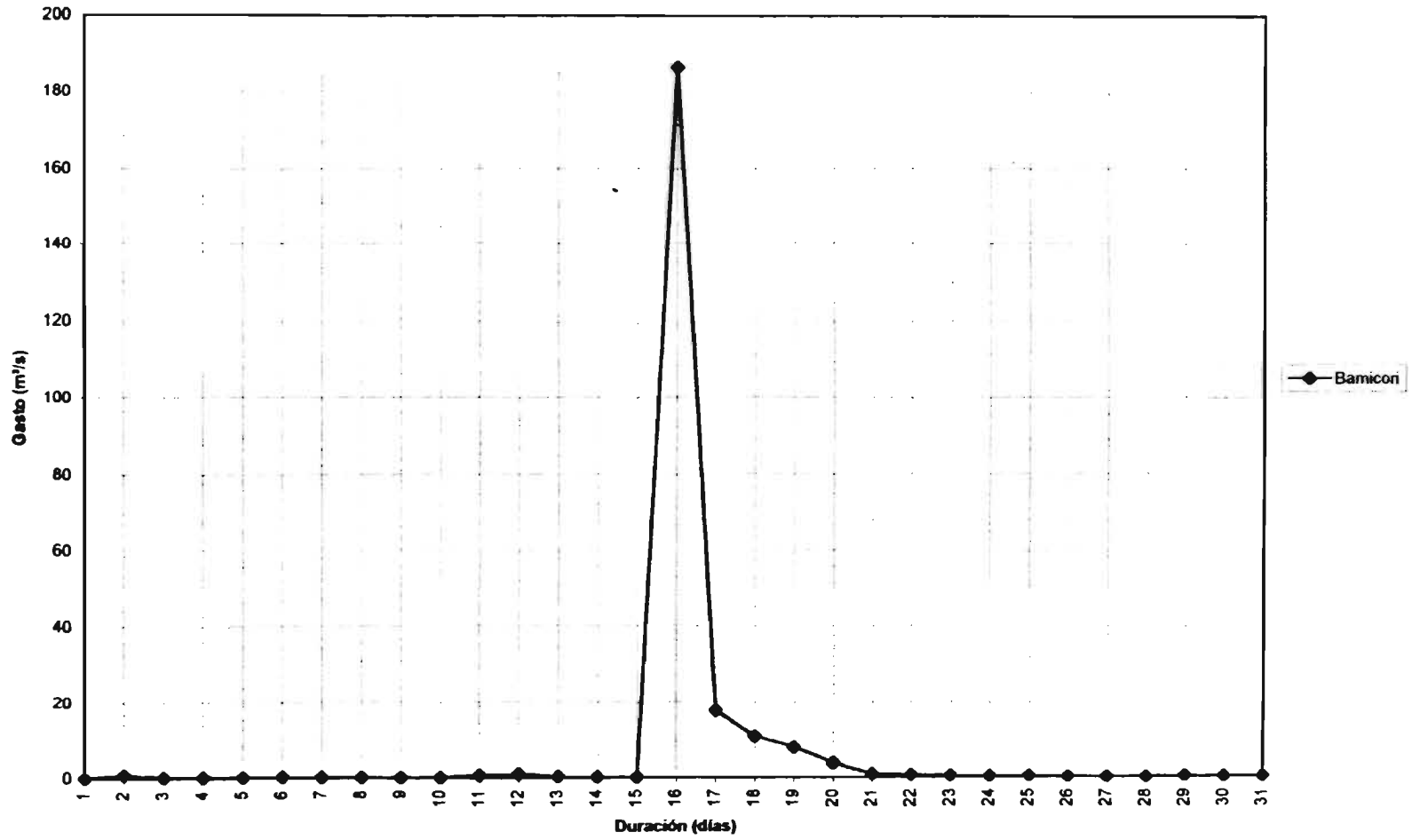
	Duración (días)				
	1	2	3	4	5
Q (m³/s)	0,146	186,573	17,89	10,71	7,806
unitario	0,0007825	1	0,0958874	0,0574038	0,0418389

Tr	6.2	7.75	10.333	15.5	31
Qmedio.max	65,782	75,307	88,491	108,947	149,316
FA	0,3525805	0,4036329	0,47429692	0,5839377	0,8003087

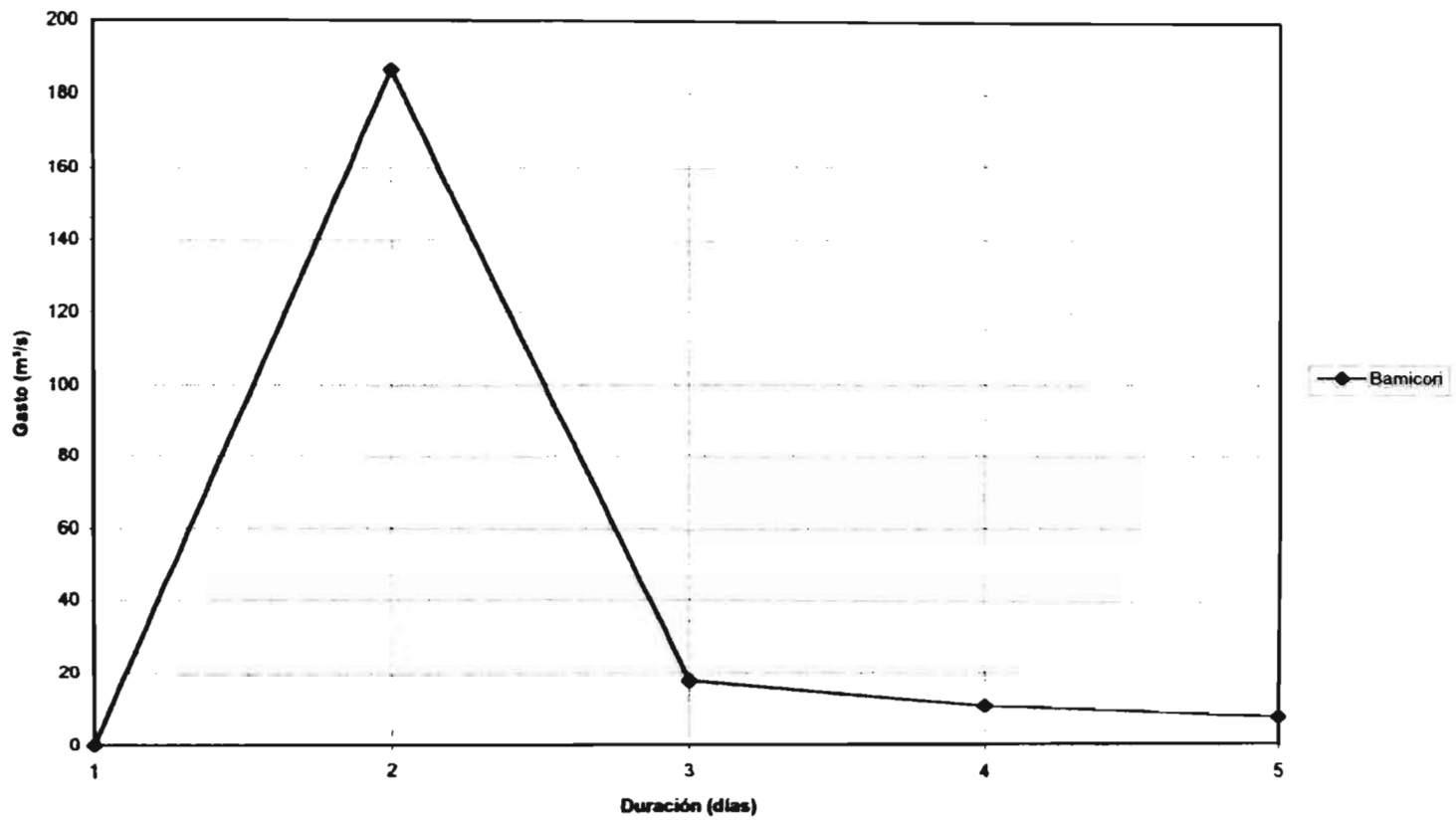
	Duración (días)				
Tr	1	2	3	4	5
6.2	0,0514768	65,782	6,30766499	3,7761371	2,7522433
7.75	0,0589304	75,307	7,22099248	4,3229083	3,1507584
10.333	0,0692474	88,491	8,48517197	5,0797201	3,7023618
15.5	0,0852549	108,947	10,4466446	6,2539723	4,5582173
31	0,1168451	149,316	14,3175231	8,5713065	6,2472099

Tr	Qp(m ³ /s)	Vt (m ³)	Vp (m ³)	Vd (m ³)
6.2	65,782	6,8E+6	2,8E+6	4,0E+6
7.75	75,307	7,8E+6	3,3E+6	4,5E+6
10.333	88,491	9,1E+6	3,8E+6	5,3E+6
15.5	108,947	11,3E+6	4,7E+6	6,5E+6
31	149,316	15,4E+6	6,5E+6	9,0E+6

Gráfica 4.1.2.1 Hidrograma de gastos diarios (1976)



Gráfica 4.1.2.2 Hidrograma de la avenida máxima



4.1.3 *El procedimiento de cálculo aplicado a la estación "SAN IGNACIO" es como sigue:*

- 1) *A partir de la información de 9 años de registros de gastos medios diarios, estos se analizaron y se estimaron los gastos medios máximos anuales.*
- 2) *Se ajustaron con distintas funciones de probabilidad, utilizando los métodos de momentos y máxima verosimilitud, y se estimó el error cuadrático mínimo para cada una de las distribuciones, obteniéndose así la que mejor se ajustaron a el grupo de datos. Este procedimiento se llevo a cabo por medio del programa de computo AX.*
- 3) *Con la distribución elegida, se calcularon los gastos promedios para 3.4, 4.25, 5.667, 8.5 Y 17 años de periodo de retorno, los cuales corresponden a los periodos de retorno para los cuales se tienen valores medidos reales en la estación, esto se hace con la finalidad de comparar los resultados con los distintos métodos existentes.*

Año	Qmedio máximo
1967	996.2
1968	843.9
1969	758.8
1970	647.6
1971	665.0
1972	1218.8
1973	2685.8
1974	1085.8
1975	858.0
	*1

Tabla 4.1.3.1 Gastos medios máximos anuales
 *1 Mejor ajuste Distribución Exponencial (momentos)

Tr	Qm1
3.4	1225.3
4.25	1365.8
5.667	1547.0
8.5	1802.2
17	2238.7

Tabla 4.1.3.2 Gastos promedios máximos para distintos periodos de retorno.

- 4) Con el gasto pico de los gastos medios diarios se procedió a separar el hidrograma de la avenida máxima, tomando 15 días antes del pico y 15 días después. El gasto pico máximo observado es el correspondiente a 2685.8 registrado en el año de 1973, quedando el hidrograma de esa avenida como sigue:

Gasto Antes	(m ³ /s)	Gasto después	(m ³ /s)
	27.40		1401.9
	27.36		765.3
	63.84		431.2
	63.29		284.8
	60.58		219.7
	42.14	Punto D	171.3
	38.04		136.0
	36.16		106.2
	32.40		86.54
	30.37		77.09
	28.80		68.64
	28.19		61.81
Punto A	28.36		56.36
	31.24		52.69
	760.6		49.04

Tabla 4.1.3.3. Gastos diarios antes y después del pico

Se puede ver el hidrograma en la gráfica 4.1.3.1

- 5) Se identifico el punto de levantamiento A y de la fórmula (1, inciso 1.1) se obtuvo el punto D, tomando el área de 12 166 km² correspondiente al área de la cuenca.

$$N = 0.827 A^{0.2} = 0.827(12166)^{0.2} = 5.62 \approx 6 \text{ días}$$

- 6) Así se obtiene el hidrograma correspondiente a la avenida máxima registrada y cada una de sus ordenadas.

El hidrograma se puede apreciar en la gráfica 4.1.3.2.

Los valores del hidrograma y del factor de ajuste se pueden ver a continuación así mismo como el volumen total, antes y después del pico.

Para el cálculo del volumen total se multiplicó el tiempo de duración por cada uno de los gastos promedios diarios, de manera análoga se procedió con el volumen antes (Vp) y después (Vd) del pico.

Estos resultados se puede visualizar a continuación en las siguientes tablas donde se resumen cada uno de ellos.

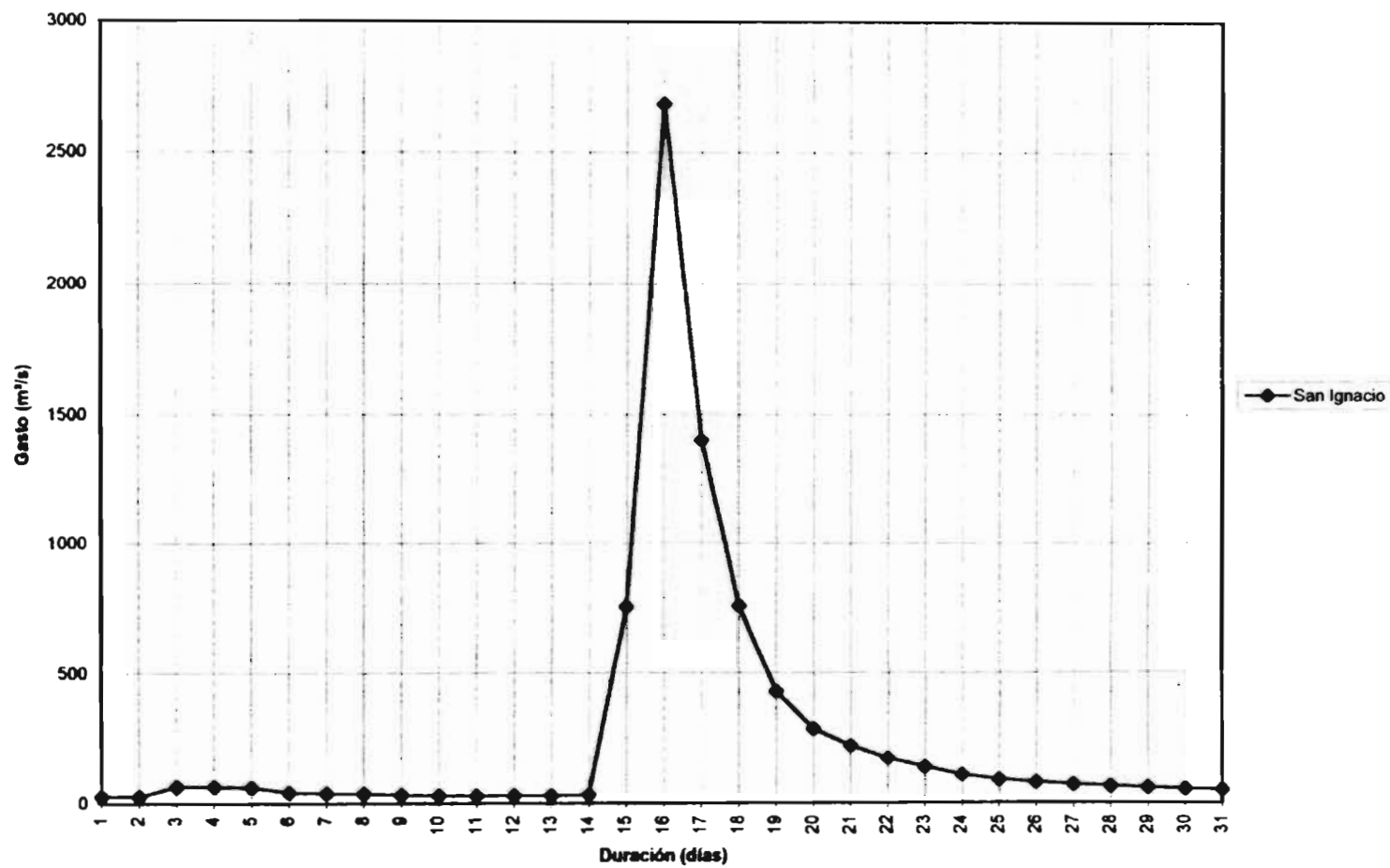
**METODO DE MAYORACION
ESTACION SAN IGNACIO**

	Duración (días)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q (m ³ /s)	28,36	31,24	760,6	2685,8	1401,9	765,3	431,2	284,8	219,7	171,3
unitario	0,0105592	0,011632	0,283193	1	0,5219674	0,284943	0,1605481	0,1060392	0,0818006	0,0637799
Tr	3.4	4.25	5.667	8.5	17					
Qmedio.max	1225,31	1365,82	1547,01	1802,24	2238,75					
FA	0,4562179	0,508534	0,575996	0,671025	0,8335505					

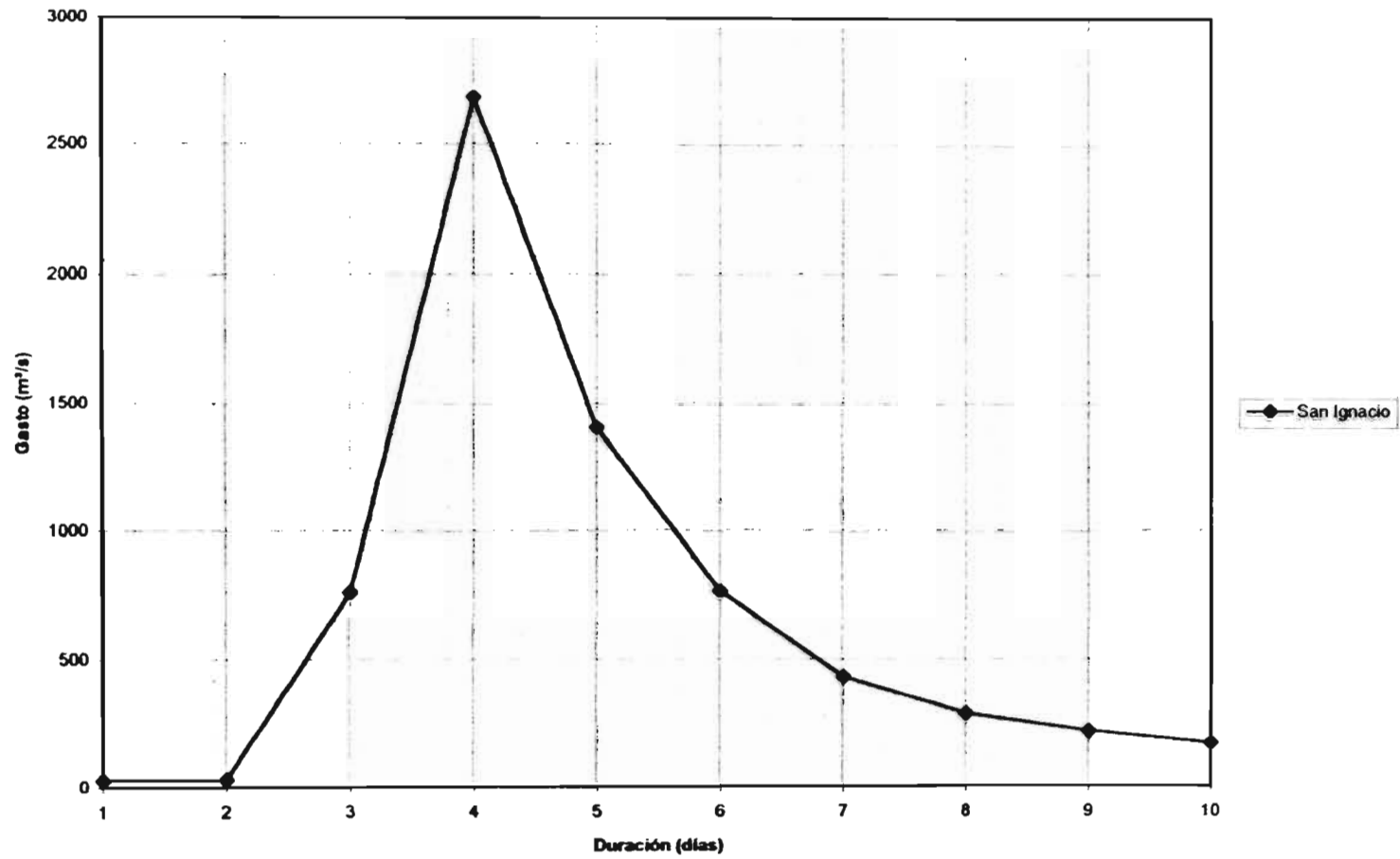
	Duración (días)									
Tr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.4	12,938339	14,25225	346,9993	1225,31	639,57186	349,14355	196,72115	129,93085	100,23107	78,150124
4.25	14,422018	15,88659	386,7908	1365,82	712,91349	389,18089	219,27976	144,83042	111,72487	87,111835
5.667	16,335246	17,99411	438,1025	1547,01	807,48876	440,80972	248,36947	164,04365	126,54632	98,668111
8.5	19,03028	20,96283	510,3819	1802,24	940,7105	513,53573	289,34615	191,10803	147,42428	114,94665
17	23,639493	26,04012	633,9985	2238,75	1168,5545	637,91622	359,42699	237,39519	183,13105	142,7872

Tr	Qp(m ³ /s)	Vl (m ³)	Vp (m ³)	Vd (m ³)
3.4	1225,31	267,3E+6	85,3E+6	182,0E+6
4.25	1365,82	297,9E+6	95,0E+6	202,9E+6
5.667	1547,01	337,4E+6	107,6E+6	229,8E+6
8.5	1802,24	393,1E+6	125,4E+6	267,7E+6
17	2238,75	488,3E+6	155,8E+6	332,5E+6

Grafica 4.1.3.1 Hidrograma de gastos diarios (1973)



Gráfica 4.1.3.2 Hidrograma de la avenida máxima



4.2 MÉTODO SUDAFRICANO "HIDROGRAMA DE AVENIDAS EXTREMAS CON UNA PROBABILIDAD ELEGIDA".

4.2.1 Para la estación "ÁLAMOS" se tiene:

Registros de 20 años

Datos de gastos máximos y volúmenes de escurrimiento de las avenidas anuales.

Área de 2 270 Km².

La metodología para la aplicación de éste método es como sigue:

- 1) Se obtiene los gastos promedios máximos anuales y se ordenan de mayor a menor.
- 2) Se estandarizan el gasto y el volumen por medio del logaritmo natural.
- 3) Se obtienen los estadísticos y el coeficiente de correlación (rho).
- 4) Con el valor de correlación se entra a la Tabla 1

Intervalo de recurrencia (años)	Probabilidad condicional de excedencia.	Pico estándar.	Volumen Estandar.					
			rho=0.70	rho=0.75	rho=0.80	rho=0.85	rho=0.90	rho=0.95
10000	100	3.717	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	3.646	2.315	2.540	2.766	2.943	3.124	3.321
	50	3.540	2.707	2.902	3.079	3.236	3.358	3.404
	25	3.353	3.078	3.209	3.345	3.498	3.562	3.630
5000	100	3.540	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	3.463	2.174	2.393	2.614	2.787	2.964	3.158
	50	3.353	2.568	2.757	2.928	3.081	3.199	3.307
	25	3.156	2.938	3.063	3.194	3.341	3.400	3.463
2000	100	3.290	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	3.208	1.981	2.191	2.405	2.571	2.743	2.933
	50	3.090	2.376	2.556	2.719	2.864	2.976	3.078
	25	2.878	2.745	2.961	2.983	3.122	3.175	3.230
1000	100	3.090	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	3.004	1.830	2.033	2.240	2.401	2.568	2.754
	50	2.878	2.225	2.396	2.553	2.692	2.799	2.896
	25	2.652	2.591	2.700	2.816	2.947	2.995	3.043
500	100	2.878	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	2.783	1.669	1.863	2.063	2.218	2.381	2.591
	50	2.652	2.067	2.230	2.379	2.510	2.612	2.702
	25	2.409	2.431	2.531	2.639	2.762	2.804	2.843
200	100	2.576	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	2.475	1.451	1.632	1.822	1.967	2.122	2.295
	50	2.326	1.846	1.995	2.132	2.253	2.343	2.427
	25	2.054	2.204	2.292	2.387	2.497	2.529	2.557
100	100	2.326	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	2.216	1.230	1.443	1.623	1.760	1.908	2.075
	50	2.054	1.668	1.805	1.931	2.042	2.127	2.201
	25	1.751	2.019	2.095	2.178	2.277	2.301	2.317
50	100	2.054	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	75	1.932	1.085	1.241	1.409	1.536	1.676	1.835
	50	1.751	1.477	1.600	1.713	1.813	1.885	1.952
	25	1.405	1.818	1.880	1.949	2.033	2.046	2.050

- 5) Se obtiene entonces para distintas probabilidades condicionales valores de gasto y volumen estandarizados.
- 6) Finalmente aplicando la expresión siguiente se encuentra el gasto pico y el volumen total para cada probabilidad condicional.

$$\text{Gasto. Pico} = \exp\left[\left(\text{Gasto. Estandarizado} * \text{Desv. Estand. Gasto}\right) + \text{Media. Estand. Gasto}\right] \quad (4.1)$$

$$\text{Vol. Max} = \exp\left[\left(\text{Vol. Estandarizado} * \text{Desv. Estand. Vol}\right) + \text{Media. Estand. Vol}\right]$$

Por ejemplo para la estación de estudio se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Media Ln } Q &= 4.306685 & \text{Desv. Estand. Ln } Q &= 1.251628 \\ \text{Media Ln } V &= 2.532278 & \text{Desv. Estand. Ln } V &= 1.296694 \\ \text{Coef. Correlación } (\rho) &= 0.9571908 \approx 0.95 \end{aligned}$$

De la Tabla 1 se tiene para un Tr de 50 años

Tr 50 años	Prob. Cond. G(x/y)	Gasto pico estand.	Vol.max.estand.
Avenida(1)	75%	1.932	1.835
Avenida(2)	50%	1.751	1.952
Avenida(3)	25%	1.405	2.05

De las expresiones (4.1) se tiene:

$$\begin{aligned} Q_p(1) &= \exp[(1.932 * 1.2516) + 4.3066] = 832.8307 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Vol}(1) &= \exp[(1.836 * 1.2966) + 2.5322] = 135.8717 \text{ Mm}^3 \end{aligned}$$

Para estimar el volumen antes del pico y el volumen después del pico se utiliza la gráfica del hidrograma la cual se produce a través de la función Gamma.

$$f(X) = \frac{X^{\beta-1} e^{-X/\alpha}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)}$$

En este caso de aplicación y para fines simplificados se utilizó un método numérico de solución en cual a la variable $\Gamma(\beta)$ se le consideró como una constante.

Primero se calculan los valores de los parámetros α y β , una vez obtenidos estos se procede a encontrar a el tiempo pico y el tiempo base, con estos y conociendo el volumen total, es posible separar el volumen antes y el volumen después del pico. En el apéndice de este trabajo se muestra el listado del programa¹.

A continuación se muestran los resultados obtenidos Para la estación Alamos.

Datos de los registros originales

No. Reg.	Qp (m ³ /s)	Vt (Mm ³)	Ln (Qp)	Ln (Vt)
1	271.01	64.98	5.60	4.17
2	20.71	36.18	5.56	3.59
3	258.75	54.37	5.56	4.00
4	240.00	25.13	5.48	3.22
5	199.28	30.31	5.29	3.41
6	189.28	28.86	5.24	3.36
7	160.56	21.21	5.08	3.05
8	152.82	24.46	5.03	3.20
9	123.68	18.95	4.82	2.94
10	107.15	16.39	4.67	2.80
11	87.89	25.97	4.48	3.26
12	55.01	10.03	4.01	2.31
13	54.01	9.00	3.99	2.20
14	41.64	7.40	3.73	2.00
15	41.02	5.25	3.71	1.66
16	37.23	3.69	3.62	1.31
17	33.80	18.56	3.52	2.92
18	32.17	5.02	3.47	1.61
19	18.26	3.51	2.90	1.26
20	1.44	0.20	0.36	-1.62

Media (Qp) = 118.2855

Media (Vp) = 20.47521

Media Ln(Qp) = 4.306685

Media Ln(Vp) = 2.532278

Varianza (Qp) = 8345.924

Varianza (Vp) = 289.3028

Varianza Ln(Qp) = 1.566572

Varianza Ln(Vp) = 1.681416

¹ Se agradece la colaboración del M. en I. Martín Jiménez en la complementación del mismo.

Desv. Estan. (Qp) = 91.35603 Desv. Estan. Ln(Qp) = 1.251628
 Desv. Estan. (Vp) = 17.0089 Desv. Estan. Ln(Vp) = 1.296694

Cœf. de correlación rho = 0.8903899
 Cœf. de correlación Ln(rho) = 0.9571908

Efectuando un redondeo tomamos a rho = 0.95 y con este valor se entra a la Tabla 1. obteniendo los siguientes valores:

Intervalo de recurrencia (años)	Probabilidad condicional de excedencia.	Pico estandar.	rho=0.95
			Volumen estandar
10 años	100	3.717	.....
	75	3.646	3.321
	50	3.540	3.404
	25	3.353	3.630
5 años	100	3.540	.....
	75	3.463	3.158
	50	3.353	3.307
	25	3.136	3.463
2 años	100	3.290	.....
	75	3.208	2.933
	50	3.090	3.078
	25	2.878	3.230
1 años	100	3.090	.....
	75	3.004	2.754
	50	2.878	2.896
	25	2.652	3.043
5 años	100	2.878	.....
	75	2.783	2.591
	50	2.652	2.702
	25	2.409	2.843
2 años	100	2.576	.....
	75	2.473	2.295
	50	2.326	2.427
	25	2.054	2.557
1 años	100	2.326	.....
	75	2.216	2.075
	50	2.054	2.201
	25	1.751	2.317
5 años	100	2.054	.....
	75	1.932	1.835
	50	1.751	1.952
	25	1.405	2.050

A continuación empleando las expresiones (4.1), se pueden generar los gastos y volúmenes pico, para las distintas probabilidades como se muestra:

Tr = 50 años.
 Qp (1)=832.8307 Vt (1)=135.8717 Vp (1)=53.8884 Vd (1)=81.9833
 Qp (2)=664.0024 Vt (2)=158.1311 Vp (2)=58.5901 Vd (2)=77.2815
 Qp (3)=430.6185 Vt (3)=179.5584 Vp (3)=69.2684 Vd (3)=66.6029

Tr = 100 años.

$Q_p(1)=1188.316$	$Vt(1)=185.4746$	$Vp(1)=68.1365$	$Vd(1)=117.3381$
$Q_p(2)=970.2250$	$Vt(2)=218.3941$	$Vp(2)=81.0356$	$Vd(2)=104.4389$
$Q_p(3)=664.0024$	$Vt(3)=253.8435$	$Vp(3)=97.1841$	$Vd(3)=088.2905$

Tr = 200 años.

$Q_p(1)=1643.304$	$Vt(1)=246.7044$	$Vp(1)=097.8934$	$Vd(1)=148.8109$
$Q_p(2)=1363.720$	$Vt(2)=292.7603$	$Vp(2)=106.0675$	$Vd(2)=140.6369$
$Q_p(3)=0970.225$	$Vt(3)=346.5144$	$Vp(3)=133.4754$	$Vd(3)=113.2290$

Tr = 500 años.

$Q_p(1)=2416.236$	$Vt(1)=362.1333$	$Vp(1)=139.6783$	$Vd(1)=222.4550$
$Q_p(2)=2050.835$	$Vt(2)=418.1938$	$Vp(2)=168.3010$	$Vd(2)=193.8323$
$Q_p(3)=1513.011$	$Vt(3)=502.0898$	$Vp(3)=195.0828$	$Vd(3)=167.0504$

Tr = 1000 años.

$Q_p(1)=3186.171$	$Vt(1)=447.3643$	$Vp(1)=168.8475$	$Vd(1)=278.5168$
$Q_p(2)=2721.314$	$Vt(2)=537.8091$	$Vp(2)=202.6674$	$Vd(2)=244.6969$
$Q_p(3)=2050.835$	$Vt(3)=650.7450$	$Vp(3)=257.0968$	$Vd(3)=190.2675$

Tr = 2000 años.

$Q_p(1)=4112.998$	$Vt(1)=564.2411$	$Vp(1)=222.424$	$Vd(1)=341.8170$
$Q_p(2)=3548.269$	$Vt(2)=680.9591$	$Vp(2)=272.225$	$Vd(2)=292.0161$
$Q_p(3)=2721.314$	$Vt(3)=829.3148$	$Vp(3)=329.2728$	$Vd(3)=234.9683$

Tr = 5000 años.

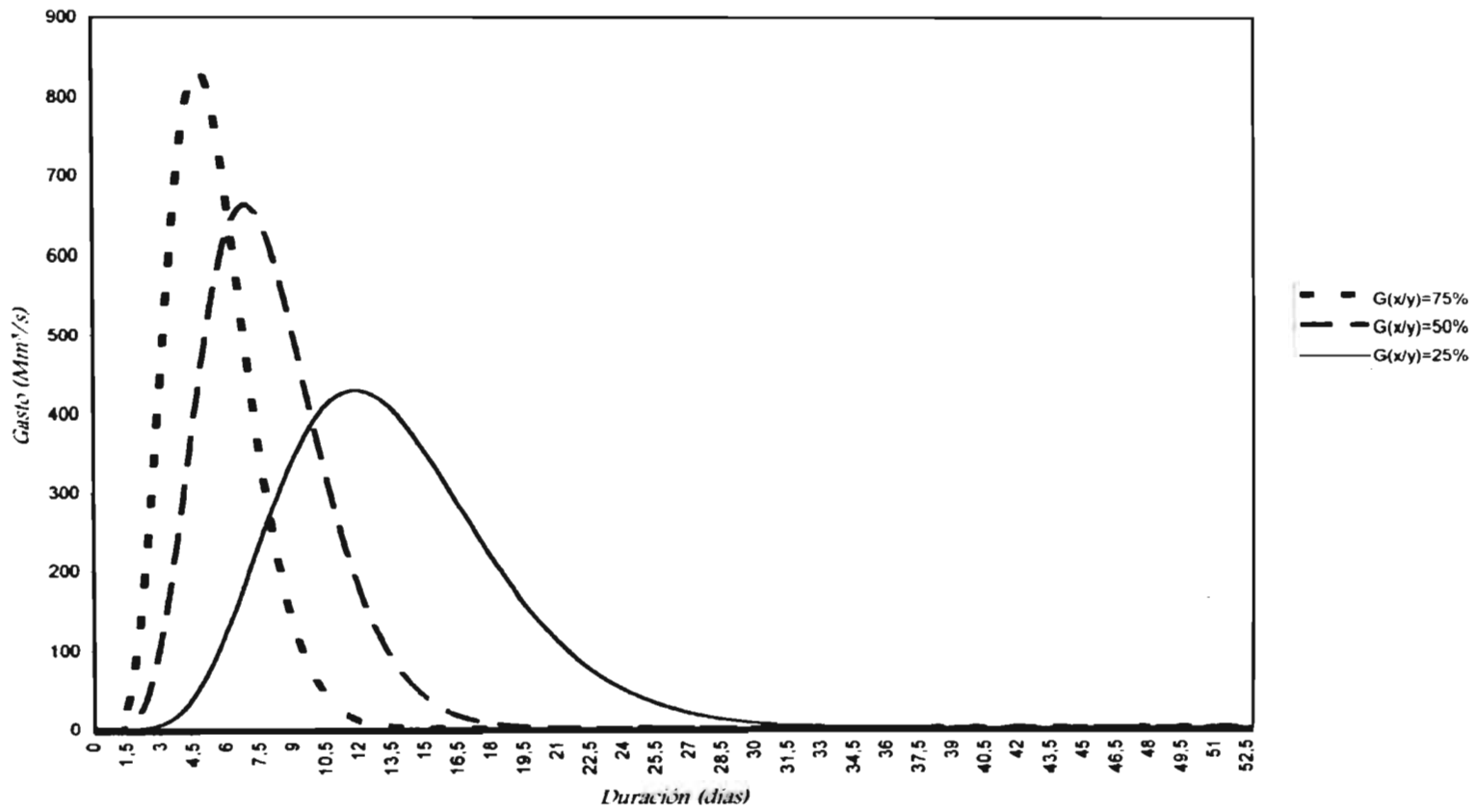
$Q_p(1)=5659.397$	$Vt(1)=0755.3927$	$Vp(1)=256.8509$	$Vd(1)=498.5418$
$Q_p(2)=4931.475$	$Vt(2)=0916.3928$	$Vp(2)=340.2873$	$Vd(2)=415.1054$
$Q_p(3)=3853.830$	$Vt(3)=1121.8450$	$Vp(3)=451.1256$	$Vd(3)=304.2671$

Tr = 10000 años.

$Q_p(1)=7116.137$	$Vt(1)=933.1808$	$Vp(1)=327.9060$	$Vd(1)=605.2748$
$Q_p(2)=6231.970$	$Vt(2)=1039.2190$	$Vp(2)=381.5263$	$Vd(2)=551.6545$
$Q_p(3)=4931.475$	$Vt(3)=1393.0870$	$Vp(3)=546.5759$	$Vd(3)=386.6049$

Empleando la función gama se pueden generar los hidrogramas correspondientes a cada una de las probabilidades, así para un período de retorno $Tr = 50$ años se pueden ver las distintas posibilidades generadas en la gráfica siguiente (Gráfica 4.2.1).

Grafica 4.2.1 Hidrograma para distintas probabilidades condicionadas "Estación: Alamos"
($Tr = 50$)



De la Tabla 1 se tiene para un Tr de 50 años

Tr 50 años	Prob. Cond. $G(x/y)$	Gasto pico estand.	Vol.max.estand.
Avenida(1)	75%	1.932	1.835
Avenida(2)	50%	1.751	1.952
Avenida(3)	25%	1.405	2.05

De las expresiones (4.1) se tiene:

$$Qp(1)=\exp[(1.932*0.9678819)+3.146915]=150.9371 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Vol(1)=\exp[(1.836*0.9541044)+1.036232]=16.23247 \text{ Mm}^3$$

Para estimar el volumen antes del pico y el volumen después del pico se utiliza la gráfica del hidrograma la cual se produce a través de la función Gamma.

A continuación empleando las expresiones (4.1), se pueden generar los gastos y volúmenes pico, para las distintas probabilidades como se muestra:

Tr = 50 años.

$Qp(1)=150.9371$	$Vt(1)=16.2324$	$Vp(1)=5.6693$	$Vd(1)=10.5631$
$Qp(2)=126.6816$	$Vt(2)=18.1495$	$Vp(2)=6.0621$	$Vd(2)=10.1703$
$Qp(3)=090.6303$	$Vt(3)=19.9284$	$Vp(3)=6.9718$	$Vd(3)=09.2605$

Tr = 100 años.

$Qp(1)=198.6892$	$Vt(1)=20.4094$	$Vp(1)=7.7897$	$Vd(1)=12.6196$
$Qp(2)=169.8549$	$Vt(2)=23.0166$	$Vp(2)=8.6028$	$Vd(2)=11.8066$
$Qp(3)=126.6816$	$Vt(3)=25.7103$	$Vp(3)=9.3185$	$Vd(3)=11.0909$

Tr = 200 años.

$Qp(1)=255.2959$	$Vt(1)=25.1762$	$Vp(1)=07.8598$	$Vd(1)=17.3164$
$Qp(2)=221.0102$	$Vt(2)=28.5553$	$Vp(2)=09.5148$	$Vd(2)=15.6613$
$Qp(3)=169.8549$	$Vt(3)=32.3261$	$Vp(3)=11.6145$	$Vd(3)=13.5316$

Tr = 500 años.

$Qp(1)=343.9619$	$Vt(1)=33.3920$	$Vp(1)=10.5246$	$Vd(1)=22.8673$
$Qp(2)=303.0016$	$Vt(2)=37.1224$	$Vp(2)=13.7841$	$Vd(2)=19.6079$
$Qp(3)=239.4975$	$Vt(3)=42.4679$	$Vp(3)=15.2731$	$Vd(3)=18.1188$

Tr = 1000 años.

$Qp(1)=425.9972$	$Vt(1)=39.0106$	$Vp(1)=14.1224$	$Vd(1)=24.8882$
$Qp(2)=377.0884$	$Vt(2)=44.6707$	$Vp(2)=17.7099$	$Vd(2)=21.3007$
$Qp(3)=303.0016$	$Vt(3)=51.3965$	$Vp(3)=20.2484$	$Vd(3)=18.7622$

Tr = 2000 años.

$Qp(1)=518.9879$	$Vt(1)=46.2758$	$Vp(1)=17.6365$	$Vd(1)=28.6392$
$Qp(2)=462.9738$	$Vt(2)=53.1418$	$Vp(2)=17.7885$	$Vd(2)=28.4869$
$Qp(3)=377.0884$	$Vt(3)=61.4355$	$Vp(3)=22.4638$	$Vd(3)=23.8119$

Tr = 5000 años.

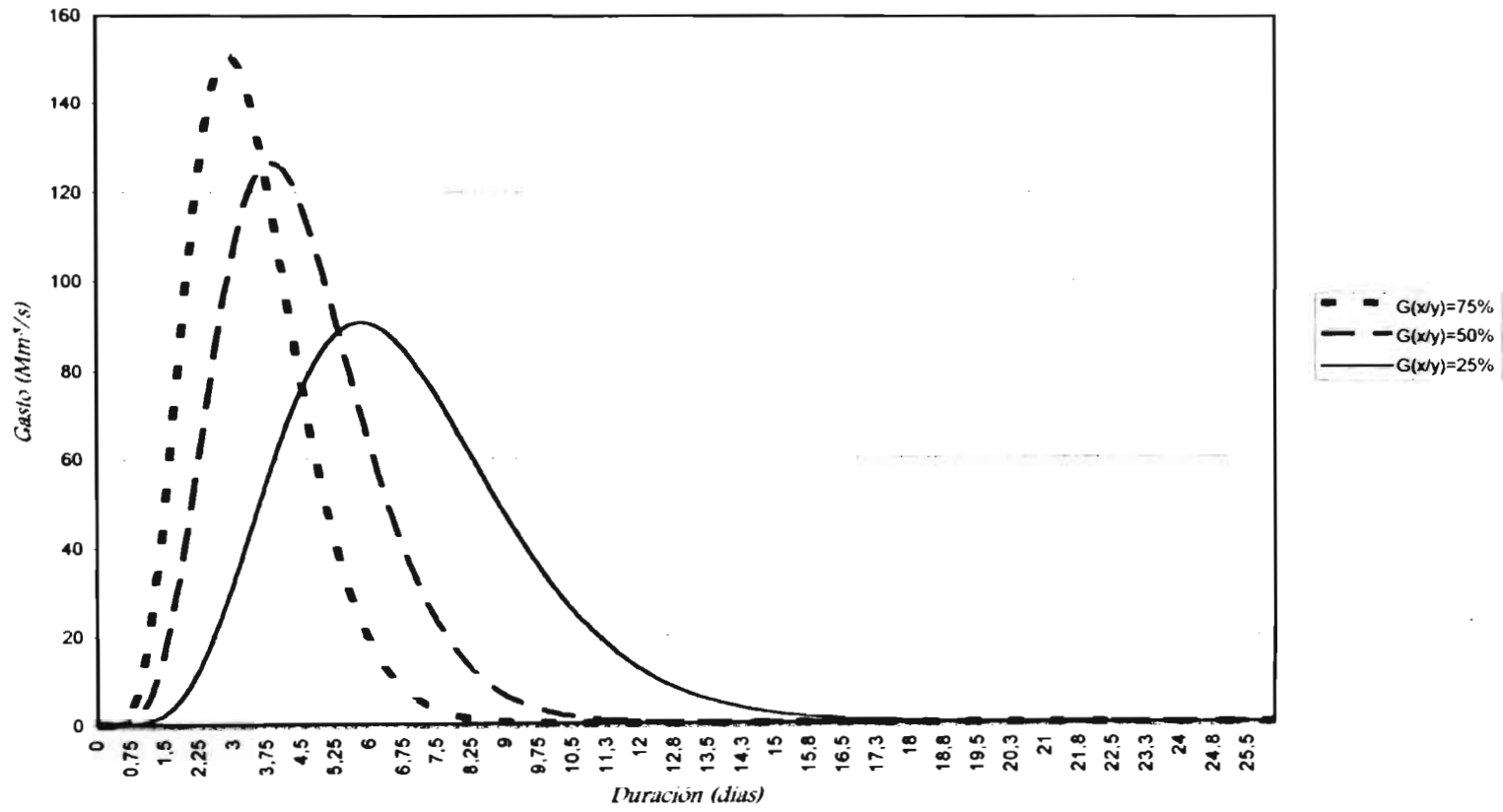
$Qp(1)=664.2712$	$Vt(1)=57.3569$	$Vp(1)=16.7254$	$Vd(1)=40.6314$
$Qp(2)=597.1829$	$Vt(2)=66.1189$	$Vp(2)=23.8213$	$Vd(2)=33.5356$
$Qp(3)=493.5137$	$Vt(3)=76.7302$	$Vp(3)=25.9844$	$Vd(3)=31.3724$

Tr = 10000 años.

$Qp(1)=792.9918$	$Vt(1)=67.0080$	$Vp(1)=20.4324$	$Vd(1)=46.5755$
$Qp(2)=715.6687$	$Vt(2)=72.5302$	$Vp(2)=25.1815$	$Vd(2)=41.8264$
$Qp(3)=597.1829$	$Vt(3)=89.9839$	$Vp(3)=32.5879$	$Vd(3)=34.4200$

Empleando la función gama se pueden generar los hidrogramas correspondientes a cada una de las probabilidades, así para un periodo de retorno $Tr = 50$ años se pueden ver las distintas posibilidades generadas en la gráfica siguiente (Gráfica 4.2.2).

Gráfica 4.2.2 Hidrograma para distintas probabilidades condicionadas "Estación: Bamicori" ($T_r = 50$)



4.2.3 Para la estación "SAN IGNACIO" se tiene:

Registros de 16 años

Datos de gastos máximos y volúmenes de escurrimiento de las avenidas anuales.

Área de 12 166 Km².

La metodología es idéntica a la descrita en el punto 4.2.1.

Los valores para esta área de interés son los siguientes.

Media Ln Q = 6.936556

Desv. Estan. Ln Q = 0.4672198

Media Ln V = 5.295755

Desv. Estan. Ln V = 0.4112933

Coef. Correlación (rho) = 0.8470258 ≈ 0.85

De la Tabla 1 y utilizando el coeficiente de correlación rho=0.85, se tiene para un Tr de 50 años los siguientes valores:

Intervalo de recurrencia (años)	Probabilidad condicional de excedencia.	Pico estándar.	Volumen Estándar. rho=0.85
10 000	100	3.717	.....
	75	3.646	2.943
	50	3.540	3.236
	25	3.353	3.498
5 000	100	3.540	.....
	75	3.463	2.787
	50	3.353	3.081
	25	3.156	3.341
2 000	100	3.290	.....
	75	3.208	2.571
	50	3.090	2.864
	25	2.878	3.122
1 000	100	3.090	.....
	75	3.004	2.401
	50	2.878	2.692
	25	2.652	2.947
500	100	2.878	.....
	75	2.783	2.218
	50	2.652	2.510
	25	2.409	2.762
200	100	2.576	.....
	75	2.473	1.967
	50	2.326	2.253
	25	2.054	2.497
100	100	2.326	.....
	75	2.216	1.760
	50	2.054	2.042
	25	1.751	2.277
50	100	2.054	.....
	75	1.932	1.536
	50	1.751	1.813
	25	1.405	2.033

De aquí para un $Tr=50$ se tiene:

Tr 50 años	Prob. Cond. $G(x/y)$	Gasto pico estand.	Vol.max.estand.
Avenida(1)	75%	1.932	1.536
Avenida(2)	50%	1.751	1.813
Avenida(3)	25%	1.405	2.033

De las expresiones (4.1) se tiene:

$$Qp(1)=\exp[(1.932*0.4672198)+6.9365565]=2538.236 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Vol(1)=\exp[(1.536*0.4112933)+5.295755]=375.216 \text{ Mm}^3$$

Para estimar el volumen antes del pico y el volumen después del pico se utiliza la gráfica del hidrograma la cual se produce a través de la función Gamma.

A continuación empleando las expresiones (4.1), se pueden generar los gastos y volúmenes pico, para las distintas probabilidades como se muestra:

$Tr = 50$ años.

$Qp(1)=2538.236$	$Vt(1)=375.216$	$Vp(1)=149.6521$	$Vd(1)=225.5639$
$Qp(2)=2332.411$	$Vt(2)=420.494$	$Vp(2)=156.9524$	$Vd(2)=218.2636$
$Qp(3)=1984.257$	$Vt(3)=460.316$	$Vp(3)=185.1965$	$Vd(3)=190.0195$

$Tr = 100$ años.

$Qp(1)=2898.402$	$Vt(1)=411.4270$	$Vp(1)=151.8042$	$Vd(1)=259.6228$
$Qp(2)=2687.120$	$Vt(2)=462.0238$	$Vp(2)=167.0860$	$Vd(2)=244.3410$
$Qp(3)=2332.411$	$Vt(3)=508.9095$	$Vp(3)=190.0604$	$Vd(3)=221.3666$

$Tr = 200$ años.

$Qp(1)=3271.241$	$Vt(1)=447.9893$	$Vp(1)=180.7485$	$Vd(1)=267.2408$
$Qp(2)=3051.257$	$Vt(2)=503.9108$	$Vp(2)=201.7462$	$Vd(2)=246.2431$
$Qp(3)=2687.120$	$Vt(3)=557.1056$	$Vp(3)=209.3577$	$Vd(3)=238.6316$

$Tr = 500$ años.

$Qp(1)=3777.541$	$Vt(1)=496.7088$	$Vp(1)=182.9821$	$Vd(1)=313.7267$
$Qp(2)=3553.267$	$Vt(2)=560.0923$	$Vp(2)=215.0864$	$Vd(2)=281.6223$
$Qp(3)=3171.907$	$Vt(3)=621.2587$	$Vp(3)=236.9393$	$Vd(3)=259.7695$

$Tr = 1000$ años.

$Qp(1)=4188.442$	$Vt(1)=535.5374$	$Vp(1)=211.6147$	$Vd(1)=323.9227$
$Qp(2)=3948.987$	$Vt(2)=603.6273$	$Vp(2)=210.7502$	$Vd(2)=324.7872$
$Qp(3)=3553.267$	$Vt(3)=670.3746$	$Vp(3)=245.1470$	$Vd(3)=290.3903$

Tr = 2000 años.

$Q_p(1)=4607.298$	$V_t(1)=574.3221$	$V_p(1)=195.5920$	$V_d(1)=378.7301$
$Q_p(2)=4360.164$	$V_t(2)=647.8761$	$V_p(2)=243.4554$	$V_d(2)=330.8667$
$Q_p(3)=3948.987$	$V_t(3)=720.4047$	$V_p(3)=287.0056$	$V_d(3)=287.3165$

Tr = 5000 años.

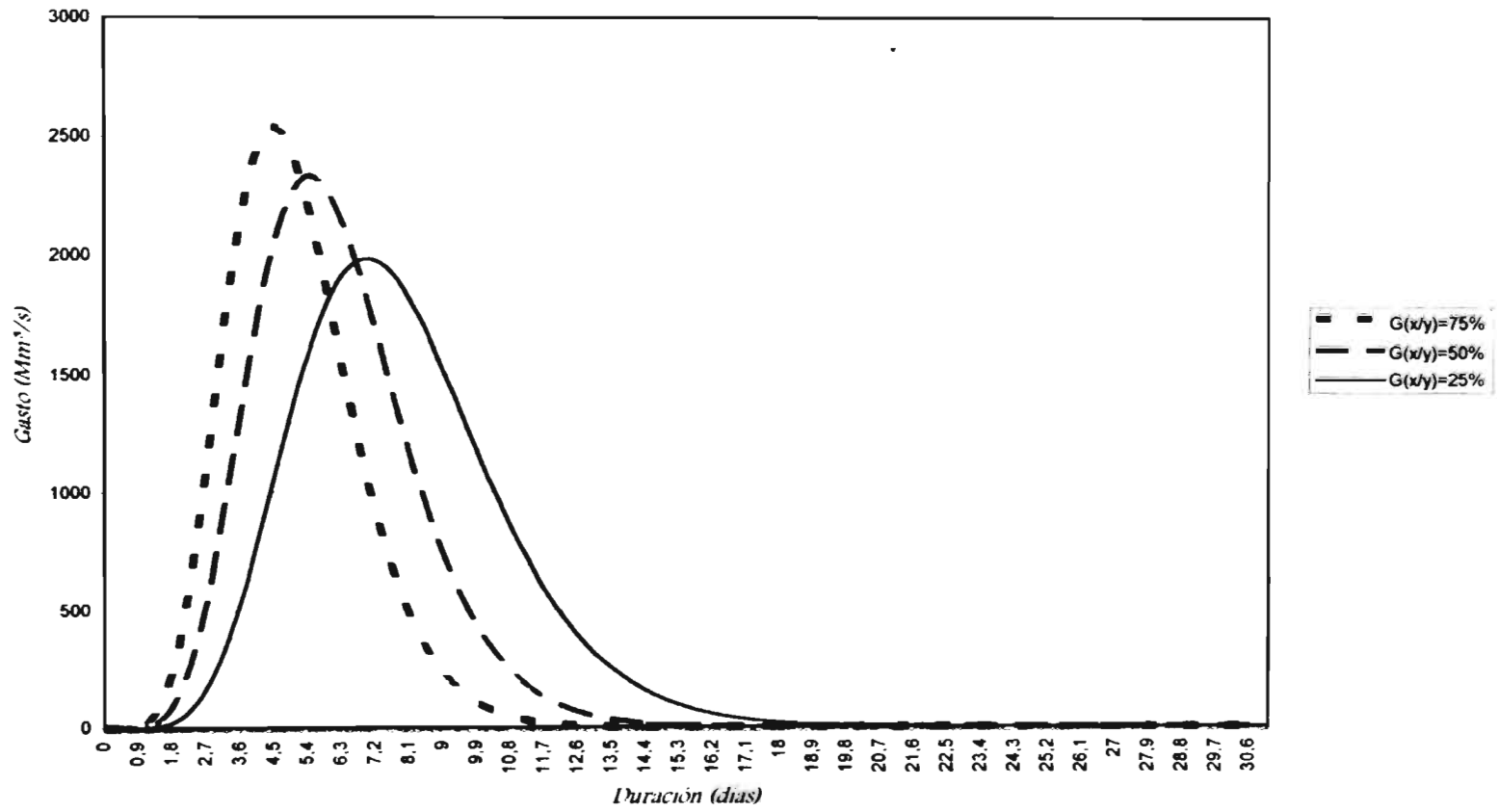
$Q_p(1)=5190.254$	$V_t(1)=627.6796$	$V_p(1)=231.2982$	$V_d(1)=396.3814$
$Q_p(2)=4930.244$	$V_t(2)=708.3583$	$V_p(2)=240.4886$	$V_d(2)=387.1910$
$Q_p(3)=4496.71$	$V_t(3)=788.3060$	$V_p(3)=300.9452$	$V_d(3)=326.7343$

Tr = 10000 años.

$Q_p(1)=5653.551$	$V_t(1)=669.2727$	$V_p(1)=260.2444$	$V_d(1)=409.0283$
$Q_p(2)=5380.377$	$V_t(2)=754.9870$	$V_p(2)=272.8438$	$V_d(2)=396.4289$
$Q_p(3)=4930.244$	$V_t(3)=840.8887$	$V_p(3)=294.8390$	$V_d(3)=374.4337$

Empleando la función gama se pueden generar los hidrogramas correspondientes a cada una de las probabilidades, así para un periodo de retorno $T_r = 50$ años se pueden ver las distintas posibilidades generadas en la gráfica siguiente (Gráfica 4.2.2).

Gráfica 4.2.3 Hidrograma para distintas probabilidades condicionadas "Estacion: San Ignacio" ($T_r = 50$)



4.3 MÉTODO NERC (NATURAL ENVIROMENT RESEARCH COUNCIL) CALCULO DE VOLÚMENES DE AVENIDAS PARA DIFERENTES DURACIONES

4.3.1 Debido a que el procedimiento es simultáneo, en este punto se tomaran las tres estaciones de estudio. (Alamos, Bamicori y San Ignacio)

- 1) En primer lugar se obtienen los gastos picos instantáneos y los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días, en todos los años de registro de estaciones de interés. Los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días se calculan de la misma forma que en el método desarrollado por el Instituto de Ingeniería, es decir, se obtiene el promedio máximo, en cada año, de los n gastos medios diarios consecutivos, de acuerdo con la duración d que se esté analizando (en el caso de la duración $d=1$ día, el gasto medio máximo anual g.m.m.a. es igual al gasto máximo de todos los días del año que se analizan; para $d=2$ días, el g.m.m.a. es igual al promedio máximo de dos gastos diarios consecutivos y así sucesivamente hasta una duración $d=10$ días en donde el g.m.m.a. es igual al promedio máximo de 10 gastos medios diarios consecutivos en todo el año analizado. (Ver Tablas 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3)
- 2) Una vez conocido el g.m.m.a. para cada duración, se calcula el promedio aritmético de los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días (Q_{m1d} , Q_{m2d} , Q_{m3d} , Q_{m4d} etc.) y de los gastos máximos anuales instantáneos (Q_{mins}); el promedio se obtiene considerando todos los años del registro. (Ver Tablas 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3)
- 3) A continuación se calculan los radios de reducción r , que resultan del cociente del promedio de los gastos asociados a cada duración entre el promedio de los gastos máximos anuales para una duración $d=1$ día (Q_{m1d}/Q_{m1d} , Q_{m2d}/Q_{m1d} , ..., Q_{m10d}/Q_{m1d}). (Ver Tabla 4.3.2)
- 4) Las parejas radio de reducción vs duración se dibujan en una gráfica y se les ajustan curvas de la forma:

$$r(d) = \frac{1}{(1 + Bd)^N}$$

donde:

$r(d)$ radio de reducción para una duración d , en días.

N, B parámetros determinados empíricamente.

Estas curvas se muestra en la gráfica 4.3.1, para diferentes estaciones hidrométricas, donde se empleó el gasto máximo anual instantáneo como cociente del radio. Se observa en la gráfica, que el valor de radio disminuye a medida que la duración aumenta.

- 5) Para obtener el gasto de diseño para determinado periodo de retorno se aplica la siguiente formula:

$$Q_{dis,Tr} = \left(\frac{Q}{Q_{inst}} \right)_{Tr} (Q_{prom})(r(d))$$

donde:

- 6) Para obtener la relación Q/Q_{inst} se utilizan registros de gastos máximos instantáneos (Ver Tabla 4.3.3), se estandarizan (Ver Tabla 4.3.4) y a los datos de los registros estandarizados se le ajusta la mejor distribución de probabilidad, utilizando el método de las estaciones año. (Ver Tablas 4.3.5 y 4.3.6).
- 7) Para estimar Q_{prom} , a partir de las características fisiográficas de la cuenca (Tabla 4.3.7), y ajustando solamente con el área, obtenemos una curva que relaciona Q_{prom} VS Área (Gráfica 4.3.2), y obteniendo la ecuación que mejor describe la curva podemos estimar para cualquier área el Q_{prom} .
- 8) $r(d)$ es el radio de reducción el cual será obtenido para el tiempo base, éste se estimo como igual al tiempo de concentración, el cual se obtiene a partir de la fórmula de Kirpich.

Es necesario hacer notar que como parte fundamental se encuentra la regionalización de la zona , ya que este método ha sido propuesto considerando que la región es homogénea.

Como la regionalización de la zona queda fuera del alcance de este trabajo, partiremos utilizando los datos de las estaciones disponibles (42), y a partir de estos , sin hacer una separación por regiones, se efectuaran los cálculos.

- 9) Para la estimación del volumen, el procedimiento es similar solamente que trabajaremos con volúmenes en vez de gastos. por tanto la formula a usar será la siguiente:

$$V_{dis,Tr} = \left(\frac{V}{V_{inst}} \right)_{Tr} (V_{prom})(r(d))$$

Pero como en todos los cálculos en los que interviene el volumen, éste se obtiene multiplicando el gasto por el tiempo, es suficiente con multiplicar nuestro resultado final por el tiempo para obtener el volumen.

Los resultados finales se pueden consultar en la Tabla 4.3.8.

Tabla 4.3.1.1 Gastos medios máximos anuales Estación Alamos

Año	Qm1	Qm2	Qm3	Qm4	Qm5	Qm6	Qm7	Qm8	Qm9	Qm10
1949	209,5	176,45	129,88	102,01	84,34	71,99	64,91	59,09	54,04	49,67
1950	41,79	28,57	24,91	23,54	20,492	18,401	17,177	16,341	15,504	14,513
1951	33,36	27	21,269	18,864	13,971	12,251	12,008	11,044	10,391	10,88
1952	93,39	88,69	84,969	77,859	66,674	57,5	53,277	49,358	45,172	41,909
1953	20,03	15,895	13,149	11,27	10,054	8,966	7,967	7,462	7,163	6,623
1954	56,26	49,875	38,57	30,869	25,727	23,411	22,279	22,558	21,61	20,452
1955	277,4	249,65	214,4	211,975	201,08	187,333	169,018	155,736	143,743	132,262
1956	162	109,185	85,603	69,027	57,956	54,703	50,325	45,678	41,62	38,191
1957	123,7	98,97	77,916	62,47	51,704	44,052	38,337	33,901	30,39	27,525
1958	193,9	159,65	121,79	94,62	80,612	71,103	73,365	69,953	63,637	58,018
1959	261,6	195,6	148,09	117,605	97,184	82,825	72,261	64,048	57,52	52,208
1960	247,8	154,525	112,983	89,982	75,272	65,289	57,804	53,971	52,442	50,188
1961	56,49	44,485	34,903	30,112	25,984	22,796	20,311	18,93	17,832	16,723
1962	40,21	24,886	18,184	14,382	12,646	11,91	10,634	9,7	9,071	8,425
1963	275,3	222,4	184,733	160,755	145,274	126,241	114,964	108,398	98,946	92,176
1964	41,89	31,01	25,266	22,432	19,604	17,828	16,254	14,876	13,884	13,072
1965	110,3	84,035	67,843	62,45	53,656	46,149	42,16	37,99	34,611	32,193
1966	170,3	147,75	114,113	94,867	88,366	80,118	73,032	72,469	67,87	63,561
1967	1,536	1,154	0,803	0,65	0,547	0,607	0,572	0,536	0,492	0,459
1968	73,8	73,8	73,8	73,8	73,8	73,03	71,82	70,92	70,219	69,058
1969	84,28	82,69	79,91	79,965	79,454	79,215	79,145	79,268	79,062	78,17
PROM	122,6112	98,39381	79,67067	69,024	61,16176	55,03419	50,83905	47,7251	44,53424	41,72743
r(d)	1	0,802486	0,649783	0,56295	0,498827	0,448851	0,414636	0,389239	0,363215	0,340323

Tabla 4.3.1.2 Gastos medios máximos anuales Estación Bamicori

Año	Qm1	Qm2	Qm3	Qm4	Qm5	Qm6	Qm7	Qm8	Qm9	Qm10
1951	11,312	8,288	7,029	5,562	5,223	5,105	4,451	4,011	4,019	3,74
1952	43,608	24,505	17,078	15,05	13,586	13,676	11,805	10,861	10,961	9,987
1953	25,34	20,595	13,845	10,455	8,401	7,731	7,665	6,947	6,214	5,621
1954	29,32	15,72	10,773	8,164	6,633	6,492	6,064	5,472	4,979	5,068
1955	99,513	53,5	37,181	29,648	26,627	24,035	21,16	18,678	16,658	15,137
1956	58,599	35,339	26,602	20,333	16,41	13,73	11,798	10,345	9,214	8,31
1957	18,23	9,683	6,526	4,901	4,779	4,053	3,478	3,047	2,712	2,444
1958	71,441	44,529	31,821	25,03	21,355	18,863	16,834	14,994	13,475	12,276
1959	14,839	8,881	6,544	5,208	4,292	3,631	3,147	2,784	2,529	2,4
1960	12,838	7,236	5,334	4,434	4,162	3,697	3,307	2,99	2,715	2,482
1961	23,254	20,672	14,524	11,165	9,087	7,662	6,627	5,845	5,229	4,77
1962	7,745	7,273	4,964	3,744	3,027	2,586	2,32	2,05	1,826	1,647
1963	67,053	49,772	40,728	33,647	27,264	22,857	20,114	17,816	15,973	14,515
1964	11,858	9,033	6,631	5,33	4,418	3,786	3,314	3,078	2,821	2,602
1965	72,103	41,322	30,113	22,943	18,577	15,568	13,403	11,755	10,486	9,857
1966	15,886	15,507	13,225	12,392	10,683	9,142	8,254	8,36	7,858	7,216
1967	5,588	4,015	2,849	2,267	1,798	1,512	1,305	1,17	1,205	1,136
1968	56,43	35,923	24,467	18,772	16,252	13,777	11,872	10,521	9,401	8,487
1969	3,683	2,592	1,909	1,595	1,55	1,379	1,223	1,094	0,993	0,904
1970	58,178	32,392	23,696	20,312	16,741	16,431	19,417	17,783	16,08	14,561
1971	14,44	9,239	6,684	5,347	4,435	3,774	3,29	2,909	2,605	2,357
1972	8,407	5,001	3,757	3,217	2,761	2,402	3,057	2,942	2,793	2,607
1973	23,205	22,946	21,257	16,558	13,271	11,069	9,494	10,166	9,651	9,136
1974	69,981	59,37	42,009	33,409	27,663	23,593	20,491	18,079	16,156	14,59
1975	18,589	11,878	8,578	6,592	5,346	4,496	3,877	3,41	3,055	2,787
1976	186,573	108,79	75,94	58,865	47,903	40,063	34,426	30,173	26,86	24,205
PROM	39,53896	25,5385	18,61785	14,80538	12,394	10,81192	9,699731	8,741538	7,941077	7,263154
r(d)	1	0,645907	0,470873	0,374451	0,313463	0,27345	0,245321	0,221087	0,200842	0,183696

Tabla 4.3.1.3 Gastos medios máximos anuales Estación San Ignacio

<i>Año</i>	<i>Qm1 (m³/s)</i>	<i>Qm2 (m³/s)</i>	<i>Qm3 (m³/s)</i>	<i>Qm4 (m³/s)</i>	<i>Qm5 (m³/s)</i>	<i>Qm6 (m³/s)</i>	<i>Qm7 (m³/s)</i>	<i>Qm8 (m³/s)</i>	<i>Qm9 (m³/s)</i>	<i>Qm10 (m³/s)</i>
1967	996,2	778,15	625,66	634,57	606,28	578,71	551,74	520,27	492,9	467,58
1968	843,9	816,8	747,6	693,17	661,24	625,31	584,58	559,4	542,57	528,23
1969	758,8	575,3	478,86	423,95	377,82	355,15	328,97	308,81	307	305,46
1970	647,6	628,05	580,66	527	475,36	436,85	412,84	393,15	376,46	365,83
1971	665	634,95	539,66	499,05	460,46	414,91	373,72	337,8	314,8	311,15
1972	1218,54	1121,62	928,14	769,71	663,32	584,59	522,16	472,15	474,4	485,77
1973	2685,8	2043,85	1617,66	1403,37	1208,94	1054,91	935,6	840,06	767,08	740,99
1974	1085,6	934,1	724,3	617,77	554,74	507,61	473,21	446,6	424,43	408,28
1975	858	778,15	732,16	742,92	716,64	693,45	653,14	616,16	598,47	599,78
<i>PROM</i>	<i>1084,382</i>	<i>923,4411</i>	<i>774,9667</i>	<i>701,2789</i>	<i>636,0889</i>	<i>583,4989</i>	<i>537,3289</i>	<i>499,3778</i>	<i>477,5678</i>	<i>468,1189</i>
<i>r(d)</i>	<i>1</i>	<i>0,851583</i>	<i>0,714662</i>	<i>0,646708</i>	<i>0,586591</i>	<i>0,538093</i>	<i>0,495516</i>	<i>0,460518</i>	<i>0,440405</i>	<i>0,431692</i>

Tabla 4.3.2 Radios de duración VS duración

ALAMOS

<i>duración</i>	<i>r(d)</i>
<i>1</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>0,802486</i>
<i>3</i>	<i>0,649783</i>
<i>4</i>	<i>0,56295</i>
<i>5</i>	<i>0,498827</i>
<i>6</i>	<i>0,448851</i>
<i>7</i>	<i>0,414636</i>
<i>8</i>	<i>0,389239</i>
<i>9</i>	<i>0,363215</i>
<i>10</i>	<i>0,340323</i>

BAMICORI

<i>duración</i>	<i>r(d)</i>
<i>1</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>0,851583</i>
<i>3</i>	<i>0,714662</i>
<i>4</i>	<i>0,646708</i>
<i>5</i>	<i>0,586591</i>
<i>6</i>	<i>0,538093</i>
<i>7</i>	<i>0,495516</i>
<i>8</i>	<i>0,460518</i>
<i>9</i>	<i>0,440405</i>
<i>10</i>	<i>0,431692</i>

SAN IGNACIO

<i>duración</i>	<i>r(d)</i>
<i>1</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>0,645907</i>
<i>3</i>	<i>0,470873</i>
<i>4</i>	<i>0,374451</i>
<i>5</i>	<i>0,313463</i>
<i>6</i>	<i>0,27345</i>
<i>7</i>	<i>0,245321</i>
<i>8</i>	<i>0,221087</i>
<i>9</i>	<i>0,200842</i>
<i>10</i>	<i>0,183696</i>

Gráfica 4.3.1 Ajuste de curvas típicas de reducción a gastos observados

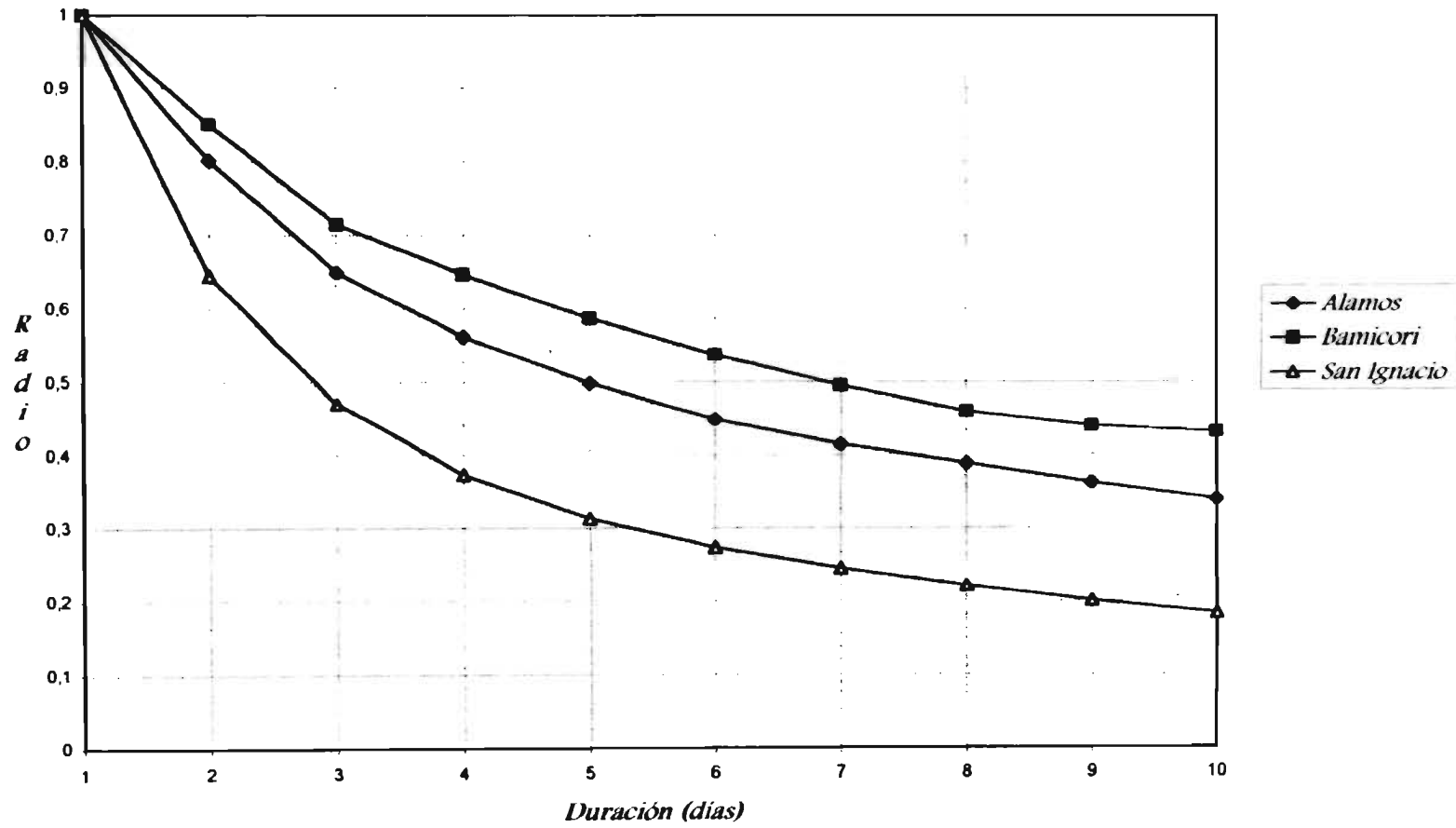


Tabla 4.3.3 Gastos máximos instantáneos Región Hidrológica No. 10

N.º CANTÓN	SAN ZAVIERTELAN	SAN BLAS	LA TINA	RAMILLO	LAS CAÑAS	MAHON	CHRYA	HUMES	PALMIRAL	CHINIPAS	SAN FRAJUNCO	SAN IGNACIO	VEGUERA	FRUITE	GUERRICHO	ALAMON	COZAMATE	JALVA	COMOLAN	BUENAVISTA	MOCTEZUMA	AMACAYAC	
1	563	1562	60	58	842	197	112	2085	248	1178	1326	1341	88	282	209	137	21	759	420	601	85	277	
2	488	2284	73	153	10000	271	74	2581	455	406	1558	1164	120	216	260	395	90	2065	1060	587	33	170	
3	213	12675	75	124	4579	194	73	14376	743	843	2292	960	371	115	595	133	199	6991	343	1025	99	90	
4	648	3447	34	405	946	203	220	2580	6800	363	1376	860	1343	88	496	77	218	580	2239	381	116	1405	
5	629	1636	120	879	2264	176	299	1499	472	721	894	884	138	308	181	248	3223	714	793	816	231	1776	
6	127	1154	17	379	1210	150	1150	1165	347	417	559	1740	143	274	354	42	715	746	888	1347	161	221	
7	1480	1142	71	170	1619	164	159	1127	584	1420	1137	3075	861	319	525	177	185	771	1814	271	206	403	
8	512	3280	113	192	7477	180	376	623	481	1152	1668	1897	384	354	5300	542	424	693	392	496	82	304	
9	1131	9200	778	67	659	192	407	2298	1360	1516	4710	1002	561	308	320	297	111	2614	329	620	262	61	
10	41	3900	30	89	129	215	250	3229	674	1742	2920	4020	250	293	422	246	198	2336	812	1010	172	659	
11	82		2	155	3888	205	464	677	635	430	493	861	285	79	1860	445	259	437	1251	767	273	1320	
12	498		115	46	1624	207	275	1266	530	420	695	1696	407	300	547	669	475	594	1298	287	182	374	
13	720		10	110	8562	189	300	1025	1100	752	678	2210	565	716	495	376	509	546	295	212	167	31	
14	711		47	94	697	196	336	955	390	1446	683	876	272	338		114	685	516	311	894		96	
15	479		110	650	329	189	248	4780	1283	2158	3101	1765		285		115	1365	1600	1060	2521		90	
16	69		110	93	824	216	136	532	688	720	583	1369		243		521	988	639	908	3075		185	
17	69		29	49	607	217	360	593	1370	980	434	1795		282		175	255	362	1570	976		475	
18	60		160	438	172	165	273	1045	1588	1001	3750	1413		563		258	375	2232	963			57	
19	729		58	22	1507	218	351	1908	383	1740	1572	1898		387		292	250	616	368			190	
20	1529		2	138	595	224	194	15000	740	1271	6640					7		2008	809			8093	
21	198		156	44	10000		192	1396	333	1605	880					74		795	672			593	
22	2786		122	70	213		580	1620	535		997					106		1137	1300			334	
23			193	141	420		189	2702	1825		2134							1226	1930			119	
24			72	650	766		348	1319	562		735							454	331			434	
25				100			576	1944	1180		952							650	952			433	
26				495			417	2420	951		2144							958	2080			223	
27				214			1700	2506	1010		1175							900	1713			534	
28				94			748	1534	190		1308							1338	736			330	
29				54			588	1508	843		605							340	1580			684	
30				363				1558			980							357					1720
31				134				2200			950							1109					255
32				54				2225			2129							932					435
33								7960			4855							1349					600
34								4001										680					405
35								1067										488					1150
36								3233										900					800
37								1119										791					349
38								6178										989					1995
39								4443										1620					73
40								1474										400					260

Tabla 4.3.3 Continuación Gastos máximos instantáneos Región Hidrológica No. 10

AMBUJÓN	GUAMICUILI	PELUCÁN	TILKKA BLANCA	PUCUNSU-PACU	PALANCAÁN	VAREJAL	RADIRAGUAYO	GUATEVA	LA HUERTA	PUCUCANZAL	SUMALAYA	PUCACÓN	TAMAZULA	EL BELDAL	ZARZAVAN	ACATITÁN	IMPAJÓN	IPAVILA	MIQUILÁN
162	335	39	1333	4362	4160	1226	361	675	175	2848	1896	505	1304	766	2103	579	1046	1344	117
35	299	170	1268	2624	1648	1656	435	565	639	486	2660	962	894	597	2142	350	709	510	290
10	255	227	2006	3821	2808	1034	276	2037	330	1377	375	1587	392	170	1023	321	1045	444	624
400	65	453	725	3102	5113	400	4220	5000	1981	1570	346	1088	228	119	838	840	322	821	157
819	445	69	1426	1122	8340	166	420	4356	1251	994	233	1220	607	65	1161	702	240	1276	272
110	1333	230	1979	947	2091	168	236	798	1260	692	485	833	907	157	1062	1310	1902	2855	1630
116	392	141	2433	3580	3000	69	213	1670	273	868	158	1704	723	197	784	646	722	652	363
194	916	91		1320	582		922	4230	1250	1943	227		292	414	1086	1674	336	614	101
23	241	152		3751	1009		480	2431	331	1526	169		509	291	488	622	864	631	1008
680	330	82		1780	1006		435	1717	322	1904	669		590	174	677	457	1766	937	183
776	648	322		2427	2209		64	488	1635	939	54		1246	243	807	710	2205	6399	173
182	375	219		3755	4140		250	3127	451	1952	415		463	155	553	1191	707	799	166
75	272	307		1680	475		435	451	1475	2276	94		361	44	1252	553	1334	765	1080
386	422	198		2676	842		470	860	609	3232	283		564	227	370	4600	842	503	160
487	377	186		2412	2794		585	3050	1303	429	615		564	169	330	400	1056	3527	464
54	1173	186		3599	1264		600	825	683	332	240		364	669	1938	568	6200	640	464
206	219	76		2335	2780		290	3392	1774	398	329		620	31	762	422	872		296
377	607	143		4008	753		320	1330		455	378		313	152	1074	1830	1020		233
70	165	176		3039	485		250	1650		151	1000		362	91	1280	792	546		55
1330	526	108		11000	3883		245	976		74	327		443	283	1002	2005	4365		110
334	1014	308		4000	1280		890	3937		42	276		375	433	3680	1410	801		664
177	1610	353		4735	3048		461			64	153		518	132	861	380	1957		1743
230	137	362		701	1845		9245				173		584	529	889	625	450		115
331	525	246		782	830		2388				308			122	1166	542	975		532
806	985	267		790	992		277				1600			1000	950	355	949		382
82	459	258		2760	104		481				264			336	7000	1404	405		610
293	390			5228	150		614				136			258	484	1555	939		
611	449			330	171						326			92	921	638	1374		
710	688			398	172						421			122	812	921	2582		
452	720			3490	725						304			326	3332	907	660		
10	200			1227	97						304			1576	898	2470	1440		
838	312			3152	240						629			228	2790				
318	520			361	86						45			82	620				
275	1045			378	82						66			276	1495				
518	34			5715	140						185			380	836				
298	13				335						473			296	940				
561					1713						228			311	3080				
508					72						238			490	1580				
370					236						74			60	306				
93					1633						450			123	151				

Tabla 4.3.4 Continuación Gastos (estandarizados) máximos instantáneos Región Hidrológica No. 10

NAGAYAO	ALAYALAN	GUAMBUKIN	PERICAN	TIZONA BLANCA	PLASIDIPACUP	PALANBUAN	VARAYAL	RAMBAGUATO	GUATENTA	LA HUEKIA	PUYCANZAN	SAMARANA	PERICANON	TALAZOLA	EL BUDAL	MAYACRUZ	ACATIPAN	INFANTAN	ITANILA	TUTUPAN
0,445	0,446	0,553	0,193	0,874	1,541	2,807	1,819	0,377	0,325	0,187	2,552	4,239	0,448	2,234	2,679	1,636	0,561	0,794	0,947	0,230
0,273	0,096	0,484	0,841	0,821	0,886	1,112	2,456	0,454	0,272	0,705	0,435	5,947	0,853	1,832	2,088	1,687	0,339	0,338	0,399	0,619
0,145	0,028	0,421	1,123	1,299	1,291	1,895	1,534	0,288	0,981	0,567	1,234	0,838	1,406	1,014	0,594	0,836	0,311	0,293	0,413	1,332
2,239	1,101	0,107	1,747	0,470	1,048	3,451	0,593	4,406	2,409	2,067	1,407	0,774	0,964	0,391	0,416	0,660	0,814	0,244	0,578	0,335
2,836	2,253	0,734	0,841	0,924	0,379	5,628	0,246	0,438	2,099	1,339	0,891	0,521	1,081	1,040	0,227	0,914	0,681	0,182	0,899	0,581
0,335	0,303	2,558	1,138	1,023	0,320	1,411	0,249	0,246	0,384	1,349	0,620	1,084	0,738	1,534	0,549	0,836	1,464	1,443	2,011	3,415
0,648	0,319	0,647	0,698	1,589	1,209	2,025	0,102	0,222	0,805	0,292	0,778	0,353	1,510	1,239	0,689	0,617	0,626	0,548	0,459	1,202
0,489	0,334	1,512	0,450		0,446	0,993		0,963	2,038	1,338	1,741	0,507		0,500	1,448	0,855	1,623	0,422	0,432	0,216
0,098	0,063	0,398	0,752		1,943	0,681		0,501	1,171	0,354	1,367	0,378		0,872	1,018	0,384	0,603	0,656	0,444	2,131
1,040	1,980	0,875	0,406		0,601	0,679		0,454	0,827	0,345	1,706	1,496		1,011	0,608	0,533	0,443	1,340	0,660	0,391
2,123	2,137	1,069	1,593		0,820	1,491		0,067	0,235	1,718	0,841	0,121		2,135	0,815	0,636	0,688	1,673	4,307	0,969
0,601	0,301	0,619	1,084		1,268	2,794		0,261	1,507	0,483	1,749	0,928		0,793	0,542	0,436	1,155	0,337	0,363	0,334
0,030	0,037	0,449	1,519		0,571	0,321		0,454	0,217	1,579	2,039	0,210		0,619	0,154	0,986	0,536	1,012	0,539	2,303
0,154	1,063	0,696	0,980		0,904	0,568		0,491	0,414	0,652	2,896	0,633		0,966	0,794	0,291	4,459	0,639	0,354	0,341
0,145	1,341	0,622	0,920		0,815	1,886		0,611	1,470	1,395	0,384	1,375		0,966	0,591	0,260	0,388	0,301	2,484	0,990
0,297	0,149	1,936	0,920		1,891	0,853		0,626	0,397	0,731	0,297	0,537		0,624	2,340	1,542	0,551	4,705	0,451	0,990
0,764	0,567	0,361	0,376		0,789	1,876		0,303	1,634	1,899	0,357	1,183		1,062	0,108	0,600	0,409	0,662		0,632
0,092	1,038	5,788	0,708		1,354	0,508		0,334	0,650		0,408	0,445		0,336	0,532	0,846	1,774	0,774		0,540
0,306	0,193	0,272	0,871		1,702	0,327		0,261	0,795		0,135	2,236		0,620	0,318	1,038	0,768	0,414		0,117
4,974	2,836	0,868	0,510		3,716	2,621		0,256	0,470		0,066	0,731		0,759	0,990	0,789	1,944	3,312		0,205
0,934	0,920	1,673	1,524		1,351	0,864		0,929	1,897		0,038	0,617		0,643	1,514	2,898	1,367	0,608		1,417
0,547	0,487	2,657	1,747		1,606	3,407		0,481			0,057	0,342		0,888	0,462	0,678	0,368	1,485		3,720
0,191	0,633	0,226	1,791		0,237	1,245		9,651				0,387		1,001	1,850	0,700	0,606	0,341		0,245
0,698	0,911	0,866	1,168		0,264	0,560		2,493				0,677			0,427	0,918	0,525	0,740		1,133
0,696	2,219	1,626	1,321		0,267	0,669		0,289				3,377			3,497	0,748	0,344	0,720		0,815
0,339	0,226	0,758	1,277		0,932	0,070		0,502				0,590			1,175	5,513	1,361	0,307		1,302
0,839	0,807	0,644			1,766	0,101		0,641				0,304			0,902	0,381	1,507	0,713		
0,531	1,682	0,741			0,111	0,115						0,729			0,322	0,725	0,618	1,043		
1,100	1,955	1,135			0,134	0,116						0,941			0,427	0,640	0,893	1,959		
2,766	1,245	1,188			1,179	0,489						0,680			1,140	2,624	0,879	0,501		
0,410	0,028	0,330			0,414	0,065						1,127			3,511	0,707	2,394	1,093		
0,999	2,307	0,515			1,065	0,162						1,406			0,797	2,197				
0,965	0,876	0,858			0,122	0,058						0,101			0,287	0,488				
0,631	0,757	1,725			0,128	0,055						0,148			0,965	1,177				
1,849	1,426	0,056			1,930	0,094						0,414			1,329	0,658				
1,286	0,821	0,021				0,226						1,057			1,035	0,740				
0,561	1,345					1,156						0,510			1,088	2,426				
3,208	1,399					0,049						0,532			1,714	1,221				

0,117	1,019					0,159						0,165			0,210	0,241				
0,070	0,296					1,102						1,006			0,430	0,119				
0,167	0,118					1,102						0,409			0,892	0,065				
1,214	0,881					0,091						1,348			1,060	0,099				
3,280	2,544					1,255									0,790	0,689				
2,621	2,192					0,173									0,734					
1,430	0,520					0,062									0,294					
0,476	0,920					0,045									0,178					
0,872	1,231					0,181									0,560					
															0,972					

Tabla 4.3.5 Resumen de errores cuadráticos

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	3p	2p	3p	2p
Normal	-	11.7	-	11.7
Log-normal	3.0	2.5	1111	2
Gumbel	-	7.3	-	9.1
Exponencial	-	4.5	-	5.6
Gamma	9.15	5.6	1111	72
Doble Gumbel	3.4			

Mejor ajuste conseguido con la función Log-normal de dos parámetros por máxima verosimilitud¹.

Con la distribución de probabilidad elegida, se procedió a calcular los gastos de diseño para los periodos de retorno observados en cada estación quedando como siguen:

Periodo de retorno (años)	Valor estimado (Q/Qprom)
<i>Álamos</i>	
4.2	1.3
5.25	1.5
7	1.8
10.5	2.2
21	2.9
<i>Bumicori</i>	
6.23	1.7
7.75	1.9
10.333	2.1
15.5	2.6
31	3.4
<i>San Ignacio</i>	
3.4	1.1
4.25	1.3
5.667	1.6
8.5	2.0
17	2.7
<i>Diseño</i>	
50	4.0
100	5.1

Tabla 4.3.6 Gastos de diseño.

¹ Para la función Log-normal de tres parámetros se obtuvo que el parámetro de ubicación es muy cercano a cero por tal razón se eligió la de dos.

Tabla 4.3.7 Características fisiográficas de las estaciones de estudio

Estación	A(km ²)	Qprom(m ³ /s)	L (km)	S (m/km)	tc* (hrs)	tc (días)
Bamicori	223	194,5	20,2	0,0061	68,33637	2,847349
Tina	275	106,54	30,3	0,0167	63,36484	2,640202
Molinos	501	159,15	35	0,0417	49,78097	2,074207
Zopilote	666	363,18	68	0,0283	96,3779	4,015746
Choix	1403	392,93	82	0,0221	122,4416	5,101733
Cazamate	1813	555	93	0,0156	154,2632	6,427632
Naranjo	2064	621,89	107	0,0209	153,551	6,397957
Alamos	2270	247,55	124	0,0158	191,5733	7,982223
Tecusiapa	3773	975,65	90	0,0666	86,02259	3,584275
Urique	4000	302,63	127	0,0358	142,4188	5,934116
Veranera	4106	413,43	137	0,0363	150,1738	6,257241
Chinipas	5098	1061	131	0,06	119,5622	4,98176
Toahayana	5281	1048,86	131	0,0579	121,2135	5,050563
Guerachic	6262	889,54	145	0,0423	147,9094	6,16289
Palo Dulce	6323	975,86	184	0,0569	158,5166	6,60486
Jaina	8179	1197,37	177	0,0518	159,5166	6,646524
San Ignacio	10920	1622,42	209	0,0536	178,9236	7,455149
San Fco.	17531	1724,64	246	0,0504	207,7149	8,654787
Huites	26020	2942,04	267	0,0493	223,1264	9,296934
Mahone	29428	198,4	337	0,0445	277,6769	11,56987
Cañas	29529	2497,04	342	0,0445	280,8438	11,70183
San Blas	33590	4018	402	0,0414	327,0335	13,6264
San Miguel	34450	624,64	440	0,0406	353,2315	14,71798

tc* Calculado de la fórmula de Kirpich

Gráfica 4.3.2 Área VS Gasto prom.

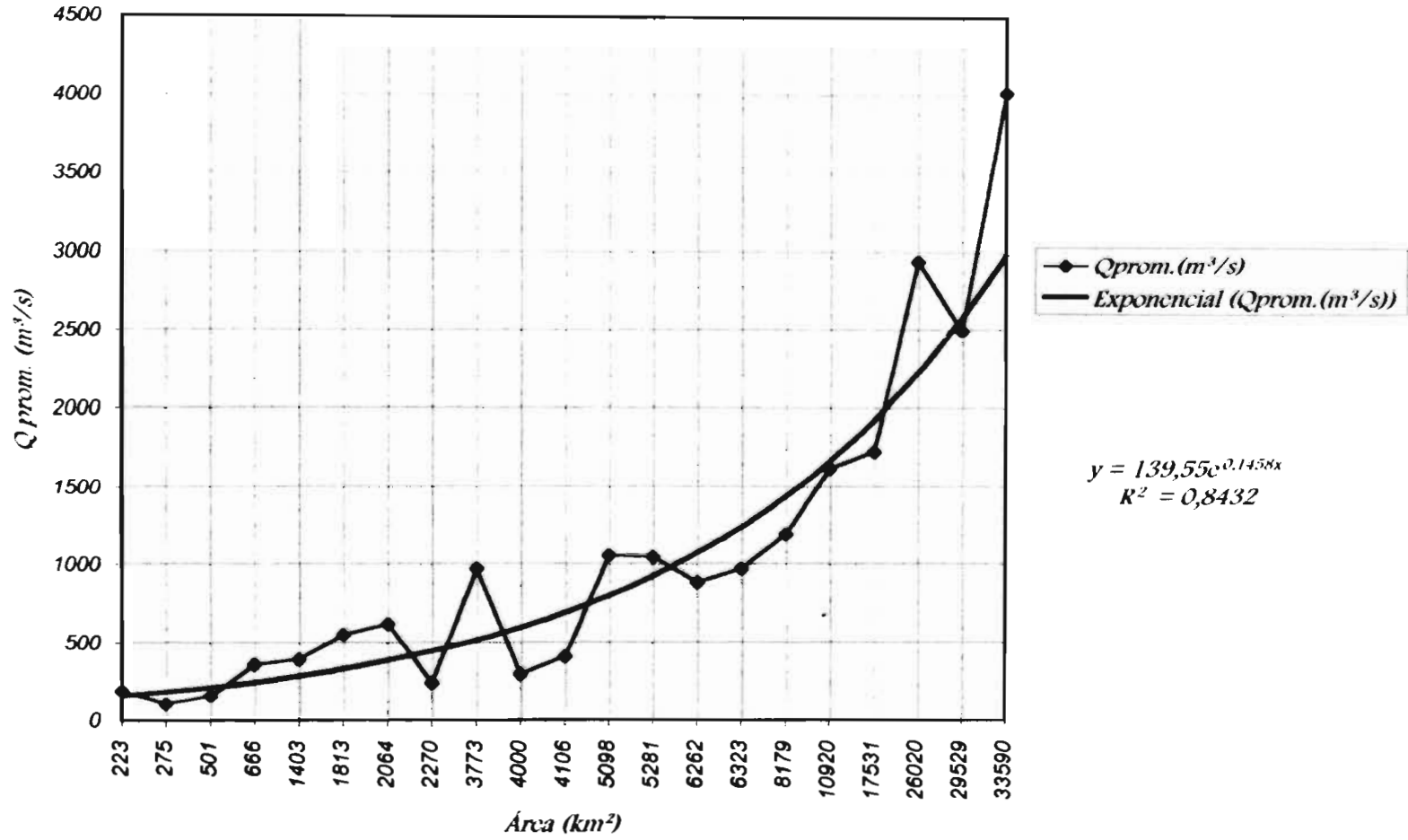


Tabla 4.3.8 Resultados obtenidos para las estaciones de estudio

Estacion	tr	(Q/Qinst)	Qprom.	r(d) para tc	Qcal (m ³ /s)	Vl(m ³)	Vp(m ³)	Vd(m ³)
Alamos	21	2,9	247,55	0,3892	279,4047	24,1E+6	8,2E+6	15,9E+6
	10,5	2,2	247,55	0,3892	211,9622	18,3E+6	6,2E+6	12,1E+6
	7	1,8	247,55	0,3892	173,4236	15,0E+6	5,1E+6	9,9E+6
	5,25	1,5	247,55	0,3892	144,5197	12,5E+6	4,2E+6	8,2E+6
	4,2	1,3	247,55	0,3892	125,2504	10,8E+6	3,7E+6	7,1E+6

Estacion	tr	(Q/Qinst)	Qprom.	r(d) para tc	Qcal (m ³ /s)	Vl(m ³)	Vp(m ³)	Vd(m ³)
Bamixori	31	3,4	194,5	0,4708	311,34	26,9E+6	12,4E+6	14,5E+6
	15,5	2,6	194,5	0,4708	238,0836	20,6E+6	9,5E+6	11,1E+6
	10,333	2,1	194,5	0,4708	192,2983	16,6E+6	7,6E+6	9,0E+6
	7,75	1,9	194,5	0,4708	173,9841	15,0E+6	6,9E+6	8,1E+6
	6,2	1,7	194,5	0,4708	155,67	13,4E+6	6,2E+6	7,3E+6

Estacion	tr	(Q/Qinst)	Qprom.	r(d) para tc	Qcal (m ³ /s)	Vl(m ³)	Vp(m ³)	Vd(m ³)
San Ignacio	17	2,7	1622,42	0,23	1007,523	87,0E+6	31,3E+6	55,7E+6
	8,5	2	1622,42	0,23	746,3132	64,5E+6	23,2E+6	41,3E+6
	5,667	1,6	1622,42	0,23	597,0506	51,6E+6	18,6E+6	33,0E+6
	4,25	1,3	1622,42	0,23	485,1036	41,9E+6	15,1E+6	26,8E+6
	3,4	1,1	1622,42	0,23	410,4723	35,5E+6	12,8E+6	22,7E+6

4.4 MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA Y LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

4.4.1 *El procedimiento de cálculo aplicado a la estación "ALAMOS" es como sigue:*

- 1) *A partir de la información de 21 años de registros de gastos medios diarios, estos se analizaron y se estimaron los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días.*
- 2) *A cada grupo de gastos medios máximos anuales se les ajustaron distintas funciones de probabilidad, utilizando los métodos de momentos y máxima verosimilitud, y se estimó el error cuadrático mínimo para cada una de las distribuciones, obteniéndose así las que mejor se ajustaron a cada grupo de datos. Este procedimiento se llevo a cabo por medio del programa de cómputo AX¹*
- 3) *Con cada una de las distribuciones elegidas, se calcularon los gastos promedios para 4.2, 5.25, 7, 10.5 y 21 años de periodo de retorno, los cuales corresponden a los períodos de retorno para los cuales se tienen valores medidos reales en la estación, esto se hace con la finalidad de comparar los resultados con los distintos métodos existentes.*
- 4) *A cada uno de los gastos promedios les corresponden gastos medios diarios (gastos individuales), los cuales se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:*

$$Q_1 = Q_{med_1}$$

$$Q_2 = 2 * Q_{med_2} - Q_1$$

$$Q_3 = 3 * Q_{med_3} - (Q_1 + Q_2)$$

...

...

$$Q_d = d * Q_{med_d} - \left(\sum_{i=1}^{d-1} Q_i \right)$$

- 5) *A continuación se reordenaron los gastos cumpliendo con que el promedio máximo de n valores máximos consecutivos resultará igual al gasto promedio máximo correspondiente al periodo de retorno que se analiza.*
- 6) *Finalmente se calculo el volumen total, el volumen antes del pico y el volumen después del pico.*

Estos resultados se pueden observar en las tablas siguientes:

¹Programa AX IEXE: Elaborado por Martín Jimenez Espinoza, CENAPRED, Mayo 1992.

Tabla 4.4.1.1 Gastos medios máximos anuales

Año	Qm1	Qm2	Qm3	Qm4	Qm5	Qm6	Qm7	Qm8	Qm9	Qm10
1949	209.5	176.45	129.88	102.01	84.34	71.99	64.91	59.09	54.04	49.67
1950	41.79	25.57	24.91	23.54	20.492	18.401	17.177	16.341	15.504	14.513
1951	33.36	27.00	21.269	18.864	13.971	12.251	12.008	11.044	10.391	10.88
1952	93.39	88.69	84.969	77.859	66.674	57.5	53.277	49.358	45.172	41.409
1953	20.03	15.895	12.149	11.27	10.034	8.966	7.967	7.462	7.163	6.623
1954	56.26	49.875	38.57	30.869	25.727	23.411	22.279	22.558	21.61	20.452
1955	277.4	249.65	214.40	211.97	201.08	187.333	169.01	155.73	143.74	132.26
1956	162	109.18	85.603	69.027	57.956	54.703	50.325	45.678	41.62	38.191
1957	123.7	98.97	77.916	62.47	51.704	44.052	38.337	33.901	30.39	27.525
1958	193.9	159.65	121.79	94.62	80.612	71.103	73.365	69.953	63.637	58.018
1959	261.6	195.60	148.09	117.60	97.184	82.825	72.261	64.048	57.52	52.208
1960	247.8	154.52	112.98	89.982	75.272	65.289	57.804	53.971	52.442	50.188
1961	56.49	44.485	34.903	30.112	25.984	22.796	20.311	18.93	17.832	16.723
1962	40.21	24.886	18.184	14.382	12.646	11.91	10.634	9.7	9.071	8.425
1963	275.3	222.40	184.73	160.75	145.27	126.241	114.96	108.39	98.946	92.176
1964	41.89	31.01	25.266	22.432	19.604	17.828	16.254	14.876	13.884	13.072
1965	110.3	84.035	67.843	62.45	53.656	46.149	42.16	37.99	34.611	32.193
1966	170.3	147.75	114.11	94.867	88.366	80.118	73.032	72.469	67.87	63.561
1967	1.536	1.154	0.803	0.65	0.547	0.607	0.572	0.536	0.492	0.459
1968	73.8	73.80	73.80	73.80	73.8	73.03	71.82	70.92	70.219	69.058
1969	84.28	82.69	79.91	79.965	79.454	79.215	79.145	79.268	79.062	78.18
	*1	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2

*1 Mejor ajuste Distribución Doble Gumbel

*2 Mejor ajuste Distribución Gamma (máx. ver) 2.p.

Tabla 4.4.1.2 Gastos promedios máximos para distintos periodos de retorno.

Tr	Qm1	Qm2	Qm3	Qm4	Qm5	Qm6	Qm7	Qm8	Qm9	Qm10
4.2	209.33	163.062	112.75	97.78	86.74	78.02	72.07	67.67	63.13	59.15
5.25	251.679	182.934	127.98	111.10	98.73	88.75	81.99	77.00	71.82	67.29
7	259.004	197.174	147.33	128.05	114.2	102.4	94.62	88.90	82.88	77.66
10.5	266.022	212.183	174.62	151.57	135.2	121.4	112.1	105.4	98.25	92.05
21	276.14	233.624	218.81	190.74	170.6	153.0	141.3	132.9	123.8	116.0

A continuación se muestran las Tablas de gastos promedios máximos, gastos diarios, volumen total, volumen antes y volumen después para distintos periodos de retorno.

Tabla 4.4.1.3 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 4.2 años.

<i>Tr = 4.2</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	<i>209.33</i>	<i>209.33</i>
	<i>163.06</i>	<i>116.79</i>
	<i>112.75</i>	<i>12.12</i>
	<i>97.78</i>	<i>52.87</i>
	<i>86.74</i>	<i>42.57</i>
	<i>78.02</i>	<i>34.43</i>
	<i>72.04</i>	<i>36.38</i>
	<i>67.67</i>	<i>36.85</i>
	<i>63.13</i>	<i>26.85</i>
	<i>59.15</i>	<i>23.34</i>

<i>Vt</i>	<i>51.111 E+06</i>
<i>Va</i>	<i>19.233 E+06</i>
<i>Vd</i>	<i>31.877 E+06</i>

Tabla 4.4.1.2 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 5.25 años.

<i>Tr = 5.25</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	<i>251.67</i>	<i>251.67</i>
	<i>182.93</i>	<i>114.18</i>
	<i>127.98</i>	<i>18.07</i>
	<i>111.10</i>	<i>60.46</i>
	<i>98.73</i>	<i>49.28</i>
	<i>88.75</i>	<i>38.84</i>
	<i>81.99</i>	<i>41.39</i>
	<i>77.00</i>	<i>42.14</i>
	<i>71.82</i>	<i>30.32</i>
	<i>67.29</i>	<i>26.55</i>

<i>Vt</i>	<i>58.142 E+06</i>
<i>Va</i>	<i>22.888 E+06</i>
<i>Vd</i>	<i>35.254 E+06</i>

Tabla 4.4.1.5 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 7 años.

<i>Tr = 7</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	<i>259.00</i>	<i>259.00</i>
	<i>197.17</i>	<i>135.34</i>
	<i>147.33</i>	<i>47.64</i>
	<i>128.05</i>	<i>70.21</i>
	<i>114.02</i>	<i>57.91</i>
	<i>102.43</i>	<i>44.46</i>
	<i>94.62</i>	<i>47.77</i>
	<i>88.90</i>	<i>48.84</i>
	<i>82.88</i>	<i>34.78</i>
	<i>77.66</i>	<i>30.36</i>

<i>Vt</i>	<i>67.100 E+06</i>
<i>Va</i>	<i>27.441 E+06</i>
<i>Vd</i>	<i>39.659 E+06</i>

Tabla 4.4.1.6 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 10.5 años.

<i>Tr = 10.5</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	<i>266.02</i>	<i>266.02</i>
	<i>212.18</i>	<i>158.34</i>
	<i>174.62</i>	<i>99.49</i>
	<i>151.57</i>	<i>82.42</i>
	<i>135.24</i>	<i>69.94</i>
	<i>121.41</i>	<i>52.26</i>
	<i>112.16</i>	<i>56.63</i>
	<i>105.41</i>	<i>58.17</i>
	<i>98.25</i>	<i>40.95</i>
	<i>92.05</i>	<i>36.32</i>

<i>Vt</i>	<i>79.538 E+06</i>
<i>Va</i>	<i>34.563 E+06</i>
<i>Vd</i>	<i>44.974 E+06</i>

Tabla 4.4.1.7 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 21 años.

<i>Tr = 21</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	<i>276.14</i>	<i>276.14</i>
	<i>233.62</i>	<i>191.10</i>
	<i>218.81</i>	<i>189.18</i>
	<i>190.74</i>	<i>106.53</i>
	<i>170.63</i>	<i>90.20</i>
	<i>153.04</i>	<i>65.11</i>
	<i>141.38</i>	<i>71.37</i>
	<i>132.93</i>	<i>73.80</i>
	<i>123.84</i>	<i>51.15</i>
	<i>116.04</i>	<i>45.77</i>

<i>Vt</i>	<i>100.259 E+06</i>
<i>Va</i>	<i>46.655 E+06</i>
<i>Vd</i>	<i>53.603 E+06</i>

4.4.2 El procedimiento de cálculo aplicado a la estación "BAMICORI" es como sigue:

- 1) A partir de la información de 26 años de registros de gastos medios diarios, estos se analizaron y se estimaron los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días.
- 2) A cada grupo de gastos medios máximos anuales se les ajustaron distintas funciones de probabilidad, utilizando los métodos de momentos y máxima verosimilitud, y se estimó el error cuadrático mínimo para cada una de las distribuciones, obteniéndose así las que mejor se ajustaron a cada grupo de datos. Este procedimiento se llevo a cabo por medio del programa de computo AX¹.
- 3) Con cada una de las distribuciones elegidas, se calcularon los gastos promedios para 6.2, 7.75, 10.333, 15.5 y 31 años de periodo de retorno, los cuales corresponden a los periodos de retorno para los cuales se tienen valores medidos reales en la estación, esto se hace con la finalidad de comparar los resultados con los distintos métodos existentes.
- 4) A cada uno de los gastos promedios les corresponden gastos medios diarios (gastos individuales), los cuales se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_1 = Q_{med_1}$$

$$Q_2 = 2 * Q_{med_2} - Q_1$$

$$Q_3 = 3 * Q_{med_3} - (Q_1 + Q_2)$$

...

...

$$Q_d = d * Q_{med_d} - \left(\sum_{i=1}^{d-1} Q_i \right)$$

- 5) A continuación se reordenaron los gastos cumpliendo con que el promedio máximo de n valores máximos consecutivos resultará igual al gasto promedio máximo correspondiente al período de retorno que se analiza.
- 6) Finalmente se calculo el volumen total, el volumen antes del pico y el volumen después del pico.

Estos resultados se pueden observar en las tablas siguientes.

¹ Programa AX EXE Elaborado por Martín Jiménez Espinoza, CENAPRED, Mayo 1992

Tabla 4.4.2.1 Gastos medios máximos anuales

Año	Qm1	Qm2	Qm3	Qm4	Qm5	Qm6	Qm7	Qm8	Qm9	Qm10
1951	11.31	8.28	7.02	5.56	5.22	5.10	4.45	4.01	4.01	3.74
1952	43.60	24.50	17.07	15.05	13.58	13.67	11.80	10.86	10.96	9.98
1953	25.34	20.59	13.84	10.45	8.40	7.73	7.66	6.94	6.21	5.62
1954	29.32	15.72	10.77	8.16	6.63	6.42	6.06	5.47	4.97	5.06
1955	99.51	53.50	37.18	29.64	26.62	24.03	21.16	18.67	16.65	15.13
1956	58.59	35.33	26.60	20.33	16.41	13.73	11.79	10.34	9.21	8.31
1957	18.23	9.68	6.52	4.90	4.77	4.05	3.47	3.04	2.71	2.44
1958	71.44	44.52	31.82	25.03	21.35	18.86	16.83	14.99	13.47	12.27
1959	14.83	8.88	6.54	5.20	4.29	3.63	3.14	2.78	2.52	2.4
1960	12.83	7.23	5.33	4.43	4.16	3.69	3.30	2.99	2.71	2.48
1961	23.25	20.67	14.52	11.16	9.08	7.66	6.62	5.84	5.22	4.77
1962	7.74	7.27	4.96	3.74	3.02	2.58	2.32	2.05	1.82	1.64
1963	67.05	49.77	40.72	33.64	27.26	22.85	20.11	17.81	15.97	14.51
1964	11.85	9.03	6.63	5.33	4.41	3.78	3.31	3.07	2.82	2.60
1965	72.10	41.32	30.11	22.94	18.57	15.56	13.40	11.75	10.48	9.85
1966	15.88	15.50	13.22	12.93	10.68	9.14	8.25	8.36	7.85	7.21
1967	5.58	4.01	2.84	2.207	1.79	1.51	1.30	1.17	1.20	1.13
1968	56.43	35.92	24.46	18.77	16.52	13.77	11.87	10.52	9.40	8.48
1969	3.68	2.59	1.90	1.595	1.55	1.37	1.22	1.09	0.99	0.90
1970	58.17	32.39	23.69	20.31	16.74	16.43	19.41	17.78	16.08	14.56
1971	14.44	9.23	6.68	5.34	4.43	3.77	3.29	2.90	2.60	2.35
1972	8.40	5.00	3.75	3.21	2.76	2.40	3.05	2.94	2.79	2.60
1973	23.20	22.49	21.25	16.55	13.27	11.06	9.49	10.16	9.65	9.13
1974	69.98	59.37	42.00	33.40	27.66	23.59	20.49	18.07	16.15	14.59
1975	18.58	11.87	8.57	6.59	5.34	4.49	3.87	3.41	3.05	2.78
1976	186.5	108.7	75.94	58.86	47.90	40.06	34.42	30.17	26.86	24.20
	*1	*1	*1	*1	*1	*2	*2	*3	*3	*3

*1 Mejor ajuste Distribución Log-normal (máx. ver.) 2.p.

*2 Mejor ajuste Distribución Exponencial (máx. ver.) 3.p.

*3 Mejor ajuste Distribución Doble Gumbel.

Tabla 4.4.2.2 Gastos promedios máximos para distintos periodos de retorno.

Tr	Qm1	Qm2	Qm3	Qm4	Qm5	Qm6	Qm7	Qm8	Qm9	Qm10
6.2	65.78	42.61	31.22	24.83	20.67	19.77	17.69	16.86	15.21	13.84
7.75	75.30	48.30	35.53	28.24	23.45	22.13	19.86	18.41	16.56	15.04
10.333	88.49	56.60	41.46	32.93	27.25	25.24	22.65	20.13	18.06	16.37
15.5	108.9	69.07	56.58	40.15	33.08	29.62	26.58	22.26	19.92	18.03
31	149.3	93.39	68.37	54.21	44.39	39.11	33.30	25.54	22.80	20.60

A continuación se muestran las Tablas de gastos promedios máximos, gastos diarios, volumen total, volumen antes y volumen después para distintos periodos de retorno.

Tabla 4.4.2.3 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 6.2 años.

<i>Tr = 6.2</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	65.782	65.78
	42.616	19.45
	31.229	8.454
	24.830	5.633
	20.673	4.045
	19.772	15.266
	17.697	5.247
	16.863	11.025
	15.214	2.021
	13.843	1.504

<i>Vt</i>	11.960 E+06
<i>Va</i>	4.550 E+06
<i>Vd</i>	7.411 E+06

Tabla 4.4.2.4 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 7.75 años.

<i>Tr = 7.75</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	75.307	75.307
	48.505	21.703
	35.538	9.603
	28.245	6.366
	23.451	4.274
	22.134	15.549
	19.862	6.229
	18.418	8.309
	16.566	1.750
	15.043	1.336

<i>Vt</i>	12.997 E+06
<i>Va</i>	5.142 E+06
<i>Vd</i>	7.855 E+06

Tabla 4.4.2.5 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 10.333 años.

<i>Tr=10.333</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	<i>88.491</i>	<i>88.491</i>
	<i>56.605</i>	<i>24.719</i>
	<i>41.465</i>	<i>11.185</i>
	<i>32.937</i>	<i>7.352</i>
	<i>27.257</i>	<i>4.536</i>
	<i>25.244</i>	<i>15.178</i>
	<i>22.652</i>	<i>7.100</i>
	<i>20.132</i>	<i>2.492</i>
	<i>18.062</i>	<i>1.502</i>
	<i>16.374</i>	<i>1.182</i>

<i>Vt</i>	<i>14.147 E+06</i>
<i>Va</i>	<i>5.924 E+06</i>
<i>Vd</i>	<i>8.223 E+06</i>

Tabla.4.4.2.6 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 15.5 años.

<i>Tr = 15.5</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	<i>108.947</i>	<i>108.947</i>
	<i>69.072</i>	<i>29.197</i>
	<i>50.584</i>	<i>13.608</i>
	<i>40.152</i>	<i>8.856</i>
	<i>33.088</i>	<i>4.832</i>
	<i>29.627</i>	<i>12.322</i>
	<i>26.585</i>	<i>8.332</i>
	<i>22.261</i>	<i>-8.007</i>
	<i>19.928</i>	<i>1.263</i>
	<i>18.037</i>	<i>1.018</i>

<i>Vt</i>	<i>15.584 E+06</i>
<i>Va</i>	<i>7.129 E+06</i>
<i>Vd</i>	<i>8.455 E+06</i>

Tabla 4.4.2.7 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 31 años.

<i>Tr = 31</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	<i>149.316</i>	<i>149.316</i>
	<i>93.397</i>	<i>37.478</i>
	<i>68.373</i>	<i>18.325</i>
	<i>54.212</i>	<i>11.729</i>
	<i>44.390</i>	<i>5.101</i>
	<i>37.119</i>	<i>0.763</i>
	<i>33.308</i>	<i>10.442</i>
	<i>25.542</i>	<i>-28.819</i>
	<i>22.808</i>	<i>0.936</i>
	<i>20.606</i>	<i>0.788</i>

<i>Vt</i>	<i>17.804 E+06</i>
<i>Va</i>	<i>9.458 E+06</i>
<i>Vd</i>	<i>8.346 E+06</i>

4.4.3 El procedimiento de cálculo aplicado a la estación "SAN IGNACIO" es como sigue:

- 1) A partir de la información de 9 años de registros de gastos medios diarios, estos se analizaron y se estimaron los gastos medios máximos anuales para duraciones de 1 a 10 días.
- 2) A cada grupo de gastos medios máximos anuales se les ajustaron distintas funciones de probabilidad, utilizando los métodos de momentos y máxima verosimilitud, y se estimó el error cuadrático mínimo para cada una de las distribuciones, obteniéndose así las que mejor se ajustaron a cada grupo de datos. Este procedimiento se llevo a cabo por medio del programa de computo AX¹.
- 3) Con cada una de las distribuciones elegidas, se calcularon los gastos promedios para 3.4, 4.25, 5.667, 8.5 y 17 años de periodo de retorno, los cuales corresponden a los periodos de retorno para los cuales se tienen valores medidos reales en la estación, esto se hace con la finalidad de comparar los resultados con los distintos métodos existentes.
- 4) A cada uno de los gastos promedios les corresponden gastos medios diarios (gastos individuales), los cuales se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_1 = Q_{med_1}$$

$$Q_2 = 2 * Q_{med_2} - Q_1$$

$$Q_3 = 3 * Q_{med_3} - (Q_1 + Q_2)$$

...

...

$$Q_d = d * Q_{med_d} - \left(\sum_{i=1}^{d-1} Q_i \right)$$

- 5) A continuación se reordenaron los gastos cumpliendo con que el promedio máximo de n valores máximos consecutivos resultará igual al gasto promedio máximo correspondiente al periodo de retorno que se analiza.
- 6) Finalmente se calculo el volumen total, el volumen antes del pico y el volumen después del pico.

Estos resultados se pueden observar en las tablas siguientes:

¹ Programa AX EXE Elaborado por Martín Jiménez Espinoza, CENAPRED, Mayo 1992

Tabla 4.4.3.1 Gastos medios máximos anuales

Año	Qm1	Qm2	Qm3	Qm4	Qm5	Qm6	Qm7	Qm8	Qm9	Qm10
1967	996.2	778.1	625.6	634.5	606.2	578.7	551.7	520.2	492.9	467.5
1968	843.9	816.8	747.6	693.7	661.2	625.5	584.5	559.4	542.5	528.2
1969	758.8	575.3	478.8	423.9	377.8	355.1	328.9	308.8	307.0	305.4
1970	647.6	628.0	580.6	527.0	475.3	436.8	412.8	393.1	376.4	365.8
1971	665.0	634.9	539.6	499.0	460.4	414.9	373.7	337.8	314.8	311.1
1972	1218.5	1121.6	928.1	769.7	663.3	584.5	522.1	472.1	474.4	483.7
1973	2685.8	2043.8	1617.6	1403.3	1208.9	1054.9	935.6	840.0	767.0	740.9
1974	1085.8	934.1	724.3	617.7	554.7	507.6	473.2	446.6	424.4	408.2
1975	858.0	778.1	732.1	742.9	716.6	693.4	653.1	616.6	598.4	599.7
	*1	*1	*1	*1	*2	*3	*3	*3	*3	*3

*1 Mejor ajuste Distribución Exponencial (momentos)

*2 Mejor ajuste Distribución Log-normal (momentos) 2.p.

*3 Mejor ajuste Distribución Log-normal (máx. ver) 3.p.

Tabla 4.4.3.2 Gastos promedios máximos para distintos periodos de retorno.

Tr	Qm1	Qm2	Qm3	Qm4	Qm5	Qm6	Qm7	Qm8	Qm9	Qm10
3.4	1225.3	1024.7	851.7	765.5	718.8	661.8	610.4	568.2	545.5	535.4
4.25	1365.8	1125.7	928.3	829.6	769.8	708.5	653.1	607.9	585.8	573.2
5.667	1547.0	1255.5	1027.0	912.2	834.6	767.8	707.3	658.2	652.5	621.2
8.5	1802.2	1439.6	1166.1	1028.5	925.3	850.9	783.3	728.8	700.8	688.6
17	2238.7	1753.4	1403.9	1227.5	1081	994.1	914.0	850.3	818.8	805.2

A continuación se muestran las Tablas de gastos promedios máximos, gastos diarios, volumen total, volumen antes y volumen después para distintos periodos de retorno.

Tabla 4.4.3.3 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 3.4 años.

Tr = 3.4	Gasto promedio máximo	Gasto diario
	1225.31	1225.31
	1024.75	824.18
	851.74	505.72
	765.57	507.06
	718.84	531.92
	661.81	376.65
	610.42	302.08
	568.21	272.74
	545.52	364.00
	535.47	445.01
V_t	462.646 E+06	
V_a	200.135 E+06	
V_d	262.511 E+06	

Tabla 4.4.2.4 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 4.25 años.

<i>Tr = 4.25</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	1365.82	1365.82
	1125.79	885.76
	928.31	533.34
	829.61	533.51
	769.89	531.01
	708.56	401.90
	653.19	320.97
	607.94	291.18
	583.86	391.21
	573.24	477.66

<i>Vt</i>	495.279 E+06
<i>Va</i>	212.49 E+06
<i>Vd</i>	282.782 E+06

Tabla 4.4.3.5 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 5.667 años.

<i>Tr = 5.667</i>	<i>Gasto promedio máximo</i>	<i>Gasto diario</i>
	1547.01	1547.01
	1255.51	964.01
	1027.04	570.10
	912.2	567.67
	834.61	524.24
	767.84	433.99
	707.39	344.69
	658.29	314.58
	632.53	426.45
	621.22	519.42

<i>Vt</i>	536.734 E+06
<i>Va</i>	228.009 E+06
<i>Vd</i>	308.725 E+06

Tabla 4.4.3.6 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 8.5 años.

$Tr = 8.5$	Gasto promedio máximo	Gasto diario
	1802.29	1802.29
	1439.62	1076.95
	1166.14	619.18
	1028.55	615.78
	925.31	512.34
	850.93	479.03
	783.31	377.58
	728.81	347.31
	700.85	477.16
	688.65	578.85

Vt	594.994 E+06
Va	249.474 E+06
Vd	345.519 E+06

Tabla 4.4.3.7 Gastos promedios anuales y gastos diarios para un periodo de retorno de 17 años.

$Tr = 17$	Gasto promedio máximo	Gasto diario
	2238.75	2238.75
	1753.45	1268.15
	1403.97	705.01
	1227.5	698.08
	1081.65	498.25
	994.18	556.83
	914.07	433.41
	850.30	403.90
	818.87	567.43
	805.29	683.06

Vt	695.771 E+06
Va	287.148 E+06
Vd	408.622 E+06

CAPÍTULO 5

***Comparación entre los
métodos existentes y el
propuesto***



5.1 COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS EXISTENTES Y EL MÉTODO DE ESTIMACIÓN CONJUNTA (PROPUESTO).

A continuación se hace un resumen con los resultados estimados a partir de cada uno de los métodos conocidos, en los que se obtienen valores para Q_p , V_t , V_p y V_d para los distintos periodos de retorno correspondientes a los observados en cada una de las estaciones de estudio y así poder contar tanto con valores observados como con los estimados, con la finalidad de comparar éstos y los obtenidos por medio de la estimación conjunta. También se hizo un análisis del error cuadrático mínimo obtenido para cada método.

En las tablas siguientes se pueden observar cada uno de valores estimados para cada metodología y sus errores cuadráticos.

Los resultados se pueden visualizar en las gráficas correspondientes, las cuales se anexan.

Tabla 5.1 Comparación entre el Qp observado y los estimados por los distintos métodos.

ALAMOS					
Tr	Qp Observado	Qp Est. Conj.	Qp Mayoración	Qp Instituto de I	Qp NERC
4,2	199,28	169	209,33	209,33	125,25
5,25	240	185,2	251,67	251,67	144,51
7	258,75	205,46	259	259	173,42
10,5	260,71	233,25	266,02	266,02	211,96
21	271,01	279,54	276,14	276,14	279,4
	(Qi-Qcal)^2	916,8784	101,0025	101,0025	5480,4409
		3003,04	136,1889	136,1889	9118,3401
		2839,8241	0,0625	0,0625	7281,2089
		754,0516	28,1961	28,1961	2376,5625
		72,7609	26,3169	26,3169	70,3921
	error	7586,555	291,7669	291,7669	24326,9445
BAMICORI					
Tr	Qp Observado	Qp Est. Conj.	Qp Mayoración	Qp Instituto de I	Qp NERC
6,2	70,0535	69	65,782	65,782	155,67
7,75	71,28	74	75,307	75,307	173,98
10,333	79,58	80	88,491	88,491	192,29
15,5	94,97	89	108,947	108,947	238,08
31	142,55	104	149,316	149,316	311,34
	(Qi-Qcal)^2	1,10986225	18,24571225	18,24571225	7330,185072
		7,3984	16,216729	16,216729	10547,29
		0,1764	79,405921	79,405921	12703,5441
		35,6409	195,356529	195,356529	20480,4721
		1486,1025	45,778756	45,778756	28490,0641
	error	1530,428062	355,0036473	355,0036473	79551,55537
SAN IGNACIO					
Tr	Qp Observado	Qp Est. Conj.	Qp Mayoración	Qp Instituto de I	Qp NERC
3,4	1326,74	1332	1225,31	1225,31	410,47
4,25	1455,97	1433	1365,82	1365,82	485,1
5,667	1611,19	1559	1547,01	1547,01	597,05
8,5	2081,11	1729	1802,24	1802,29	746,31
17	2654,45	2010	2238,75	2238,75	1007,52
	(Qi-Qcal)^2	27,6676	10288,0449	10288,0449	839550,7129
		527,6209	8127,0225	8127,0225	942588,5569
		2723,7961	4119,0724	4119,0724	1028479,94
		123981,4521	77768,4769	77740,5924	1781691,04
		415315,8025	172806,49	172806,49	2712378,425
	error	542576,3392	273109,1067	273081,2222	7304688,674
	SUM(ERROR)	551693,4223	273755,8772	273727,9927	7408567,174
		2,015274805	1	0,999898141	27,06267806

Tabla 5.2 Comparación entre el Vi observado y los estimados por los distintos métodos.

ALAMOS					
Tr	Vi	Vi	Vi	Vi	Vi
	Observado	Est. Conj.	Mayoración	Instituto de I	NERC
4,2	30,3126	37,3	67,3	51,111	10,8
5,25	25,1321	40,7	80,9	58,142	12,5
7	54,376	44,99	83,3	67,1	15
10,5	36,1783	50,92	85,5	79,538	18,3
21	64,9758	60,9715	88,8	100,259	24,1
	(Vi-Vca) ²	48,82375876	1368,067759	432,5734426	380,7415588
		242,3595104	3110,05867	1089,653498	159,5699504
		88,096996	836,597776	161,900176	1550,469376
		217,3177189	2432,630091	1880,063584	319,6336109
		16,03441849	567,5925056	1244,904202	1670,831026
	error	612,6324026	8314,946802	4809,094903	4081,245522
BAMICORI					
Tr	Vi	Vi	Vi	Vi	Vi
	Observado	Est. Conj.	Mayoración	Instituto de I	NERC
6,2	7,3195	6,8619	6,8	11,96	13,4
7,75	7,6196	7,3186	7,8	12,997	15
10,333	7,2507	7,8996	9,1	14,147	16,6
15,5	8,4603	8,6966	11,3	15,584	20,6
31	13,3929	10,0361	15,4	17,804	26,9
	(Vi-Vca) ²	0,20939776	0,26988025	21,53424025	36,97248025
		0,090601	0,03254416	28,91643076	54,47030416
		0,42107121	3,41991049	47,55895369	87,40941049
		0,05583769	8,06389609	50,74710169	147,3723161
		11,26810624	4,02845041	19,45780321	182,4417504
	error	12,0450139	15,8146814	168,2145296	508,6662614
SANIGNACIO					
Tr	Vi	Vi	Vi	Vi	Vi
	Observado	Est. Conj.	Mayoración	Instituto de I	NERC
3,4	265,6238	287,3031	267,3	462,646	35,5
4,25	187,1433	306,61	297,9	495,279	41,9
5,667	302,2788	329,1438	337,4	536,734	51,6
8,5	359,2011	361,2869	393,1	594,994	64,5
17	442,8199	413,9774	488,3	695,771	87
	(Vi-Vca) ²	469,9920485	2,80964644	38817,74729	52956,96333
		14272,29241	12267,04639	94947,60961	21095,61619
		721,728225	1233,498689	54969,24081	62839,86077
		4,35056164	1149,135421	55598,29169	86848,73834
		831,8898063	2068,439496	63984,25899	126607,8012
	error	16300,25305	16720,92985	308317,1484	350348,9799
	SUM(ERRO)	16924,93047	25051,69133	313294,4578	354938,8917
		1	1,480165096	18,51082688	20,97136484

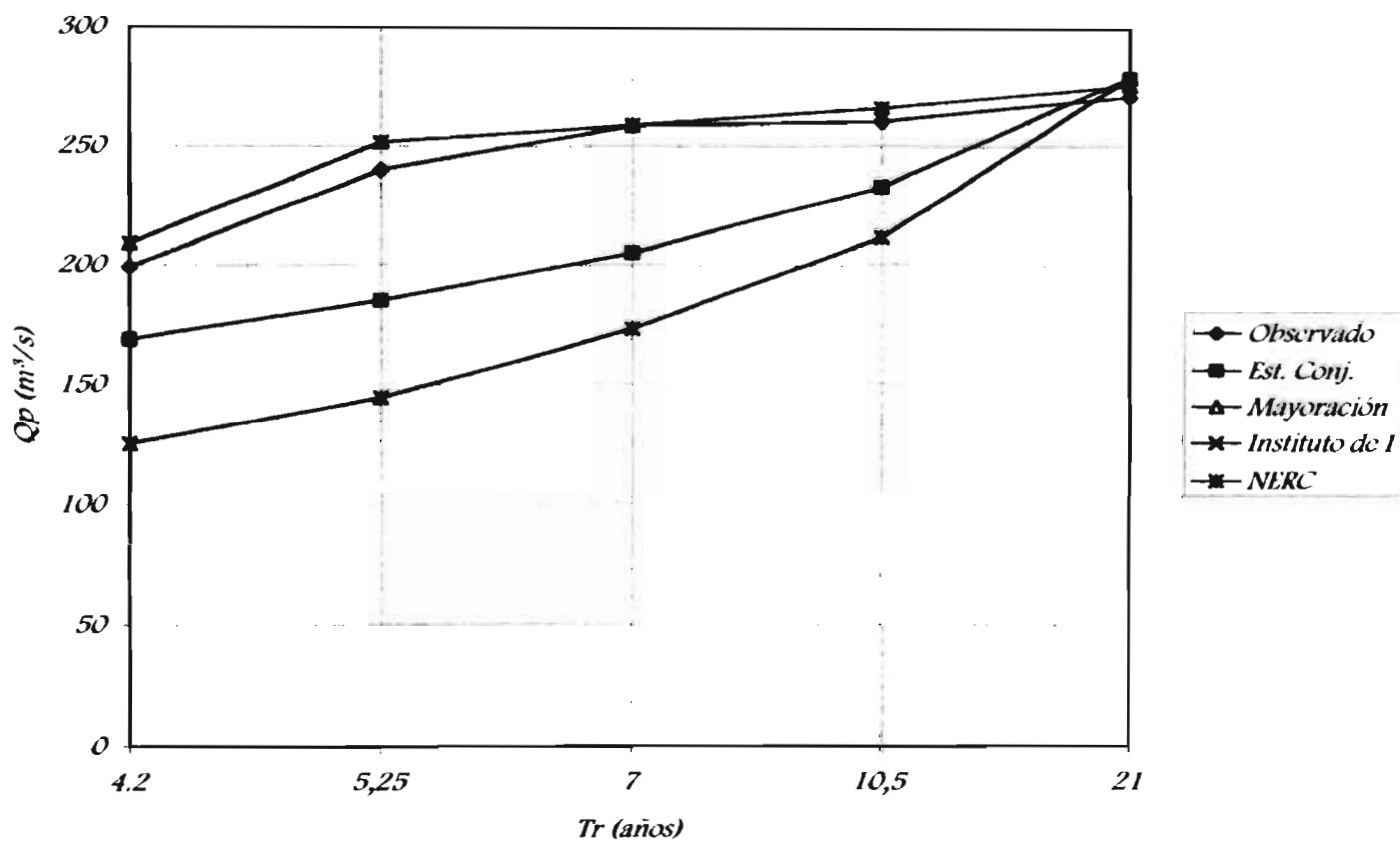
Tabla 5.3 Comparación entre el Vp observado y los estimados por los distintos métodos.

ALAMOS					
Tr	Vp Observado	Vp Est. Conj.	Vp Mayoración	Vp Instituto de I	Vp NERC
4.2	8,6089	18,42	10,8	19,23	3,7
5,25	11,023	20,09	13	22,8	4,2
7	23,1937	22,21	13,3	27,4	5,1
10,5	11,2627	25,17	13,7	34,5	6,2
21	15,6021	30,2684	14,2	46,6	8,2
	(Vi-Vca)^2	96,25768	4,800919	112,807765	24,0973
		82,21049	3,908529	138,697729	46,55333
		0,967666	97,8853	17,6929597	327,382
		193,413	5,940431	539,972111	25,63093
		215,1004	1,965884	960,869804	54,79108
	error	587,9492	114,5011	1770,04037	478,4546
BAMICORI					
Tr	Vp Observado	Vp Est. Conj.	Vp Mayoración	Vp Instituto de I	Vp NERC
6,2	3,0535	4,1764	2,8	4,55	6,2
7,75	3,132	4,4515	3,3	5,14	6,9
10,333	3,8128	4,7994	3,8	5,92	7,6
15,5	4,3576	5,281	4,7	7,13	9,5
31	6,1582	6,0896	6,5	9,45	12,4
	(Vi-Vca)^2	1,260904	0,064262	2,23951225	9,900462
		1,74108	0,028224	4,032064	14,19782
		0,97338	0,000164	4,44029184	14,34288
		0,852668	0,117238	7,68620176	26,44428
		0,004706	0,116827	10,8359472	38,96007
	error	4,832738	0,326715	29,2340171	103,8455
ANIGNACIO					
Tr	Vp Observado	Vp Est. Conj.	Vp Mayoración	Vp Instituto de I	Vp NERC
3,4	80,3062	102,6233	85,3	200	12,8
4,25	64,9923	110,7632	95	212,49	15,1
5,667	128,4816	120,8441	107,6	228	18,6
8,5	127,4922	134,5289	125,4	249,47	23,2
17	177,6937	157,1274	155,8	287,62	31,3
	(Vi-Vca)^2	498,053	24,93804	14326,6058	4557,087
		2094,975	900,4621	21755,5715	2489,242
		58,33141	436,0412	9903,91194	12073,97
		49,51515	4,377301	14878,5837	10876,86
		422,9727	479,3341	12083,7914	21431,12
	error	3123,847	1845,153	72948,4643	51428,27
	SUM(ERROR)	3716,629	1959,98	74747,7387	52010,57
		1,896258	1	38,1369809	26,53627

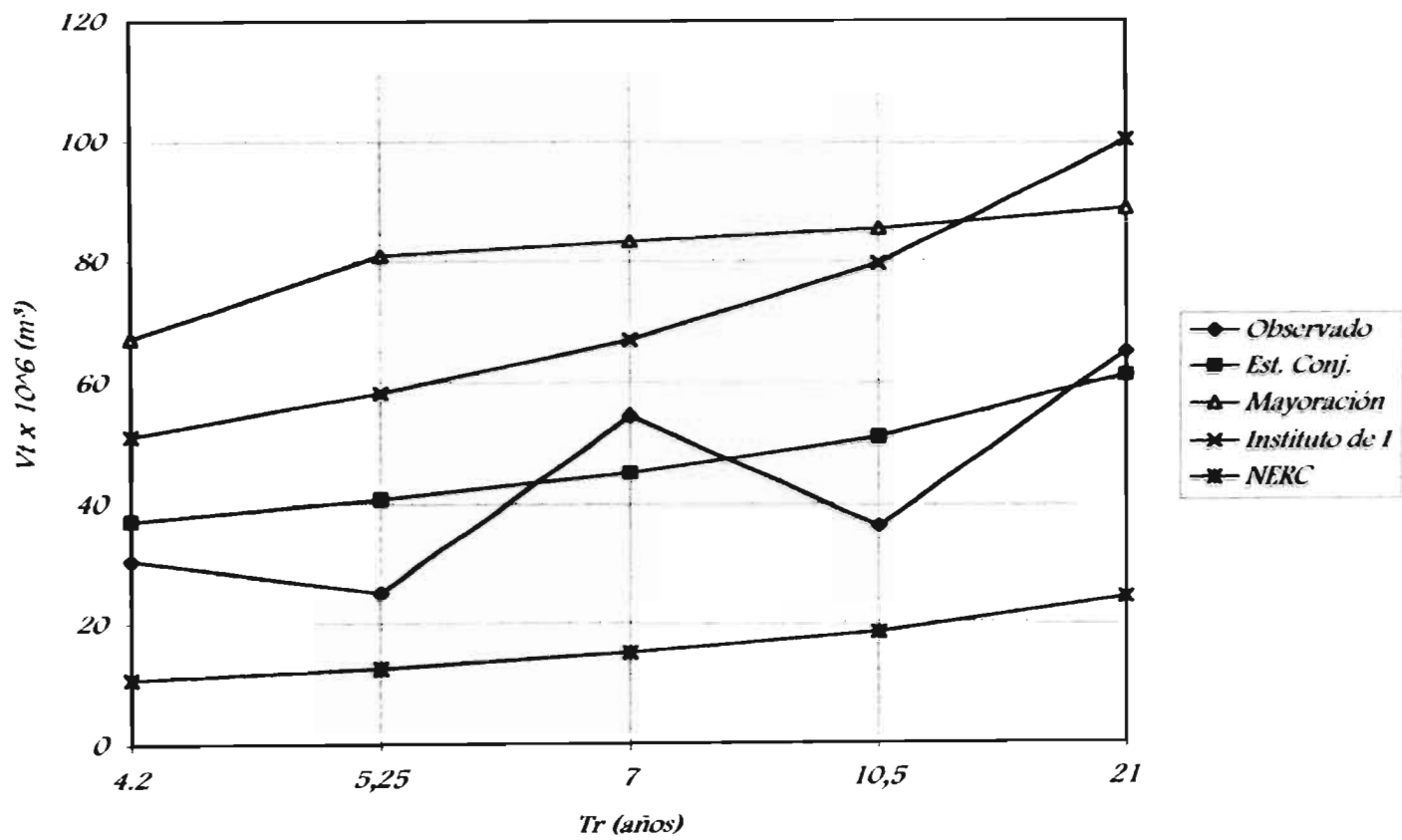
Tabla 5.4 Comparación entre el Vd observado y los estimados por los distintos métodos.

ALAMOS					
Tr	Vd Observado	Vd Est. Conj.	Vd Mayoración	Vd Instituto de I	Vd NERC
4,2	21,7037	18,88	56,5	31,877	7,1
5,25	14,1091	20,61	67,9	32,254	8,2
7	31,1787	22,78	69,9	39,659	9,9
10,5	24,9156	25,75	71,8	44,974	12,1
21	49,3737	30,7	74,5	53,603	15,9
	(Vi-Vca) ²	7,97328169	1210,782494	103,4960329	213,2680537
		42,26170081	2893,460923	329,237396	34,91746281
		70,53816169	1499,339074	71,91548809	452,7830737
		0,69622336	2198,146963	402,3394106	164,2396034
		348,7070717	631,3309517	17,88697849	1120,488592
	error	470,1764392	8433,060405	924,875306	1985,696785
BAMICORI					
Tr	Vd Observado	Vd Est. Conj.	Vd Mayoración	Vd Instituto de I	Vd NERC
6,2	4,266	2,6855	4	7,41	7,3
7,75	4,4876	2,8671	4,5	7,855	8,1
10,333	3,4379	3,1002	5,3	8,223	9
15,5	4,1027	3,4156	6,5	8,455	11,1
31	7,2347	3,9465	9	8,436	14,5
	(Vi-Vca) ²	2,49798025	0,070756	9,884736	9,205156
		2,62602025	0,00015376	11,33938276	13,04943376
		0,11404129	3,46741641	22,89718201	30,93695641
		0,47210641	5,74704729	18,94251529	48,96220729
		10,81225924	3,11628409	1,44312169	52,78458409
	error	16,52240744	12,40163755	64,50693775	154,9383376
SALVIGNACIO					
Tr	Vd Observado	Vd Est. Conj.	Vd Mayoración	Vd Instituto de I	Vd NERC
3,4	185,3176	184,6798	182	262,15	22,7
4,25	122,151	195,8468	202,9	282,782	26,8
5,667	173,7966	208,2997	229,8	308,725	33
8,5	231,7089	226,758	267,7	345,519	41,3
17	265,1262	256,85	332,5	408,622	55,7
	(Vi-Vca) ²	0,40678884	5903,21769	26444,48383	26444,48383
		5431,070938	25802,31816	9091,813201	9091,813201
		1190,46391	18205,67313	19823,68257	19823,68257
		24,51141081	12952,73886	36255,5492	36255,5492
		68,49548644	20591,04462	43859,33325	43859,33325
	error	6714,948533	83454,99246	135474,862	135474,862
	SUM(ERROR)	7201,64738	91900,45452	136464,2443	137615,4972
	1	1	12,76103226	18,94903167	19,10889133

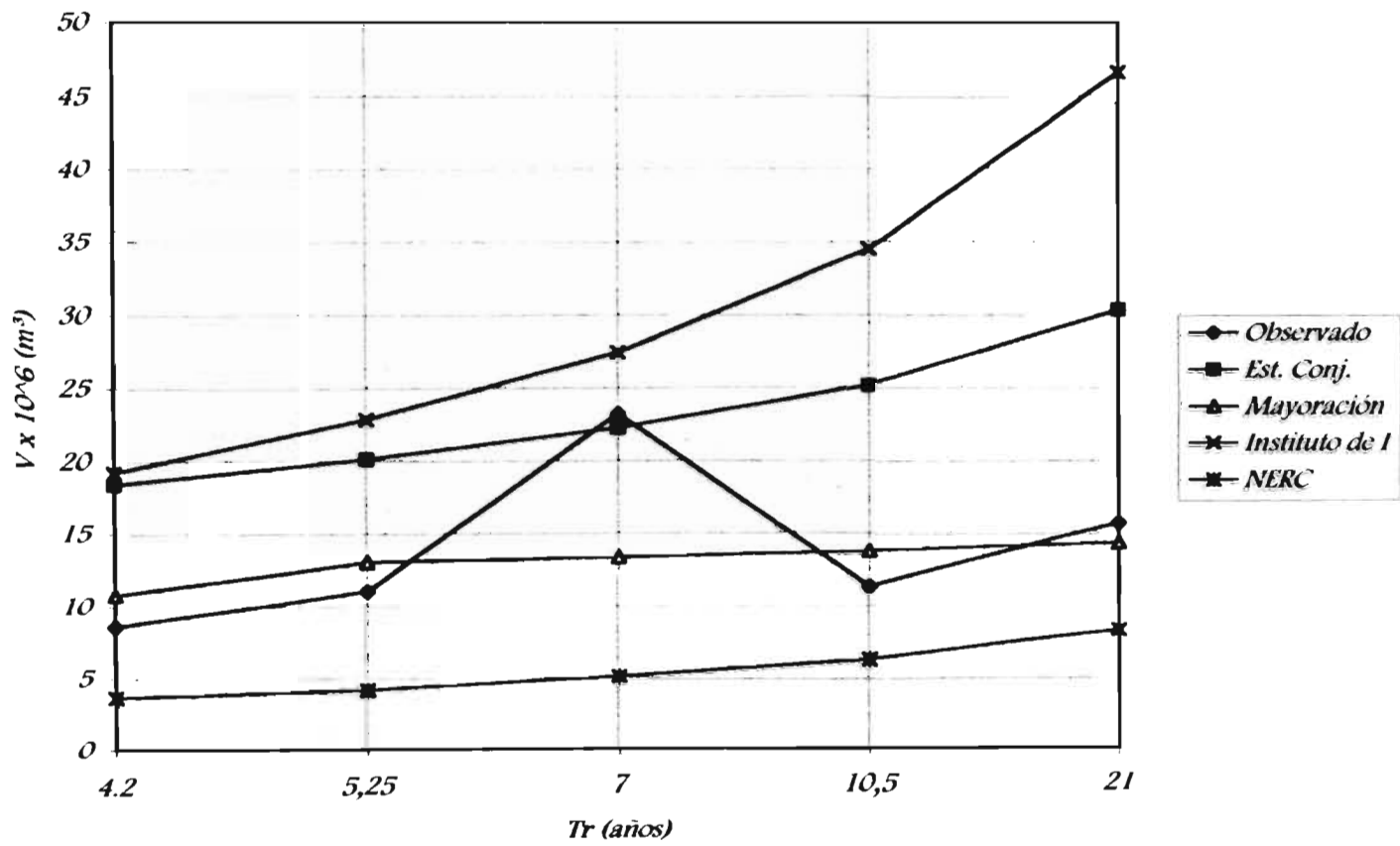
Gráfica 5.1.1 Comparación entre los distintos métodos para calcular Q_p
(ESTACION ALAMOS) $A = 2270 \text{ Km}^2$



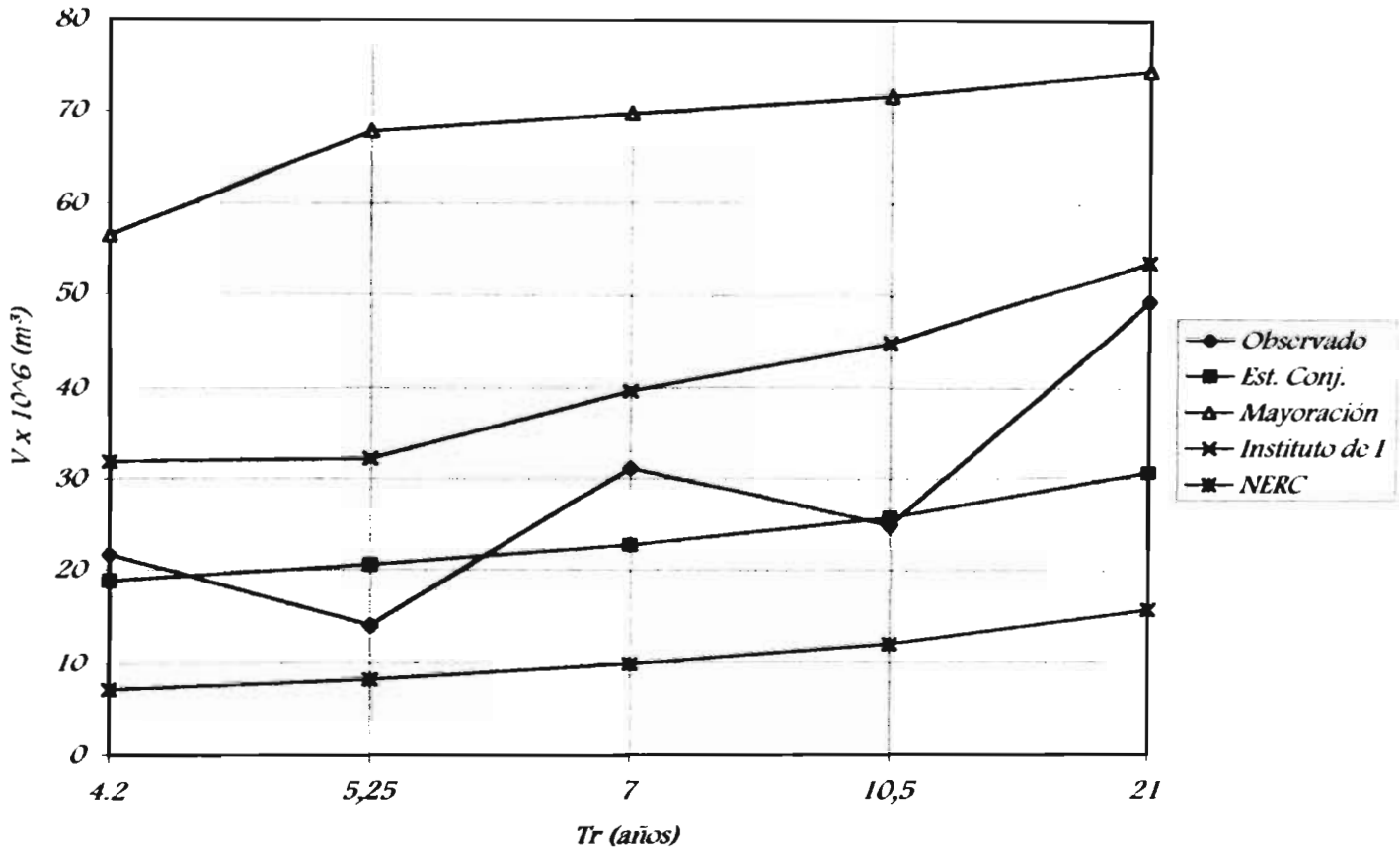
Gráfica 5.1.2 Comparación entre los distintos métodos para calcular Vt
(ESTACION ALAMOS)



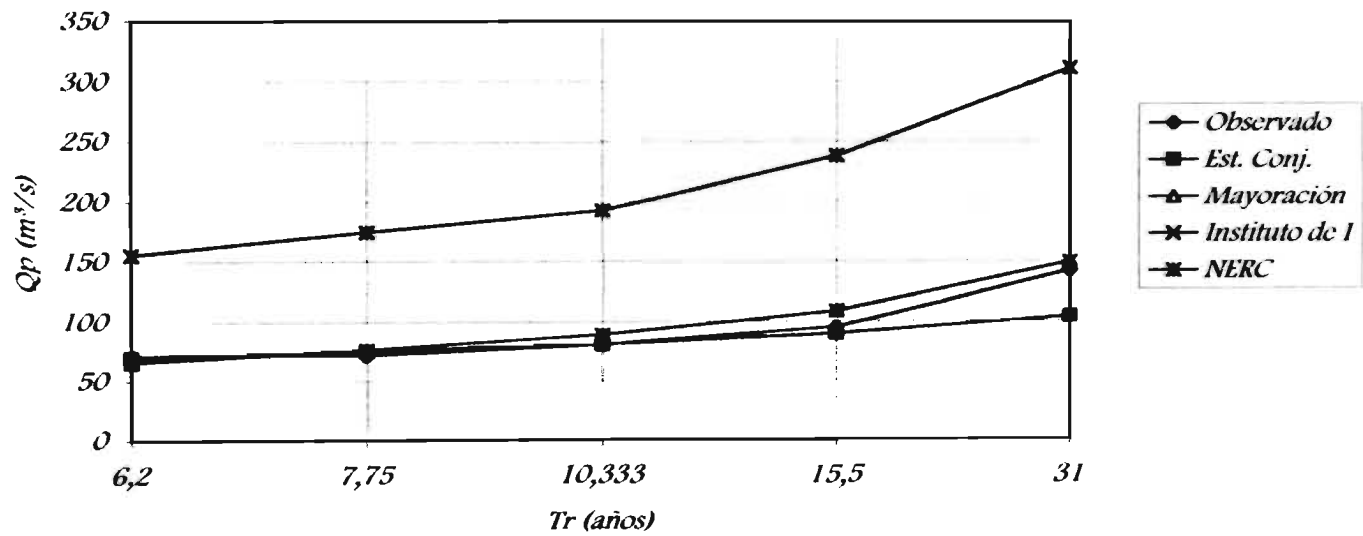
Gráfica 5.1.3 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_p
(ESTACION ALAMOS)



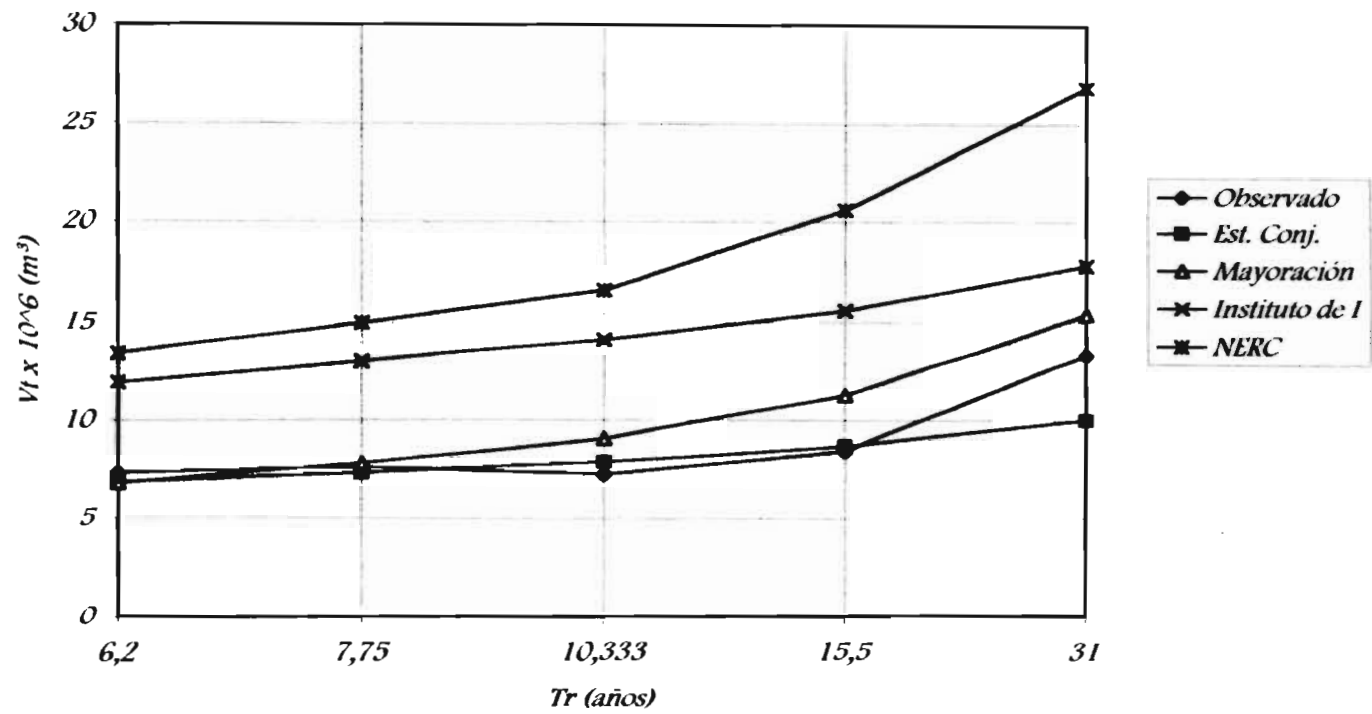
Gráfica 5.1.4 Comparación entre los distintos métodos para calcular Vd (ESTACION ALAMOS)



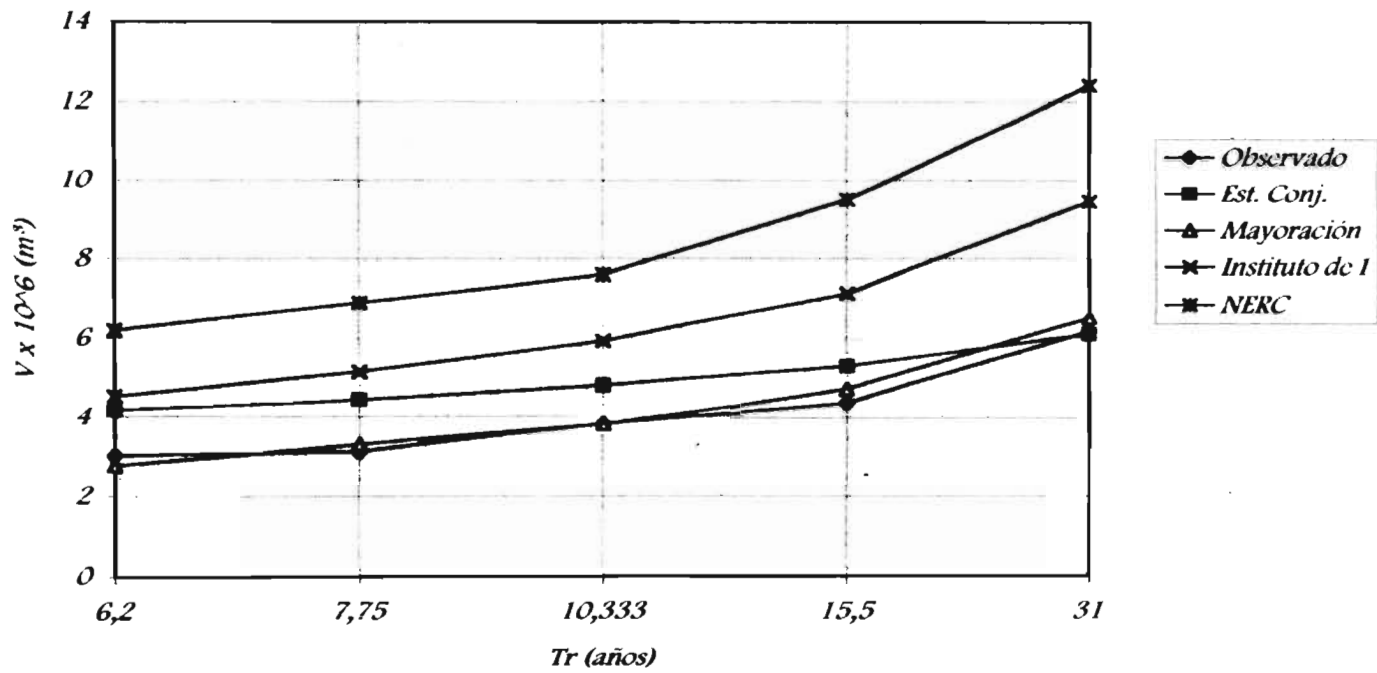
*Gráfica 5.1.5 Comparación entre los distintos métodos para calcular Q_p
(ESTACION BAMICORI) $A = 223 \text{ Km}^2$*



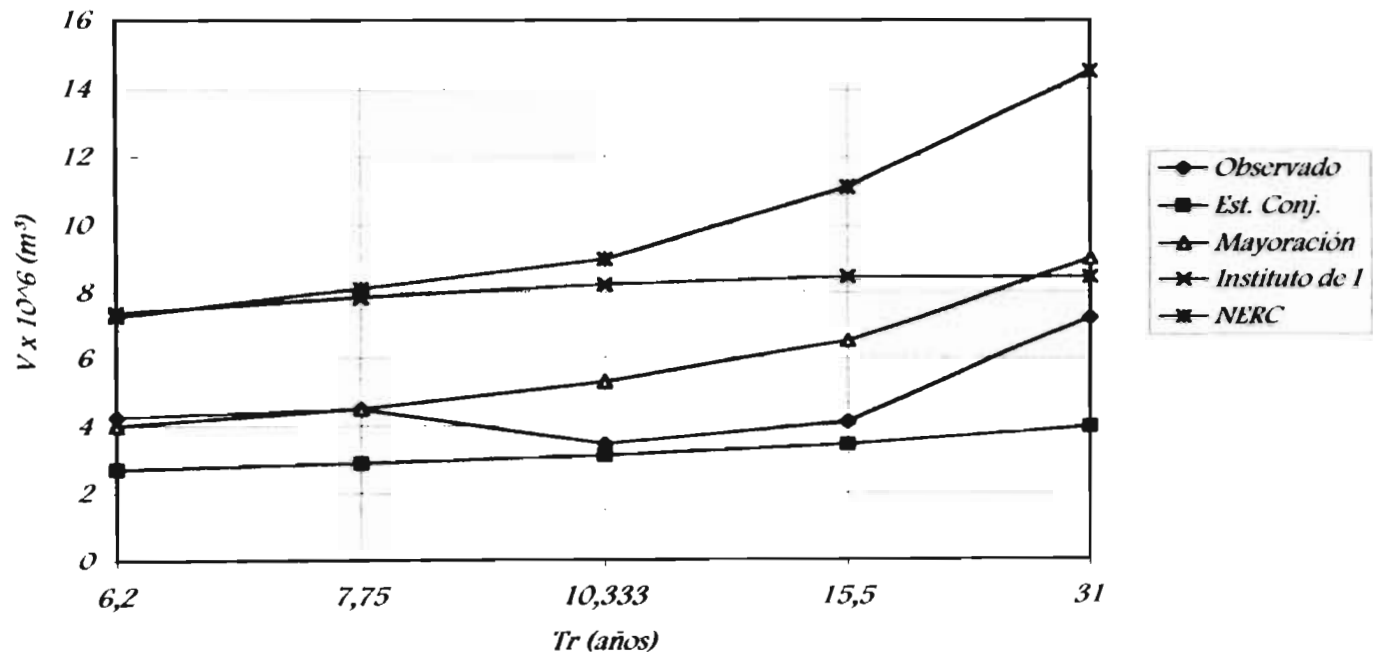
**Gráfica 5.1.6 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_t
(ESTACION BAMICORI)**



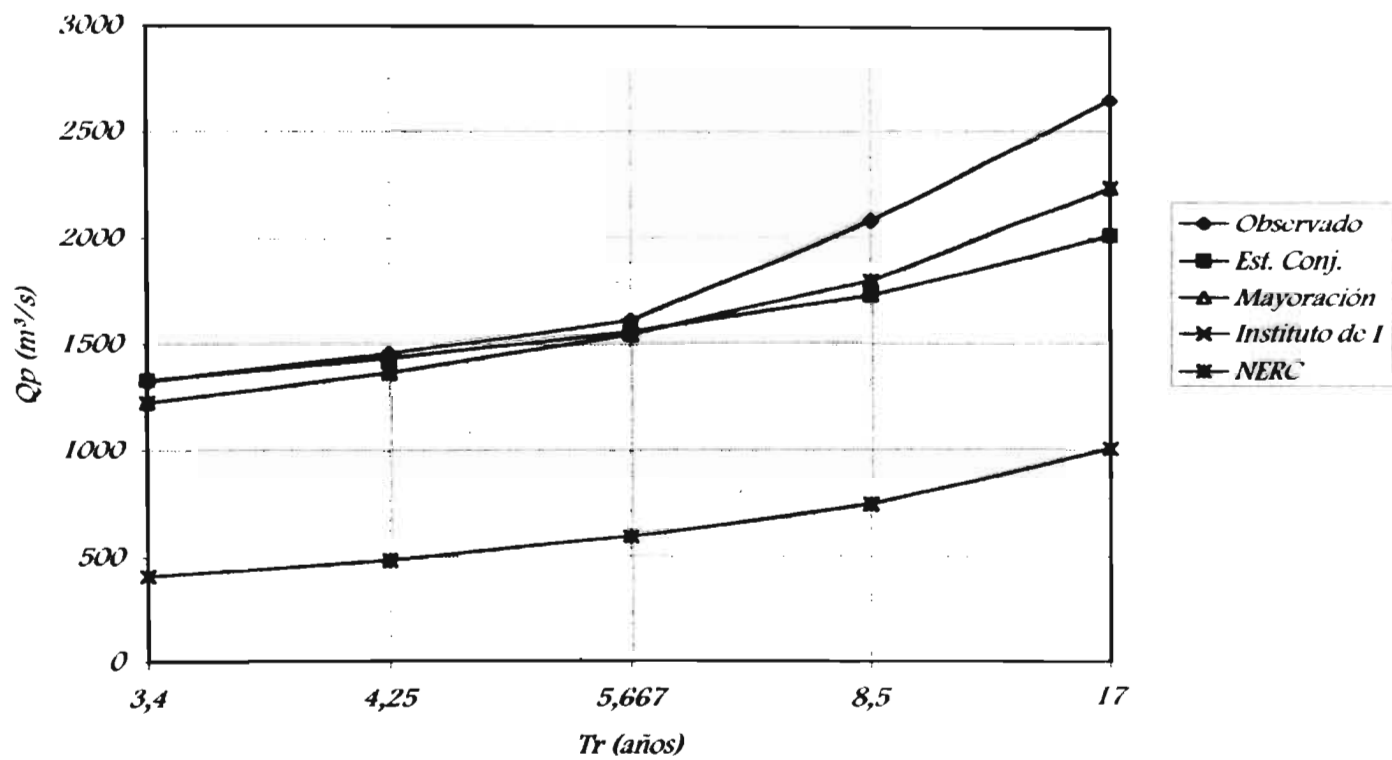
**Gráfica 5.1.7 Comparación entre los distintos métodos para calcular Vp
(ESTACION BAMICORI)**



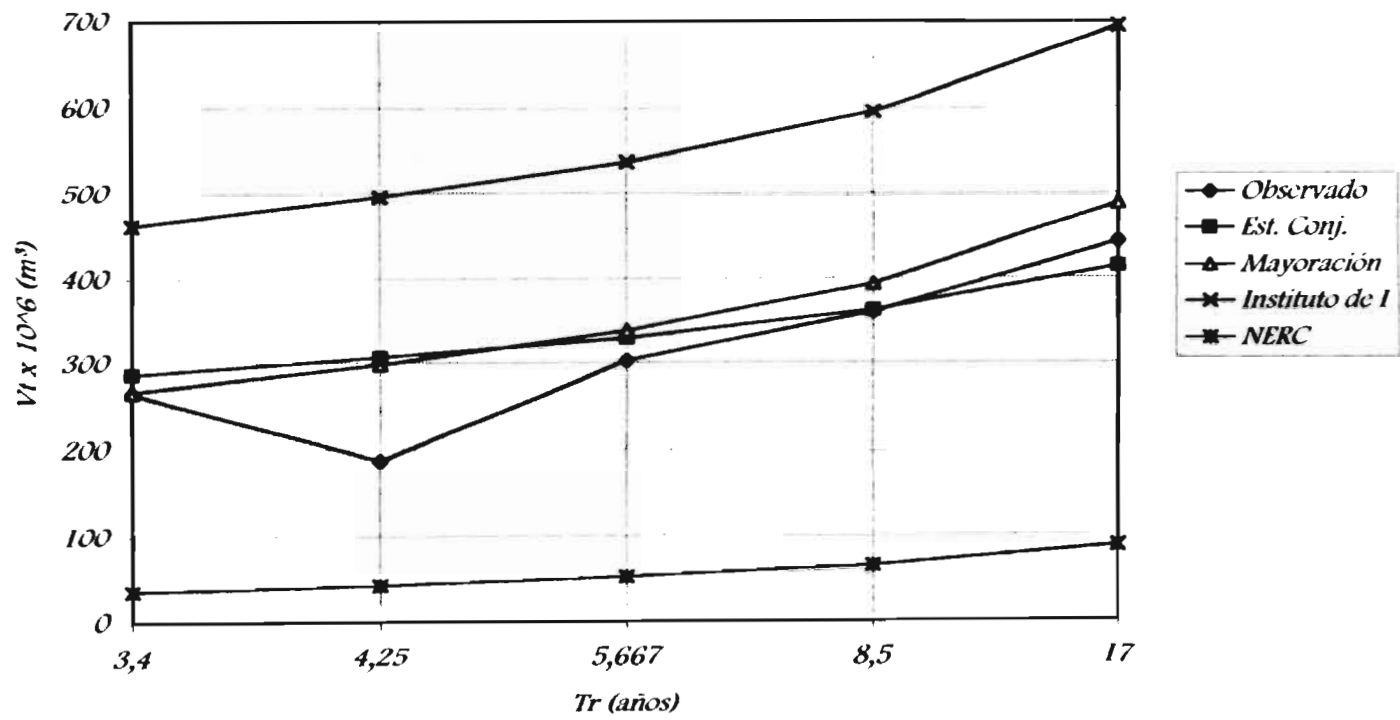
**Gráfica 5.1.8 Comparación entre los distintos métodos para calcular Vd
(ESTACION BAMICORI)**



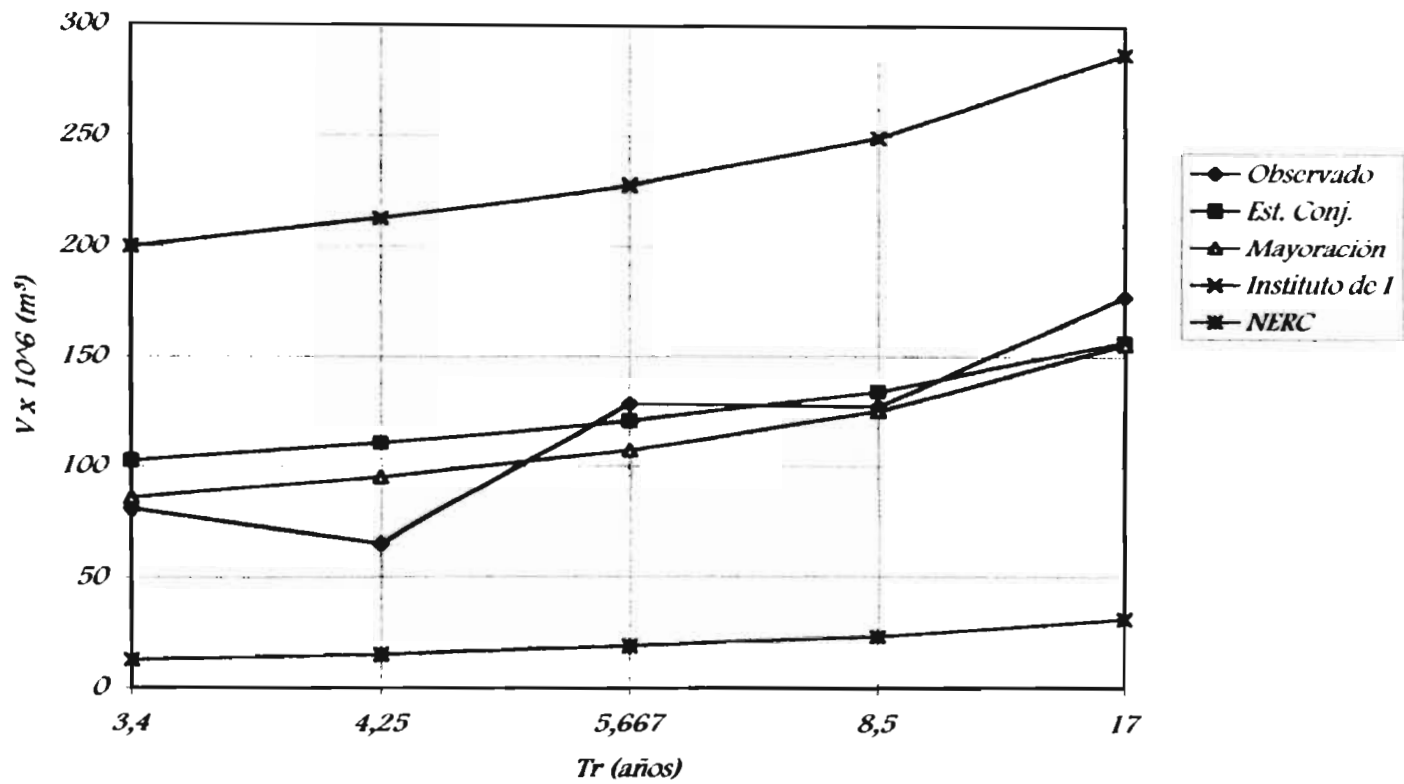
Gráfica 5.1.9 Comparación entre los distintos métodos para calcular Q_p
(ESTACION SAN IGNACIO) $A = 10920 \text{ Km}^2$



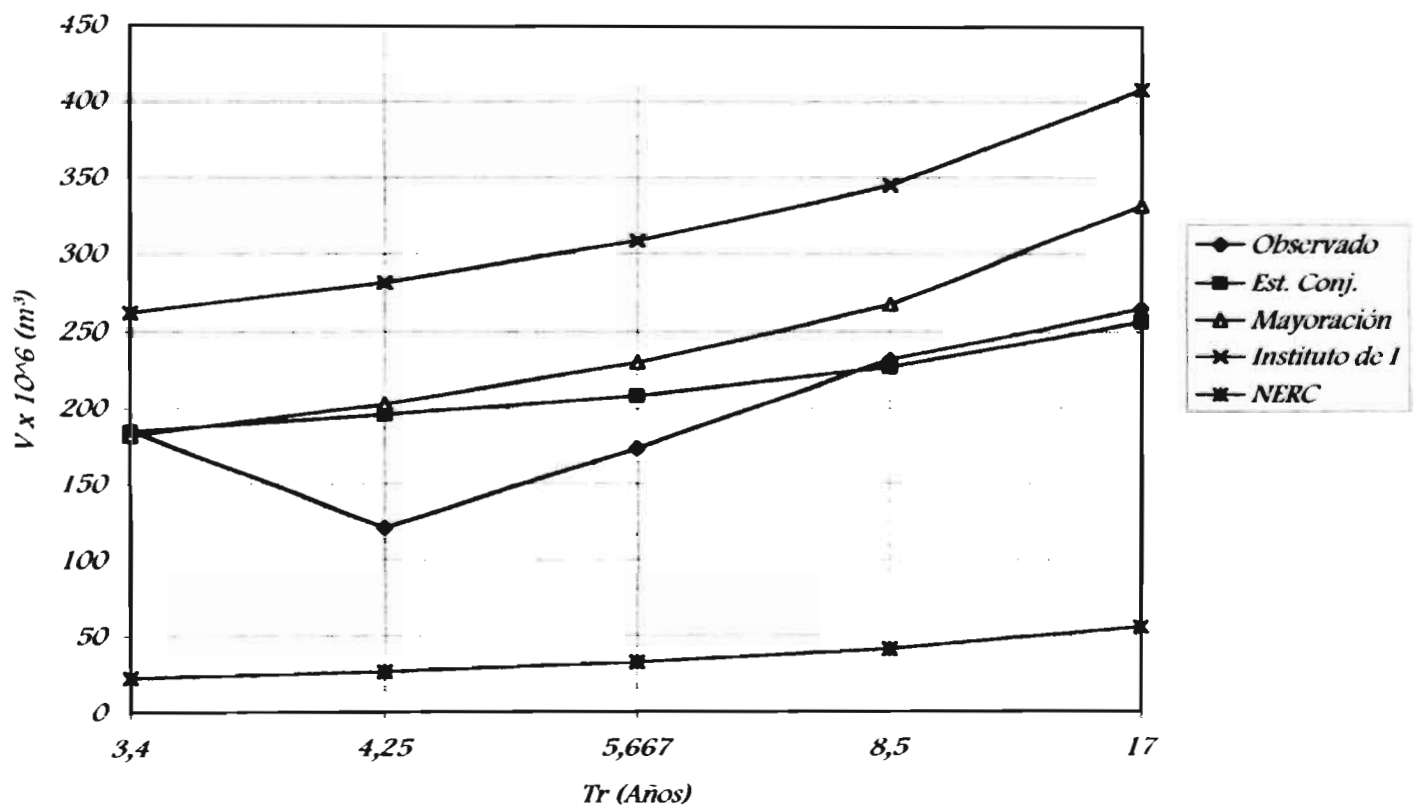
**Gráfica 5.1.10 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_t
(ESTACION SAN IGNACIO)**



Gráfica 5.1.11 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_p
(ESTACION SAN IGNACIO)



Grafica 5.1.12 Comparación entre los distintos métodos para calcular Vd (ESTACION SAN IGNACIO)



5.2 *DISCUSIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS DISTINTAS TÉCNICAS COMPARADOS CONTRA LOS DATOS OBSERVADOS.*

En este punto se quiere hacer notar la importancia que tiene el hecho de conocer las variables involucradas en una avenida como son: el gasto de pico, el volumen total y los volúmenes antes y después del pico.

El saber de antemano el gasto máximo que se puede presentar en una avenida ha sido desde siempre uno de los parámetros básicos en el diseño de obras y es, a partir de este que se calcula el volumen esperado, el cual en muchas ocasiones puede estar sobrestimado o subestimado, a pesar de ser una variable en algunos casos tan importante e incluso más importante que el gasto mismo, aunado a esto conocer su magnitud antes y después de presentado el pico máximo también es de fundamental importancia ya que proporciona gran ayuda en el dimensionamiento de obras de excedencia.

Al analizar los resultados que fueron obtenidos aplicando las distintas técnicas, se puede percatar de que existen grandes diferencias entre ellos, lo cual lleva consigo una indecisión y es la referente al método que se debe aplicar para obtener los resultados más satisfactorios, motivo por el cual se hizo la comparación entre ellos de la cual se desprenden las siguientes consideraciones:

Para la obtención del gasto de pico (Q_p), se nota que los resultados arrojados por los distintos métodos son en magnitud muy semejantes, pero si se analizan con mayor detalle se encuentra que el método de Estimación Conjunta, es de los que mejor describen a este evento, siendo el de la NERC el más deficiente.

Esta similitud entre resultados era de esperarse debido a que la mayor parte de estos métodos tiene su fundamento en el cálculo del gasto de pico, pero ¿Qué sucede con el resto de las variables?.

Revisando los resultados de las tablas y gráficas anteriores, se halla que el método que mejor describe al volumen total (V_t), es el de Estimación Conjunta, y es a partir de aquí donde las diferencias entre los distintos métodos empiezan a ser considerables, llegando incluso a ser extremas para algunos de ellos ¿Por qué?, posiblemente a que éstos no consideran como punto básico al volumen y lo calculan de manera secundaria, diferencia esencial entre el método de Estimación Conjunta y el resto.

Con respecto a lo que sucede con los volúmenes antes y después del pico, estos resultados son más críticos, ya que las diferencias existentes entre estos y los observados son más serias, siendo el método de Estimación Conjunta el que mejor respuesta tiene, la justificación es debida a que en éste se hace una separación para calcular de manera secuencial a los volúmenes antes y después del pico.

De todas las comparaciones realizadas y los resultados obtenidos, se puede afirmar que el método de Estimación Conjunta tiende a describir al evento de manera bastante cercana a la realidad, siempre tomando en cuenta que se trata de un pronóstico probabilístico.

Por consiguiente y para fines comparativos, en el siguiente apartado se pronosticaran eventos de diseño, los cuales serán obtenidos con las distintas técnicas y comparados entre sí, se tomará como referencia al método de Estimación Conjunta debido a que fue el que obtuvo los mejores resultados.

5.3 OBTENCIÓN DE GASTOS Y VOLÚMENES DE DISEÑO PARA 50, 100 Y 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO, USANDO LOS DISTINTOS MÉTODOS DISPONIBLES.

A continuación se usaran los métodos vistos anteriormente para obtener eventos de diseño y así poder tener una idea de la magnitud de las variables involucradas obtenidas por cada uno de éstos..

En esta sección se agregara la técnica desarrollada en Sudáfrica, la cual no se uso anteriormente debido a que en su aplicación considera la estimación de eventos de diseño con periodos de retorno de 50 años en adelante, tratar de obtener valores para los periodos de retorno observados en cada estación cae fuera del alcance de este trabajo, pero de ser necesario se puede consultar la referencia.

Por simplicidad se omiten los cálculos realizados para obtener estos valores, pero su procedimiento es idéntico al utilizado en el apartado anterior.

A continuación se presenta un resumen con tales valores y sus respectivas gráficas, las cuales serán comentadas al final de la sección.

Tabla 5.5 Qp de diseño calculado utilizando los distintos métodos

ALAMOS

Tr	Qp (1) Sudafricano	Qp(2) Sudafricano	Qp(3) Sudafricano	Qp Est. Conj.	Qp Mayoración	Qp Instituto de I	Qp NERC
50	832,83	664,002	430,6185	336,36	288,8986	288,8986	385,385
100	1188,316	970,2258	664,002	381,33	301,197	301,197	491,366
500	2416,23	2050,835	1513,01	487,13	356,2	356,2	770,771

BAMICORI

Tr	Qp (1) Sudafricano	Qp(2) Sudafricano	Qp(3) Sudafricano	Qp Est. Conj.	Qp Mayoración	Qp Instituto de I	Qp NERC
50	150,937	126,681	90,63	105,94	181,956	181,956	366,2824
100	198,689	169,854	126,6816	121	236,247	236,247	467,01
500	343,961	303,001	239,497	155,89	398,259	398,259	732,5648

SAN IGNACIO

Tr	Qp (1) Sudafricano	Qp(2) Sudafricano	Qp(3) Sudafricano	Qp Est. Conj.	Qp Mayoración	Qp Instituto de I	Qp NERC
50	2538,236	2332,411	1984,257	2510	2918,07	2918,07	1492,626
100	2898,402	2687,12	2332,41	2962,86	3354,53	3354,53	1903,098
500	3777,541	3553,267	3171,907	3581,05	4367,99	4367,99	2985,253

Tabla 5.6 *Vt de diseño calculado utilizando los distintos métodos*

<i>ALAMOS</i>							
<i>Tr</i>	<i>Vi (1)</i>	<i>Vi (2)</i>	<i>Vi (3)</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>
	<i>Sudafricano</i>	<i>Sudafricano</i>	<i>Sudafricano</i>	<i>Est. Conj.</i>	<i>Mayoración</i>	<i>Instituto de I</i>	<i>NERC</i>
<i>50</i>	<i>135,871</i>	<i>158,1311</i>	<i>179,558</i>	<i>73,57</i>	<i>92,9</i>	<i>124,99</i>	<i>33,3</i>
<i>100</i>	<i>185,474</i>	<i>218,394</i>	<i>253,843</i>	<i>83,93</i>	<i>96,8</i>	<i>143,19</i>	<i>42,5</i>
<i>500</i>	<i>362,133</i>	<i>418,1938</i>	<i>502,089</i>	<i>109,28</i>	<i>114,5</i>	<i>175,49</i>	<i>66,6</i>
<i>BAMICORI</i>							
<i>Tr</i>	<i>Vi (1)</i>	<i>Vi (2)</i>	<i>Vi (3)</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>
	<i>Sudafricano</i>	<i>Sudafricano</i>	<i>Sudafricano</i>	<i>Est. Conj.</i>	<i>Mayoración</i>	<i>Instituto de I</i>	<i>NERC</i>
<i>50</i>	<i>16,232</i>	<i>18,149</i>	<i>19,928</i>	<i>13,05</i>	<i>18,8</i>	<i>192,508</i>	<i>31,6</i>
<i>100</i>	<i>20,409</i>	<i>23,016</i>	<i>25,71</i>	<i>14,55</i>	<i>24,4</i>	<i>212,95</i>	<i>40,3</i>
<i>500</i>	<i>33,392</i>	<i>37,122</i>	<i>42,467</i>	<i>18,04</i>	<i>41,2</i>	<i>259,36</i>	<i>63,3</i>
<i>SAN IGNACIO</i>							
<i>Tr</i>	<i>Vi (1)</i>	<i>Vi (2)</i>	<i>Vi (3)</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>	<i>Vi</i>
	<i>Sudafricano</i>	<i>Sudafricano</i>	<i>Sudafricano</i>	<i>Est. Conj.</i>	<i>Mayoración</i>	<i>Instituto de I</i>	<i>NERC</i>
<i>50</i>	<i>375,216</i>	<i>420,494</i>	<i>460,316</i>	<i>463,88</i>	<i>636,5</i>	<i>859,66</i>	<i>129</i>
<i>100</i>	<i>411,427</i>	<i>462,023</i>	<i>508,909</i>	<i>505,85</i>	<i>731,7</i>	<i>970,88</i>	<i>164,4</i>
<i>500</i>	<i>496,708</i>	<i>560,092</i>	<i>621,258</i>	<i>627,41</i>	<i>952,99</i>	<i>1246,71</i>	<i>257,9</i>

Tabla 5.7 Vp de diseño calculado utilizando los distintos métodos

ALAMOS

Tr

	Vp (1) Sudafricano	Vp (2) Sudafricano	Vp (3) Sudafricano	Vp Est. Conj.	Vp Mayoración	Vp Instituto de I	Vp NERC
50	53,888	58,59	69,268	36,73	14,9	61,45	11,3
100	68,136	81,035	97,184	42,31	15,5	72,27	14,4
500	139,678	168,301	195,082	56,58	18,3	91,05	22,6

BAMICORI

Tr

	Vp (1) Sudafricano	Vp (2) Sudafricano	Vp (3) Sudafricano	Vp Est. Conj.	Vp Mayoración	Vp Instituto de I	Vp NERC
50	5,669	6,062	6,971	8,54	7,9	11,3	14,6
100	7,789	8,602	9,318	9,54	10,2	14,3	18,6
500	10,524	13,784	15,273	11,86	17,2	22,98	29,1

SAN IGNACIO

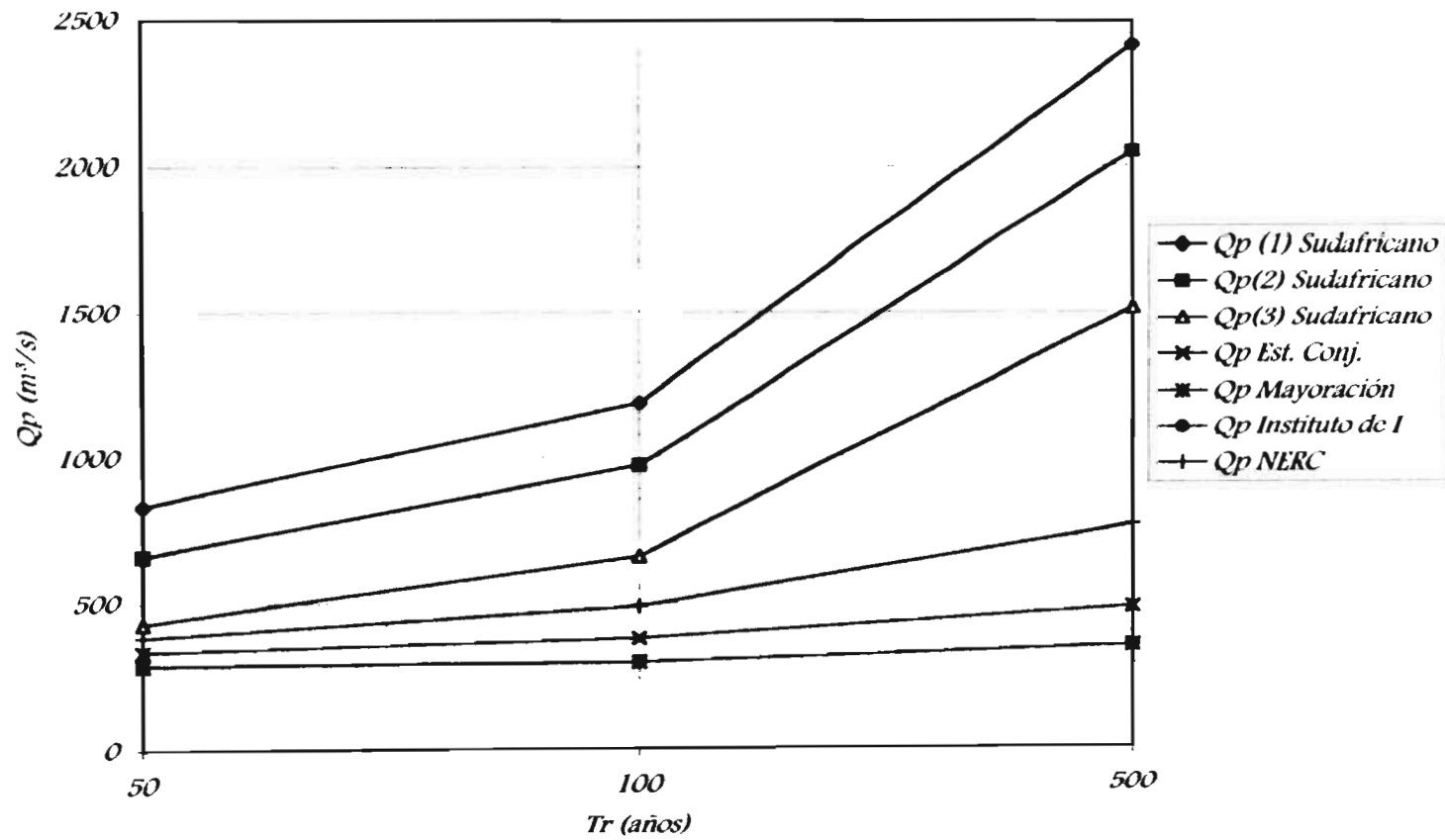
Tr

	Vp (1) Sudafricano	Vp (2) Sudafricano	Vp (3) Sudafricano	Vp Est. Conj.	Vp Mayoración	Vp Instituto de I	Vp NERC
50	149,6521	156,952	185,196	191,38	203,1	320,7	46,4
100	151,804	167,086	190,06	215,15	233,4	350,16	59,2
500	182,982	215,086	236,939	269,69	303,9	421,64	92,9

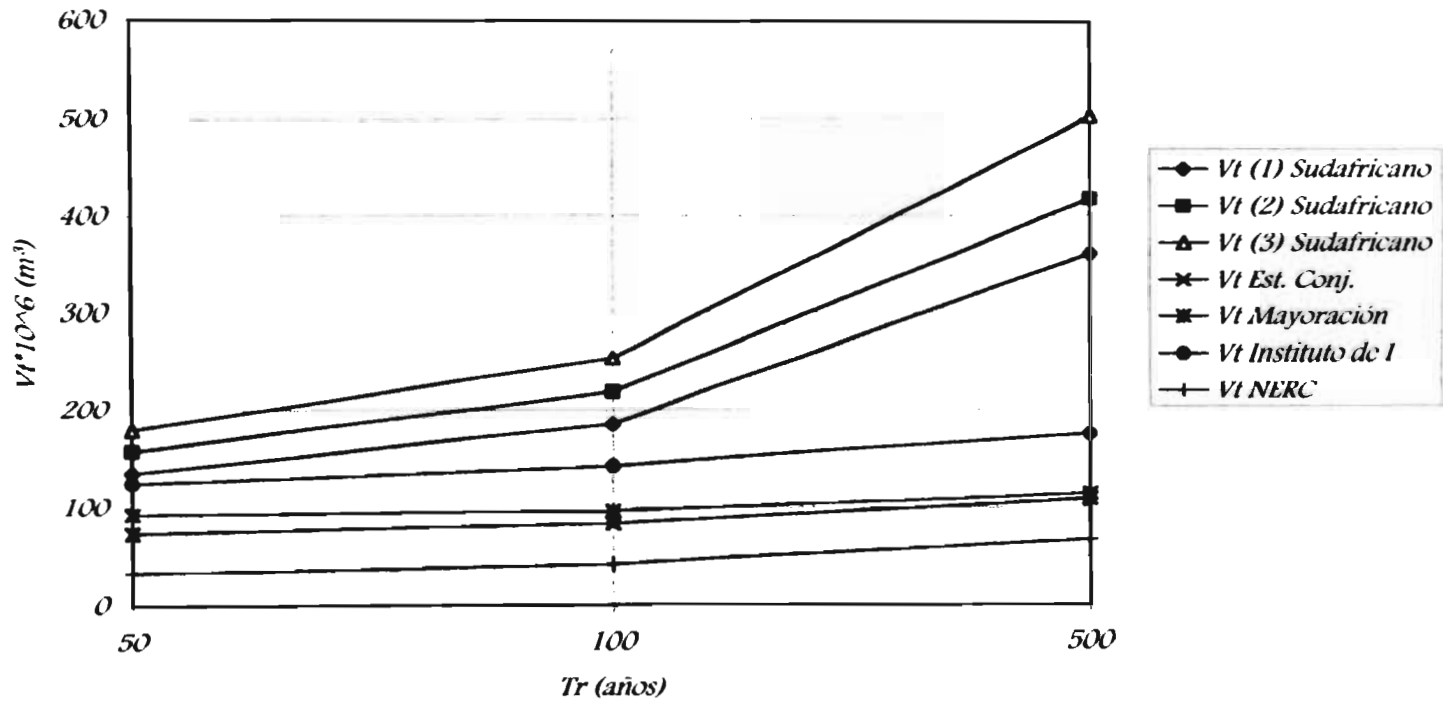
Tabla 5.8 Vd de diseño calculado utilizando los distintos métodos

ALAMOS							
Tr	Vd (1)	Vd (2)	Vd (3)	Vd	Vd	Vd	Vd
	Sudafricano	Sudafricano	Sudafricano	Est. Conj.	Mayoración	Instituto de I	NERC
50	81,983	77,281	66,602	36,84	78	63,5	22
100	117,338	104,438	88,29	41,62	81,3	70,9	28
500	222,455	193,832	167,05	52,7	96,2	84,4	44
BAMICORI							
Tr	Vd (1)	Vd (2)	Vd (3)	Vd	Vd	Vd	Vd
	Sudafricano	Sudafricano	Sudafricano	Est. Conj.	Mayoración	Instituto de I	NERC
50	10,563	10,17	9,26	4,51	10,9	7,95	17,1
100	12,619	11,806	11,09	5,01	14,2	6,99	21,8
500	22,867	19,607	18,118	6,18	23,9	2,95	34,2
SAN IGNACIO							
Tr	Vd (1)	Vd (2)	Vd (3)	Vd	Vd	Vd	Vd
	Sudafricano	Sudafricano	Sudafricano	Est. Conj.	Mayoración	Instituto de I	NERC
50	225,563	218,2636	190,019	272,5	433,4	538,95	82,5
100	259,622	244,341	221,366	290,7	498,2	620,719	105,2
500	313,726	281,622	259,769	357,72	648,8	825,06	165,1

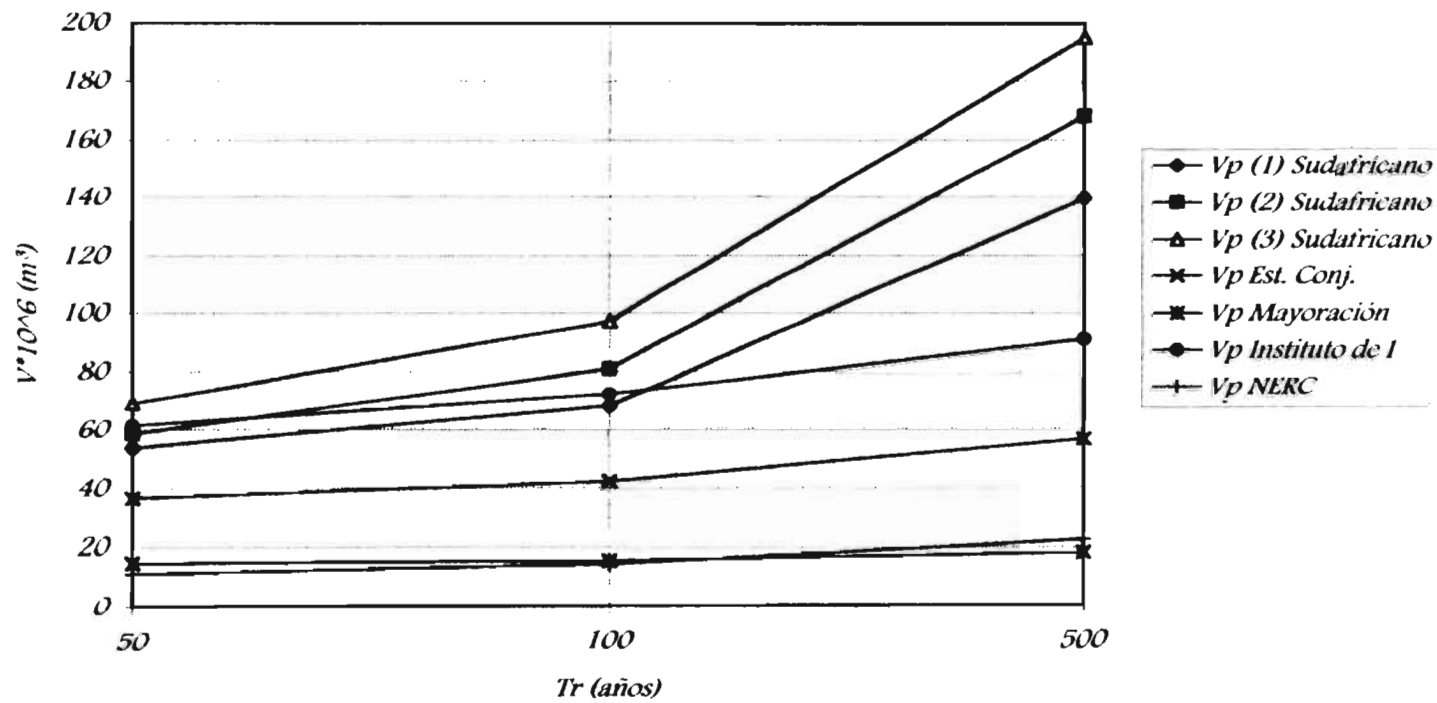
Gráfica 5.2.1 Comparación entre los distintos métodos para calcular Q_p de diseño (ESTACION ALAMOS)



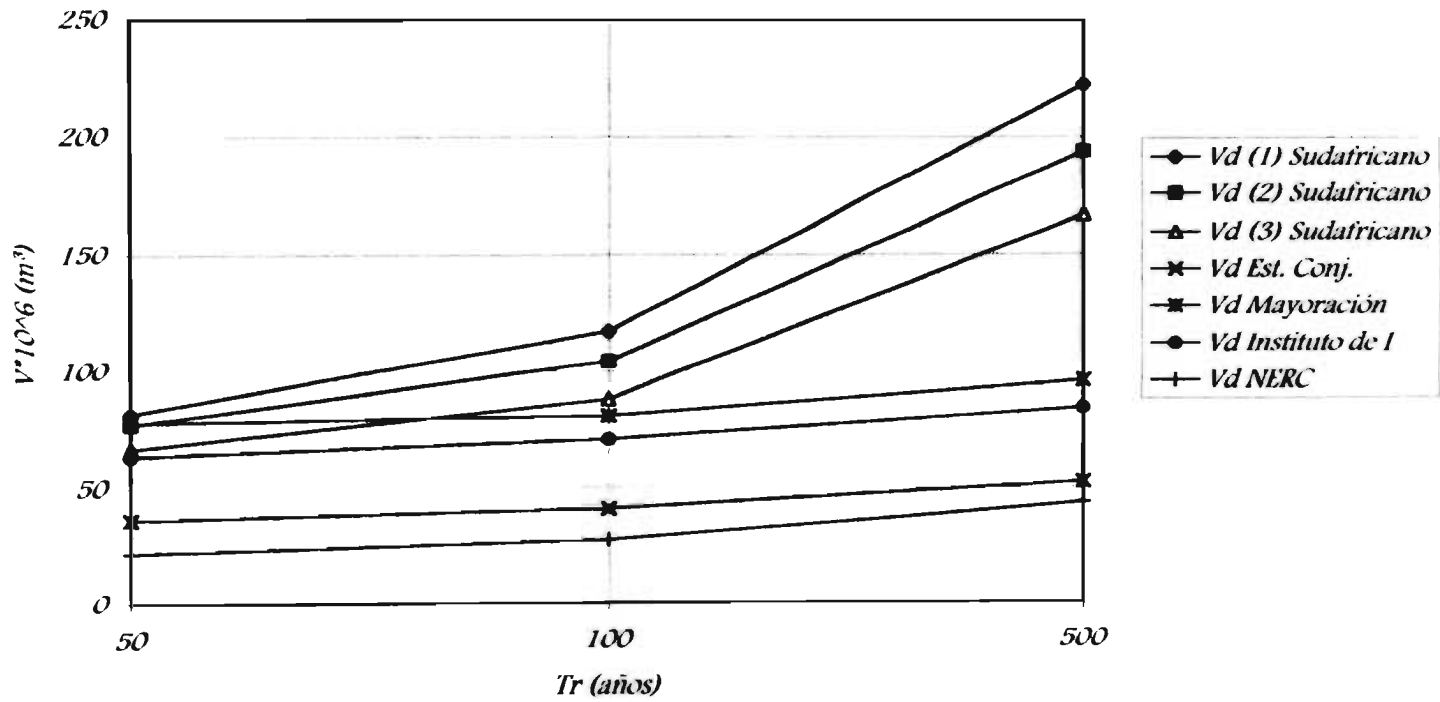
Gráfica 5.2.2 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_t de diseño (ESTACION ALAMOS)



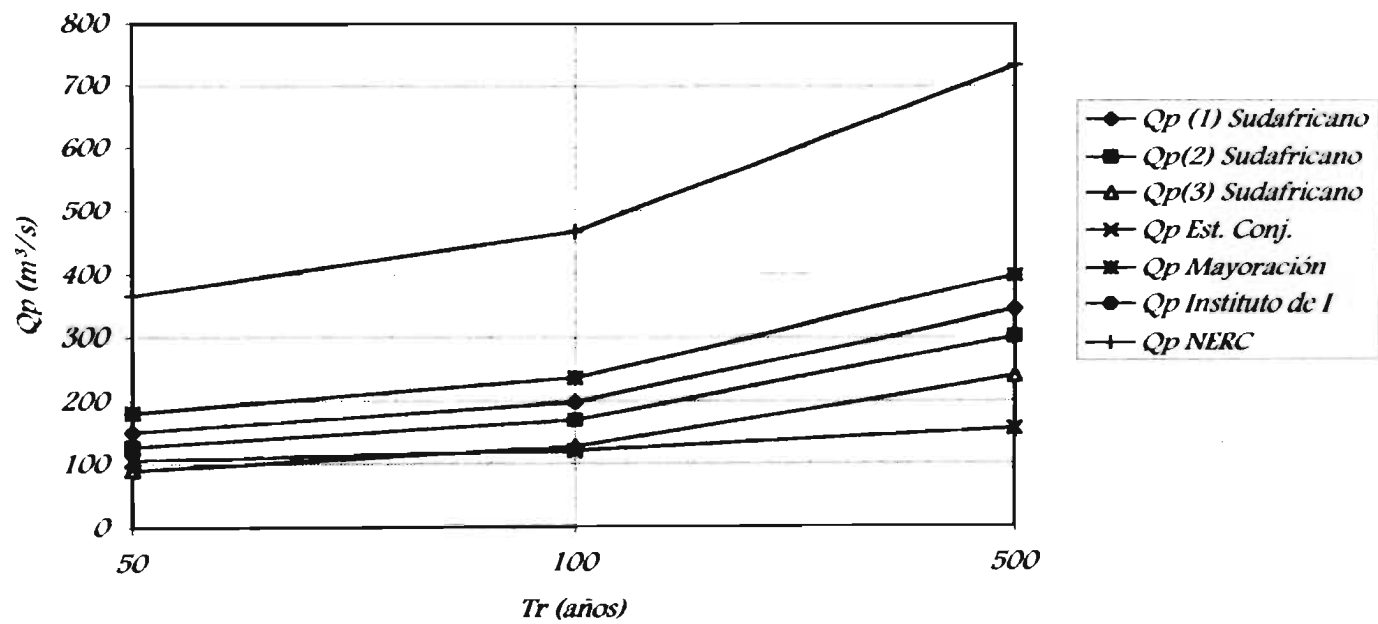
Gráfica 5.2.3 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_p de diseño
(ESTACION ALAMOS)



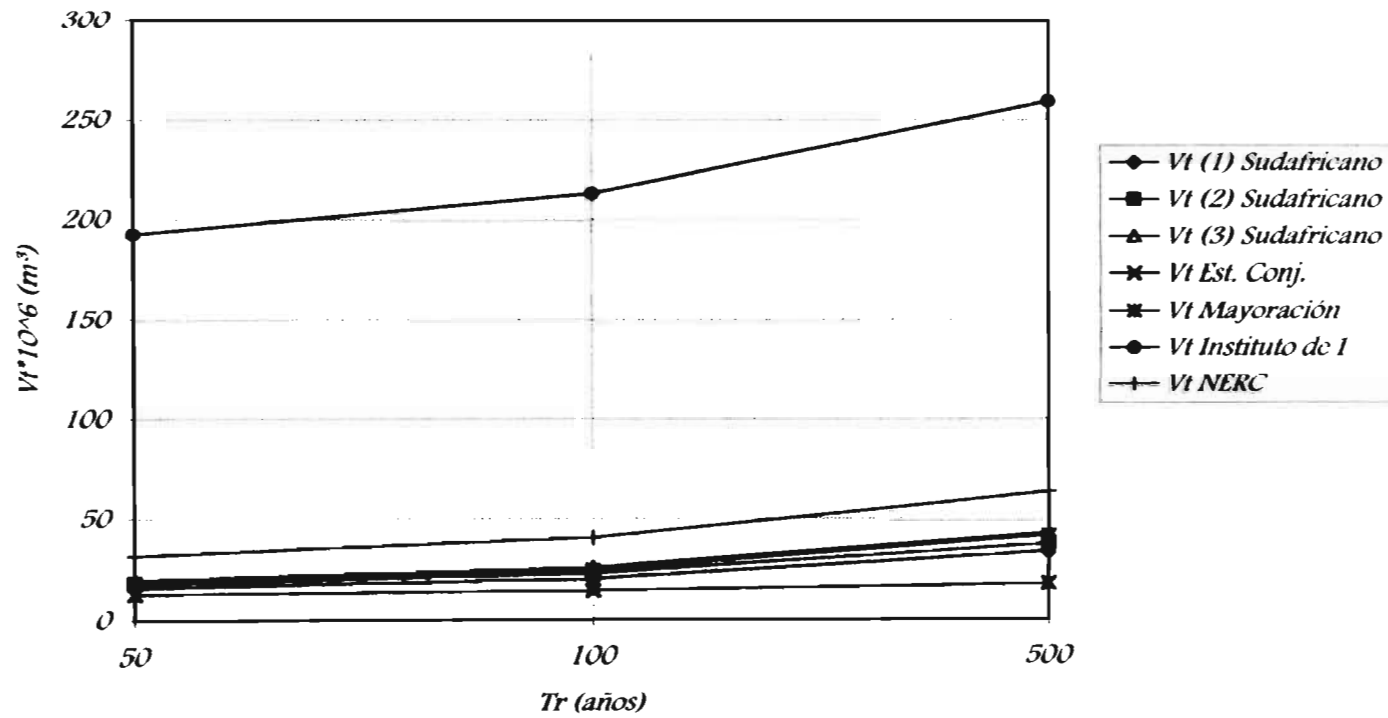
Gráfica 5.2.4 Comparación entre los distintos métodos para calcular Vd de diseño
(ESTACION ALAMOS)



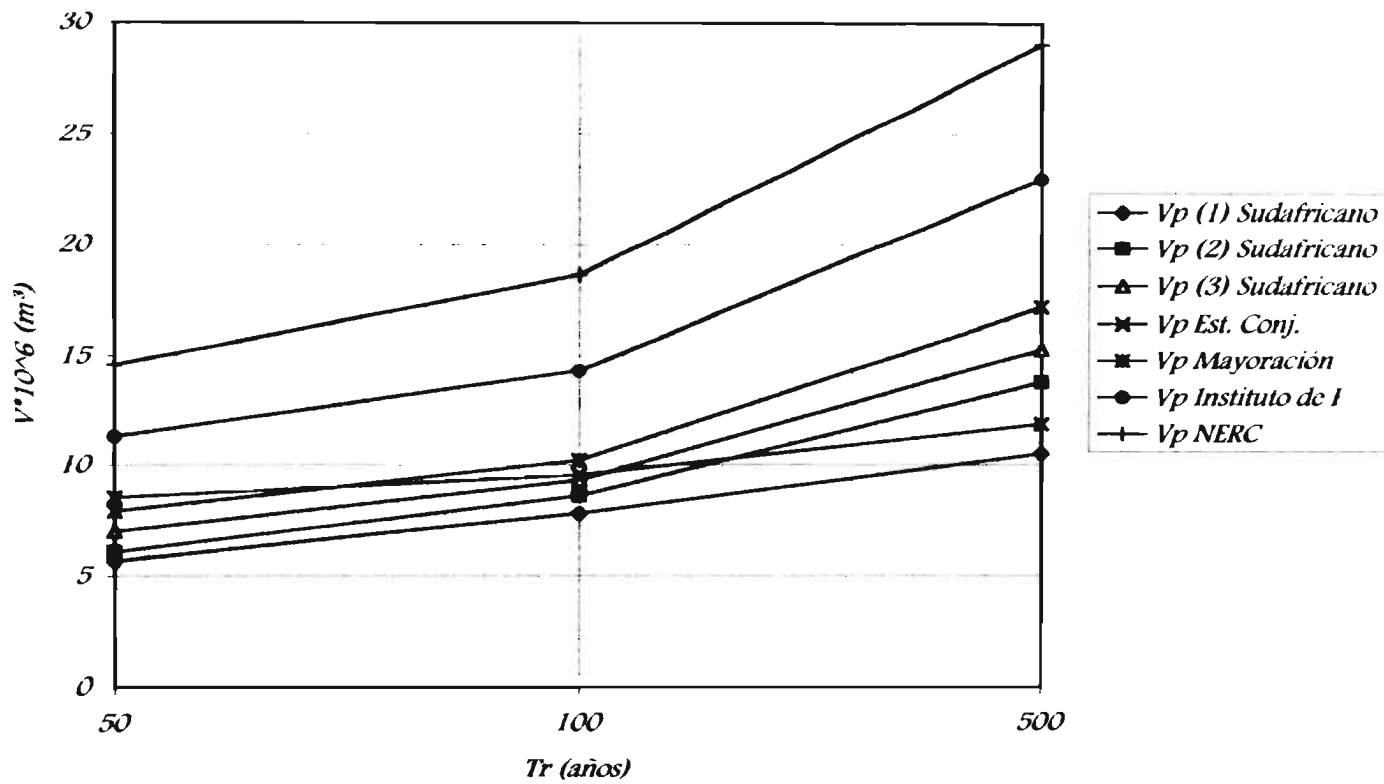
Gráfica 5.2.5 Comparación entre los distintos métodos para calcular Q_p de diseño (ESTACION BAMICORI)



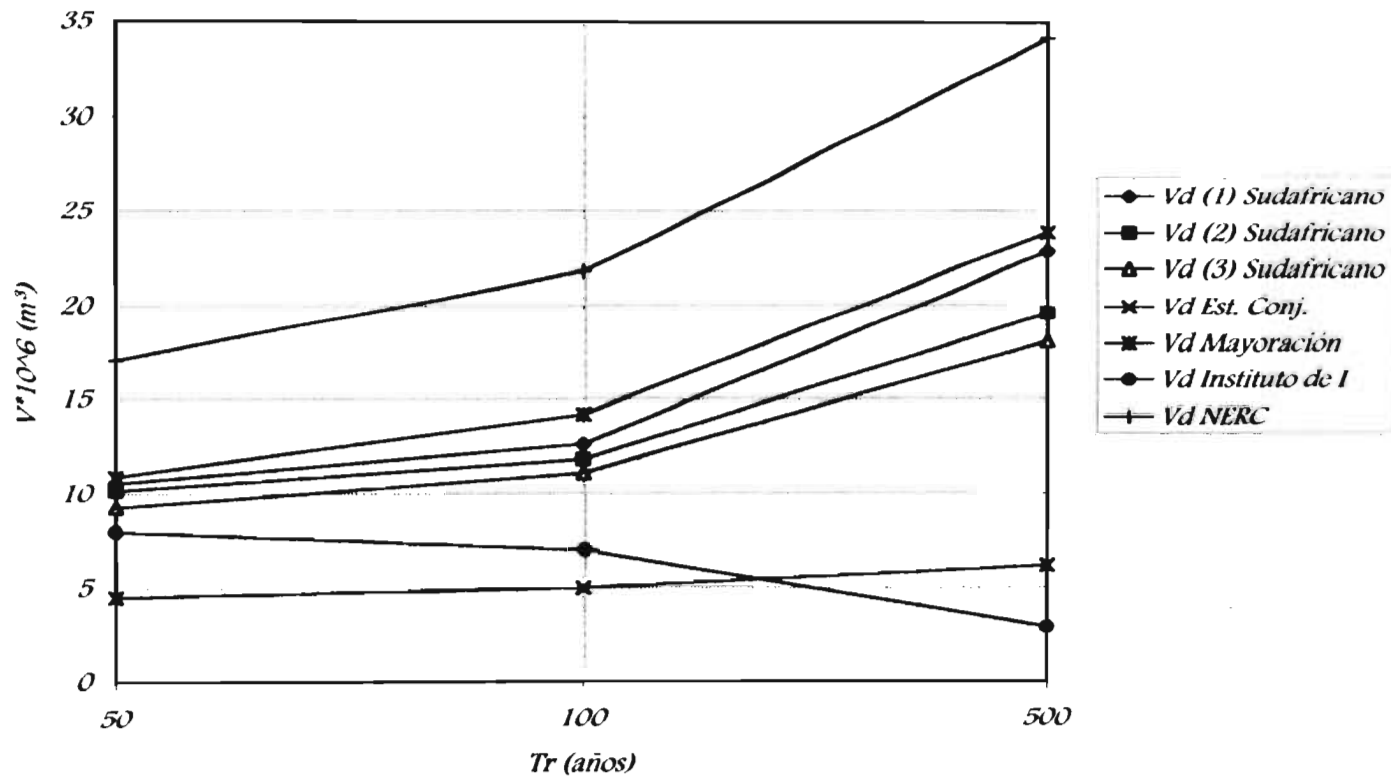
Gráfica 5.2.6 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_t de diseño (ESTACION BAMICORI)



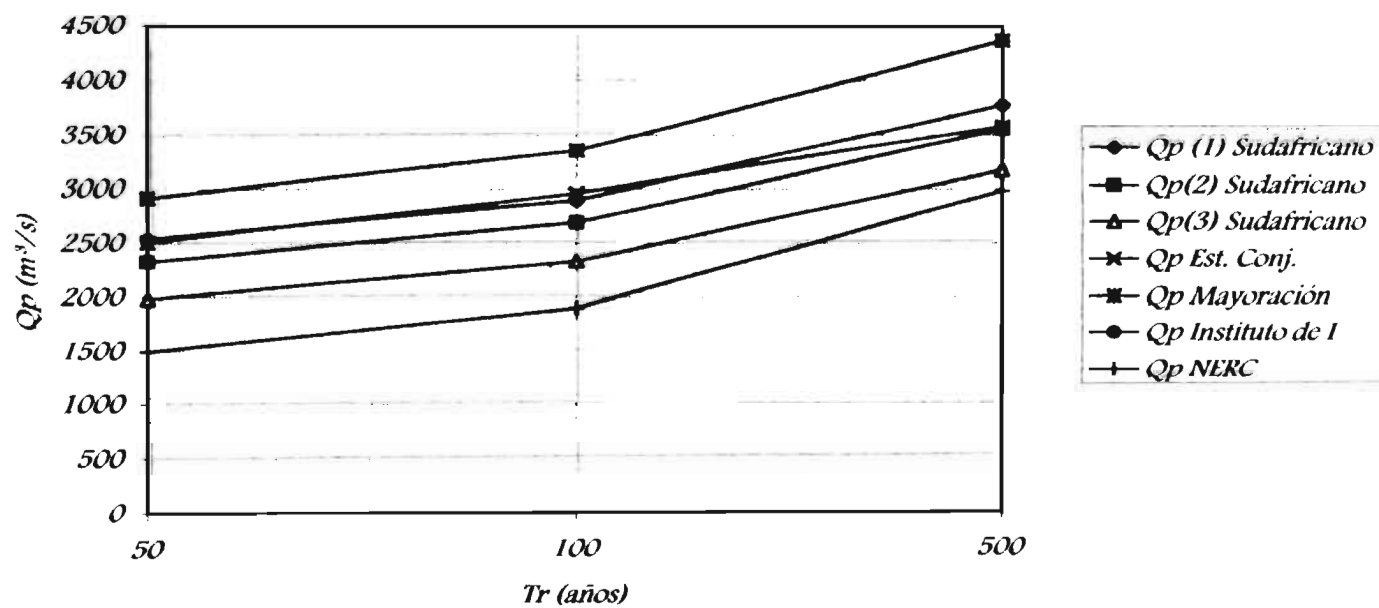
Gráfica 5.2.7 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_p de diseño (ESTACION BAMICORI)



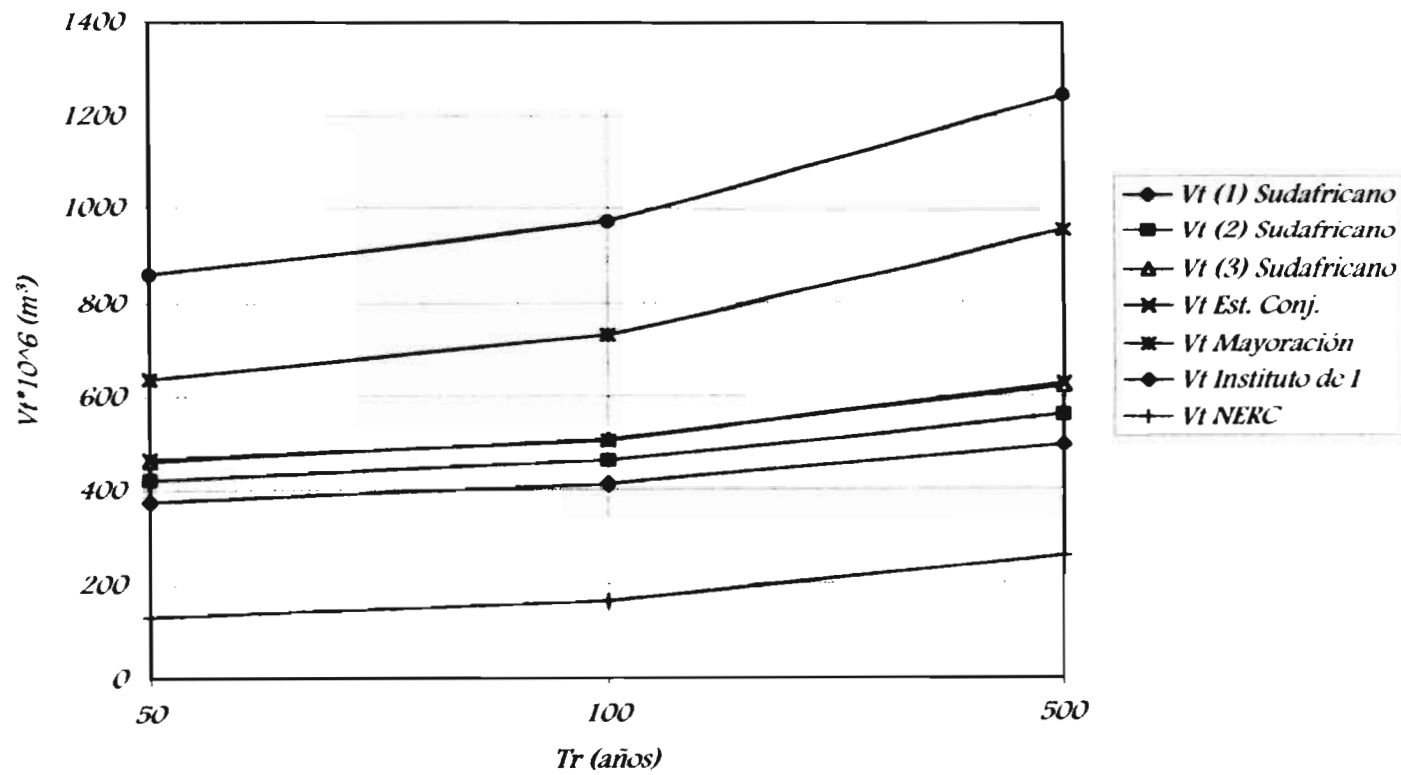
Gráfica 5.2.8 Comparación entre los distintos métodos para calcular Vd de diseño (ESTACION BAMICORI)



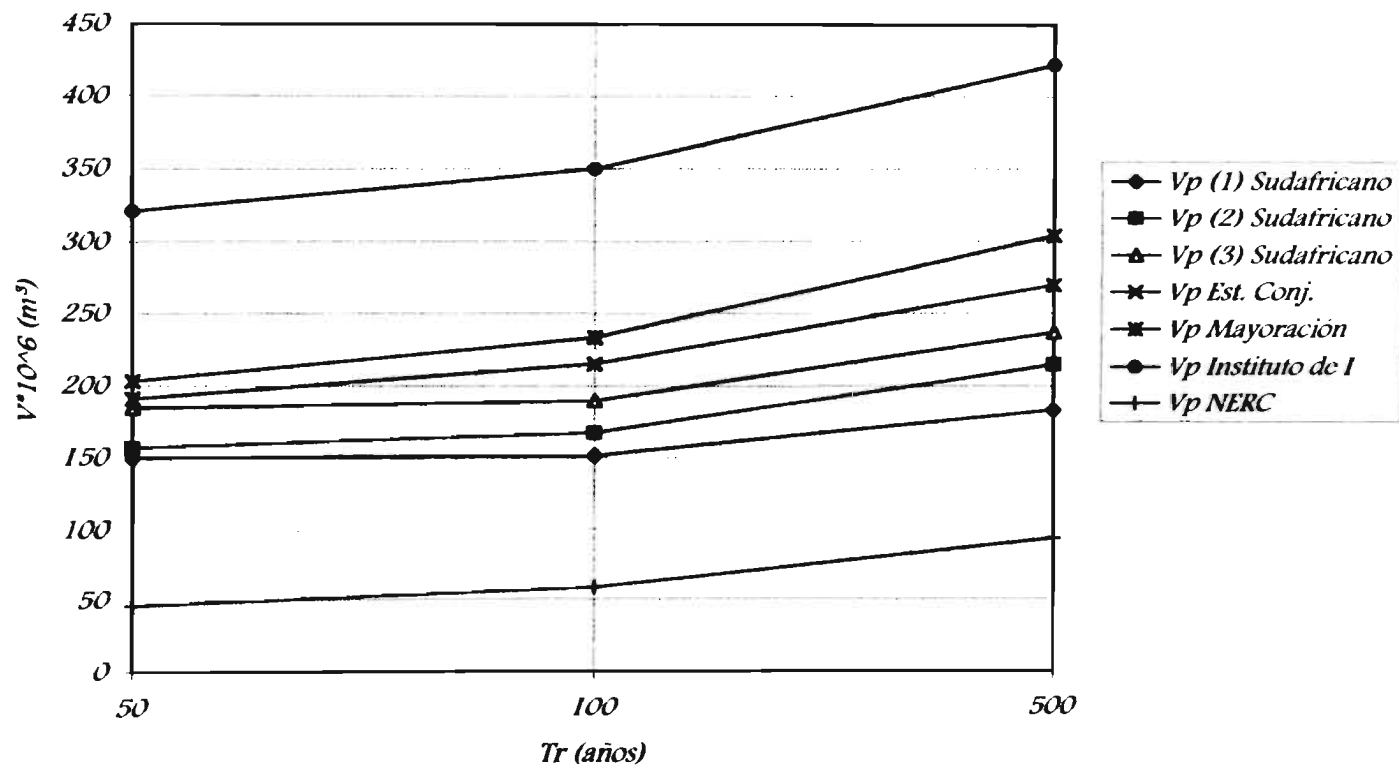
Gráfica 5.2.9 Comparación entre los distintos métodos para calcular Q_p de diseño (ESTACION SAN IGNACIO)



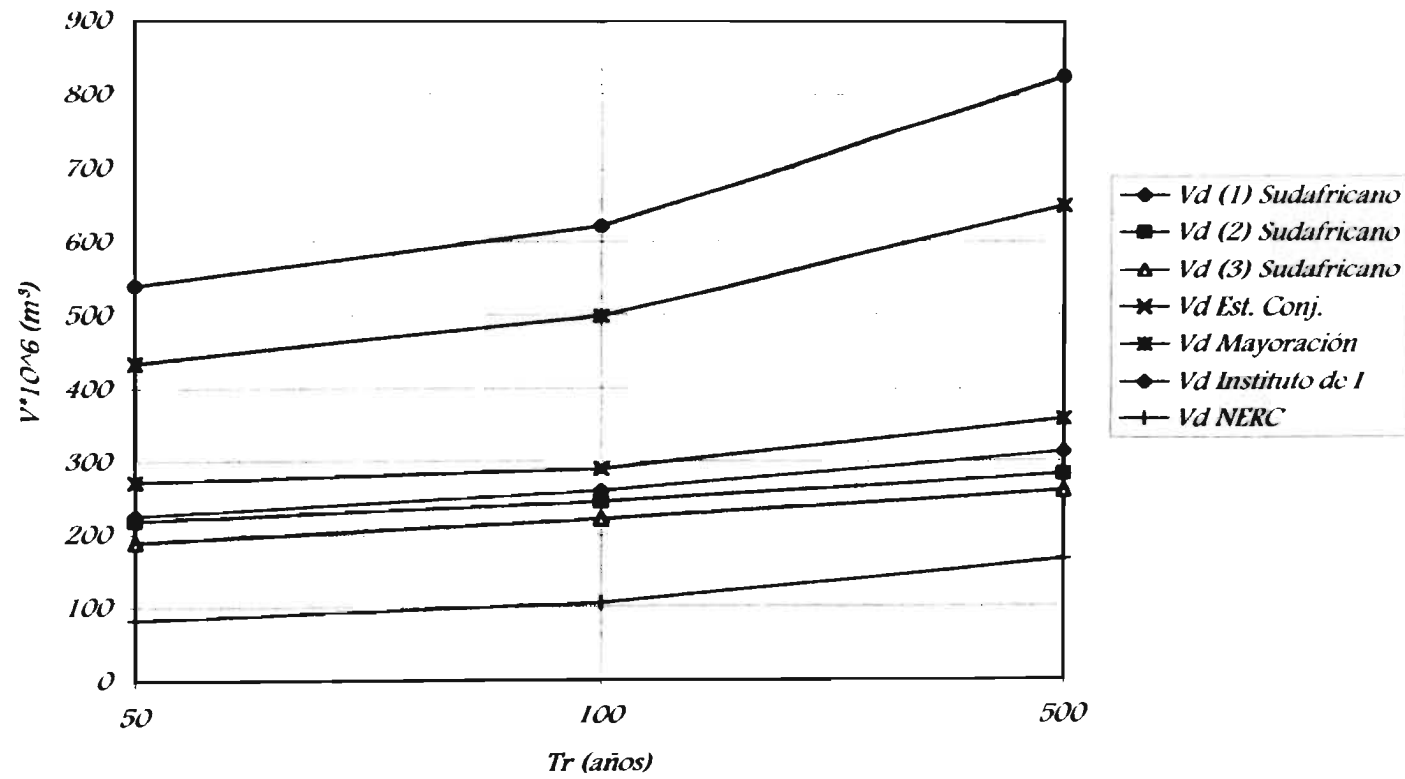
Gráfica 5.2.10 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_t de diseño (ESTACION SAN IGNACIO)



Gráfica 5.2.11 Comparación entre los distintos métodos para calcular V_p de diseño (ESTACION SAN IGNACIO)



Gráfica 5.2.12 Comparación entre los distintos métodos para calcular Vd de diseño (ESTACION SAN IGNACIO)



5.4 *DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS USANDO LOS DISTINTOS MÉTODOS DISPONIBLES PARA ESTIMAR EVENTOS DE DISEÑO.*

Cuando se trabaja con eventos extremos, en realidad lo que se desea es obtener pronósticos para un tiempo futuro, y de esta manera, proyectar obras de almacenamiento o protección a largo plazo.

El punto clave en este tipo de diseños como en todos es el costo, motivo más que suficiente para hacer un análisis cuidadosos de estos valores, ya que una sobrestimación originaría obras sobredimensionadas, lo que tendría un gran impacto económico, mientras que obras subestimadas pondrían en riesgo total la inversión, por tanto es necesario contar con valores lo más confiables posibles.

Dentro de la gama de métodos expuestos en este trabajo, se encontró que el de Estimación Conjunta es el que mejor describe a los eventos observados, razón por la que se decide tomarlo como primer método de estimación y referencia para compararlo con el resto.

Así cuando se quiere estimar eventos de diseño para estimar el gasto de pico (Q_p) para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, se encuentra lo siguiente: que para un periodo de retorno $T_r=50$ años, la mayoría de los métodos propuestos dan resultados similares, pero a medida que el periodo de retorno crece, estos empiezan a presentar diferencias considerables.

Así a medida que esto sucede, se encuentra una gran similitud entre los valores de diseño del método de Estimación Conjunta y el método Sudatricano en alguna de sus variantes, este hecho se puede justificar basado en que el método Sudatricano en su aplicación propone dar cierto peso de probabilidad (75%, 50% o 25%) al gasto de pico, complementándolo con el volumen hasta ajustar el 100% de probabilidad, pero este tiene la dificultad que en caso de trabajar únicamente con él y si no se tiene experiencia, resulta difícil decidir que caso entre los tres será mejor.

En lo referente al volumen total se halló que los pronósticos de los eventos de diseño son parecidos, pero de igual manera a medida que el periodo de retorno aumenta estos valores crecen haciendo sus diferencias considerables. El método sudatricano, una vez más es el que mejor se apega al de estimación conjunta, aunque su utilización de nueva cuenta presenta el problema de selección.

Con respecto al volumen antes del pico, éste es muy parecido al volumen total, por tanto no se haran más comentarios.

El volumen después del pico, es el más interesante de analizar, pues como se puede observar en las gráficas, éste presenta una gran discrepancia entre los distintos métodos, debido como ya se mencionó, a que el único que considera para su cálculo al volumen después del pico es el de Estimación Conjunta, por tanto se supone que estos resultados son los que mejor predicen esta variable.

CONCLUSIONES



6.1 CONCLUSIONES

La estimación de los gastos de pico y volúmenes máximos en una avenida, pueden ser calculados por varias técnicas, pero éstas adolecen en un punto clave, y es que en su gran mayoría su estructura principal se basa en la estimación del gasto de pico, dejando en segundo término la determinación del volumen, falla grave, ya que se puede tener el mismo gasto de pico para volúmenes totalmente distintos, por tanto se requieren técnicas capaces de pronosticar de manera conjunta ambos eventos, algunas de ellas son la de la NERC y la Sudafricana, éstas llevan a cabo relaciones probabilísticas para determinar dichos eventos.

Aún contando con estas técnicas es necesario ir mas allá, ¿Por que?; por que cuando transitamos una avenida ya sea por un vertedor o por un cauce, las componentes del hidrograma de salida están en función de dos variables que son: el gasto de pico y el volumen antes del mismo, por consiguiente, ya no es suficiente con conocer el gasto de pico y el volumen total de una avenida, sino que es necesario separar el volumen en dos variables más que son: el volumen antes del pico (V_p) y el volumen después del pico (V_d).

De ahí la gran importancia del método propuesto en este trabajo , es decir el método de Estimación Conjunta es el único que desagrega al volumen en dos variables más, que son el volumen antes del pico (V_p) y el volumen después del pico (V_d), con esto logra no sólo la determinación por separado de las componentes del hidrograma, sino que también hace un balance entre los resultados, ya que como se pudo observar los métodos estudiados sobrestiman o subestiman los valores y en el método de estimación conjunta esto se reduce, ya que no limita la probabilidad de ninguno de los eventos, sino que les da el mismo peso, por tanto tiende a ponderar estos resultados y es por eso que se obtuvo la mejor respuesta.

También es interesante hacer notar que estos resultados fueron obtenidos empleando distribuciones de probabilidad conjunta del tipo Gumbel, quedando aún por estudiar las distintas combinaciones que se pueden generar como son la General de Valores Extremos o la Gumbel Mixta, pero es de esperarse que a medida que una distribución describa mejor a los eventos observados, sus combinaciones al resolver el sistema generado en la estimación conjunta traerá como consecuencia valores más cercanos a los reales, por tanto se recomienda para la aplicación del método explorar todas las alternativas posibles, para de esta manera dar un juicio acertado.

Finalmente se dirá, que esta técnica aún se encuentra en desarrollo, y es necesario complementarla con las distintas combinaciones probabilísticas posibles y compararla contra resultados existentes, pero a pesar de esto se puede notar una mejoría considerable en las componentes del hidrograma obtenidas por esta técnica para las estaciones de estudio, por consiguiente y hasta no tener todas las posibilidades agotadas no se puede afirmar con seguridad que esta técnica sea la mejor para cualquier caso de estudio, y por tanto se deberá considerar como una buena alternativa para conocer las componentes del hidrograma y compararla contra alguna existente y de esta manera generar un criterio.

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

Jenkinson, A.F. (1955) "The Frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements", *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 87, 158-171.

Finkelstein, B.V. (1953) "Limiting distributions of extremes terms of the variational series of a two dimensional random value". *Dokl. Akad. Nauk SSR* 91, 2.

Gumbel, E.J. (1958) *Functions de probabilités à deux variables extrémales indépendantes.* "C.R. Acad. Sci., Paris 246, 49-50.

Tiago de Oliveira, J. (1958) "Extremal distributions". *Fac. Ciências Lisboa, serie, A, Mat. VII*

Tiago de Oliveira, J. (1982) "Bivariate extremes models and statistical decision.", *Tech. Report no. 14, Center for Stochastic Processes, Department of Statics, University of North Carolina.*

Gumbel, E.J. (1960a) "Multivariate extremal distributions". *Bull. Internat. Statist. Inst.* 39(2) 471-475

Johnson, N.L. & Kotz, S. (1972) "Distribution in Statics: Continuous Multivariate Distributions." *Jhon Wiley and Sons. New York.*

Gumbel, E.J. (1967) "Some analytical properties of bivariate extremal distributions" *Am. Statist. Ass. J.* 62 (June), 569-588

Raynal-Villaseñor J. A. (1985) "Bivariate extreme value distributions applied to flood frequency analysis." *PhD Dissertation, Colorado State University, Colorado, USA.*

Clarke, R.T. (1980) "Bivariate gamma distributions for extending annual streamflow records from precipitation". *Wat. Resour. res.* 16(6), 863-870.

Escalante C., (1996) "Estimación Conjunta de Avenidas " *XXI Congreso Nacional de Ingeniería.* Pp 120-125.

Peagram S. and Deacon P. (1992) "Extreme flood hydrographs of chosen probability (South Africa)", *International Symposium on Dams and Extreme Floods, International Commission of Large Dams. Spanish National Committee, Granada.*

Iliemstra and Francis M. (1979) "The runhydrograph-theory and application for flood predictions", *Water Research Commission, Pretoria, South Africa.*

Flood Studies Report, Volume 1(1975) "Estimation of flood volumes over different durations", Hydrological Studies, Natural Environment Research Council, Great Britain.

Jiménez M. (1993) "Manual de operación del programa AX.AXE", Coordinación de Investigación, CENAPRED, México.

Raynal-Villaseñor and Salas J. (1987) "Multivariate extreme value distributions in hydrological analyses" Water for the Future: Hydrology in Perspective (Proceedings of the Rome Symposium)

Nieves y Domínguez F. (1990) "Métodos numéricos aplicados a la Ingeniería" Ed. CECOSA. México.

Escalante S.C. (1996) "Joint estimation of peak discharge and total flood volume" UNAM., México.

Alfaro A (1995) "Métodos alternativos para transitar avenidas en colectores urbanos" DEPLI., UNAM.

Aparicio F. (1994) "Fundamentos de hidrología de superficie" LIMUSA, México.

APÉNDICES



APÉNDICE "A"

LISTADO DEL PROGRAMA "ESTIMACION CONJUNTA"

```
CLS
PRINT CHR$(15); "ESTIMACION CONJUNTA DE GASTO
PICO Y VOLUMEN DE DESCARGA"
```

Solucion de las raices para las distribuciones bivariadas por el metodo de Newton-Raphson.

```
LECTURA DE DATOS
OPEN "1. \tesis\pabumico.dat"
```

```
INPUT #1, nombre$
INPUT #1, ar
INPUT #1, u1
INPUT #1, a1
INPUT #1, m1
INPUT #1, u2
INPUT #1, a2
INPUT #1, m2
INPUT #1, u3
INPUT #1, a3
INPUT #1, m3
INPUT #1, u4
INPUT #1, a4
INPUT #1, m4
INPUT #1, u5
INPUT #1, a5
INPUT #1, u6
INPUT #1, a6
INPUT #1, u7
INPUT #1, a7
INPUT #1, u8
INPUT #1, a8
CLOSE 1
```

```
PRINT "PROGRAMA NEWTON2.BAS fecha: "; DATE$
PRINT TAB(5); "ESTACION "; TAB(15); nombre$;
TAB(35); "Años de registro"; ar
INPUT "Valor inicial de Qp"; Qp
INPUT "Valor inicial de Vd"; VD
INPUT "Periodo de retorno"; Tr
INPUT "Numero máximo de iteraciones"; kmax
PRINT "Qp= "; Qp
F = 1 - 1 / Tr
```

```
ESTIMACION DE VP
AUX = (-LOG(F)) ^ m4
VP = u7 - (a7 * (LOG(AUX)) / m4) + 1
PRINT "VP= "; VP
```

```
ESTIMACION DE VD
I0 au1 = EXP(-m3 * ((Qp - u5) / a5))
au3 = (-LOG(F)) ^ m3
IF au1 > au3 THEN
Qp = Qp + 1
GOTO I0
END IF
```

```
Qp = Qp + I0
au1 = EXP(-m3 * ((Qp - u5) / a5))
au3 = (-LOG(F)) ^ m3
```

```
VD = u6 - (a6 * (LOG(au3 - au1) / m3))
PRINT "VD = "; VD
PRINT "Tr = "; Tr
PRINT "Qp = "; Qp
```

```
IMPRESION DE PARAMETROS
PRINT ""
PRINT TAB(25); "PARAMETROS"
PRINT TAB(5); "u1 = "; u1; TAB(25); "a1 = "; a1; TAB(45);
"m1 = "; m1
PRINT TAB(5); "u2 = "; u2; TAB(25); "a2 = "; a2; TAB(45);
"m2 = "; m2
PRINT TAB(5); "u3 = "; u3; TAB(25); "a3 = "; a3; TAB(45);
"m3 = "; m3
PRINT TAB(5); "u4 = "; u4; TAB(25); "a4 = "; a4; TAB(45);
"m4 = "; m4
PRINT TAB(5); "u5 = "; u5; TAB(25); "a5 = "; a5
PRINT TAB(5); "u6 = "; u6; TAB(25); "a6 = "; a6
PRINT TAB(5); "u7 = "; u7; TAB(25); "a7 = "; a7
PRINT TAB(5); "u8 = "; u8; TAB(25); "a8 = "; a8
PRINT ""
```

```
IXP = 0
DVP = 0
DVD = 0
```

```
CUERPO DEL PROGRAMA
EVALUACION DE LAS FUNCIONES
PRINT TAB(1); "NK"; TAB(7); "Qp"; TAB(17); "VP";
TAB(27); "VD"; TAB(40); "F1"; TAB(55); "T2"; TAB(69);
"t3"
```

```
FOR i = 1 TO kmax
```

```
FUNCTION f(Qp,VD)=f1
```

```
AUX1 = EXP(-m1 * ((Qp - u1) / a1))
AUX2 = EXP(m1 * ((u2 - u8) / a2))
AUX3 = EXP(-m1 * VP / a2)
AUX4 = (-LOG(F)) ^ m4
AUX5 = EXP(-m4 * ((VP - u7) / a7))
AUX6 = (m1 * a8) / (a2 * m4)
AUX7 = (-LOG(F)) ^ m1
AUX8 = AUX2 * AUX3 * ((AUX4 - AUX5) ^ AUX6)
f1 = AUX1 + AUX8 - AUX7
```

```
FUNCTION f(Qp,VP)=f2
```

```
AUX1 = EXP(-m2 * ((Qp - u3) / a3))
AUX2 = EXP(-m2 * ((VP - u4) / a4))
AUX3 = (-LOG(F)) ^ m2
f2 = AUX1 + AUX2 - AUX3
```

```
FUNCTION f(Qp,VD)=f3
```

```
AUX1 = EXP(-m3 * ((Qp - u5) / a5))
AUX2 = EXP(-m3 * ((VD - u6) / a6))
AUX3 = (-LOG(F)) ^ m3
f3 = AUX1 + AUX2 - AUX3
```

```

PRINT TAB(0); i, TAB(5); Qp, TAB(15); VP, TAB(25); VT;
TAB(35); F1, TAB(50); F2, TAB(65); F3
IF ABS(F1) <= .XXXXXXXXX1# THEN
  IF ABS(F2) <= .XXXXXXXXX1# THEN
    IF ABS(F3) <= .XXXXXXXXX1# THEN
      PRINT ""
      PRINT "YA LA HICIMOS"; " QP="; Qp; " VP=";
VP; " VT="; VT
    END
  END IF
END IF
END IF

IF i = kmax THEN GO TO 50

CALCULO DE DERIVADAS PARCIALES

DF1DX1 = EXP(-m1 * ((Qp - u1) / a1)) * (-m1 / a1)
PRINT "DF1DX1="; DF1DX1
AUX1 = EXP(m1 * ((u2 - u8) / a2))
AUX2 = EXP(-m1 * (VP / a2))
AUX3 = m1 / a2
AUX4 = (-LOG(D)) ^ m4
AUX5 = EXP(-m4 * ((VP - u7) / a7))
AUX6 = (m1 * a8) / (a2 * m4)
AUX7 = a8 / a7
AUX8 = (AUX4 - AUX5)
AUX9 = AUX1 * AUX2 * AUX3 * (AUX8 ^ AUX6)
AUX10 = ((AUX7 * AUX5) / AUX8) - 1
DF1DX2 = AUX9 * AUX10
PRINT "DF1DX2="; DF1DX2
DF1DX3 = 0
DF2DX1 = EXP(-m2 * ((Qp - u3) / a3)) * (-m2 / a3)
PRINT "DF2DX1="; DF2DX1
DF2DX2 = EXP(-m2 * ((VP - u4) / a4)) * (-m2 / a4)
PRINT "DF2DX2="; DF2DX2
DF2DX3 = 0
DF3DX1 = EXP(-m3 * ((Qp - u5) / a5)) * (-m3 / a5)
PRINT "DF3DX1="; DF3DX1
DF3DX2 = 0
DF3DX3 = (-m3 / a6) * EXP(-m3 * ((VD - u6) / a6))
PRINT "DF3DX3="; DF3DX3

CALCULO DEL DETERMINANTE D
D = DF1DX1 * DF2DX2 * DF3DX3 - DF2DX1 * DF1DX2 *
DF3DX3
PRINT "D="; D

CALCULO DE INCREMENTOS
DXP1 = (F2 * DF1DX2 * DF3DX3 - F1 * DF2DX2 *
DF3DX3)
DVP1 = (F1 * DF2DX1 * DF3DX3 - F2 * DF1DX1 *
DF3DX3)
DVD1 = (F1 * DF2DX2 * DF3DX1 + F3 * DF1DX2 *
DF2DX1 - F3 * DF1DX1 * DF2DX2 - F2 * DF1DX2 *
DF3DX1)

DXP = DXP1 / D
DVP = DVP1 / D
DVD = DVD1 / D

PRINT "DXP="; DXP

```

APÉNDICE "B"

LISTADO DEL PROGRAMA "MÉTODO SUDAFRICANO"

```

DECLARE SUB AUTQ (GASTO(), Volumen(), AR,
COE)
DECLARE SUB ASIM (MDESQ(), AR, VARI, CASIM)
DECLARE SUB VARI (MDESQ(), AR, VARI)
DECLARE SUB MATDES (GASTO(), AR, AVELQ,
MDESQ())
DECLARE SUB MEDIA (GASTO(), AR, AVELQ)
DECLARE SUB IMPRE (QPO, VOLO, GASTO(),
Volumen(), AR)
DECLARE FUNCTION Pearson# (a#, b#, x)
DECLARE FUNCTION gamma# (z)
DECLARE FUNCTION integra (Alfa#, Beta#, mlimto)
DECLARE SUB tlnclnt (Alfa#, Beta#, x)
DIM LimiteSuperior AS LONG

DIM Beta1 AS DOUBLE, Beta2 AS DOUBLE, BetaM AS
DOUBLE, cont AS INTEGER
DIM Alfa1 AS DOUBLE, Alfa2 AS DOUBLE, AlfaM AS
DOUBLE

CLS
'estimacion de gastos pico y volúmenes totales
METODO SUDAFRICANO
LECTURA DE DATOS
OPEN "1", #1, "c:\tesis\QPSANIG.dat"
OPEN "1", #2, "c:\tesis\VTSANIG.dat"
INPUT #1, nombre$
INPUT #1, AR
INPUT #2, nombre$
INPUT #2, AR
LPRINT
LPRINT TAB(5); "PROGRAMA SUDAFRI.BAS fecha: ";
DATE$
LPRINT ""
LPRINT TAB(5); "ESTACION "; TAB(15); nombre$;
TAB(35); "Años de registro"; AR
DIM GASTO(AR)
DIM Volumen(AR)
DIM MDESQ(AR)
DIM MDESQ(AR)
DIM MDESQ(AR)
DIM MDESQ(AR)
DIM MDESQ(AR)
DIM QP(AR)
DIM VOL(AR)
DIM VOLSU(3, 8)
DIM GASTSU(3, 8)
FOR I = 1 TO AR
INPUT #1, QP(I)
INPUT #2, VOL(I)
NEXT I
CLOSE #1
CLOSE #2
FOR I = 1 TO AR
GASTO(I) = LCX(QP(I))
Volumen(I) = LCX(VOL(I))
NEXT I
LPRINT
LPRINT TAB(5); " *** DATOS DE LOS REGISTROS
ORIGINALES ****

```

```

LPRINT TAB(5);
"
"
LPRINT TAB(5); "No Reg. "; TAB(15); "Qp (mü/s)";
TAB(29); "Vi (Mmü)"; TAB(41); "LN (Qp)"; TAB(53); "LN
(V)";
LPRINT TAB(5);
"
"
CALL IMPRE(QPO, VOLO, GASTO(), Volumen(), AR)
LPRINT ""
PRINT
PRINT " ***** CALCULO DE LA MEDIA *****"
CALL MEDIA(GASTO(), AR, AVELQ)
CALL MEDIA(Volumen(), AR, AVELV)
CALL MEDIA(QPO, AR, AVEQ)
CALL MEDIA(VOLO, AR, AVEV)
PRINT
LPRINT TAB(5); "MEDIA Q= "; AVEQ; TAB(30); "MEDIA
LN Q = "; AVELQ
LPRINT TAB(5); "MEDIA V= "; AVEV; TAB(30); "MEDIA
LN V = "; AVELV

"*****"OBTENER MATRIZ DE
DESVIACIONES"*****
CALL MATDES(GASTO(), AR, AVELQ, MDESQ())
CALL MATDES(Volumen(), AR, AVELV, MDESQ())
CALL MATDES(QPO, AR, AVEQ, MDESQ())
CALL MATDES(VOLO, AR, AVEV, MDESQ())

CALL IMPRE(MDESQ(), ar)
PRINT ""

PRINT " ***** CALCULO DE LA VARIANZA *****"
CALL VARI(MDESQ(), AR, VARQ)
CALL VARI(MDESQ(), AR, VARV)
CALL VARI(MDESQ(), AR, VARLQ)
CALL VARI(MDESQ(), AR, VARLV)
LPRINT
LPRINT TAB(5); "VARIANZA Q= "; VARQ; TAB(30);
"VARIANZA LN Q = "; VARLQ
LPRINT TAB(5); "VARIANZA V= "; VARV; TAB(30);
"VARIANZA LN V = "; VARLV
LPRINT
LPRINT TAB(5); "DESVIACION ESTANDAR Q= ";
SQR(VARQ)
LPRINT TAB(5); "DESVIACION ESTANDAR V= ";
SQR(VARV)
LPRINT
LPRINT TAB(5); "DESVIACION ESTANDAR LN Q= ";
DESVLQ
LPRINT TAB(5); "DESVIACION ESTANDAR LN V= ";
DESVLV
LPRINT
LPRINT
"***** ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE
AUTOCORRELACION *****"
CALL AUTO(GASTO(), Volumen(), AR, COE)
CALL AUTO(QPO, VOLO, AR, COE)

```

```

LPRINT TAB(5); "COEFICIENTE DE CORRELACION =";
COE
LPRINT TAB(5); "COEFICIENTE DE CORRELACION LV
="; COEL
PRINT
LPRINT TAB(5); "PARA LA APLICACION DEL METODO
HACEMOS UN REDONDEO DEL COEFICIENTE"
LPRINT TAB(5); "DE CORRELACION, ASI TENDREMOS
QUE ";
IF COEL > .7 THEN
  IF COEL > .726 THEN
    IF COEL > .776 THEN
      IF COEL > .826 THEN
        IF COEL > .876 THEN
          IF COEL > .926 THEN
            COEL = .95
            GOTO 10
          END IF
          COEL = .9
          GOTO 10
        END IF
        COEL = .85
        GOTO 10
      END IF
      COEL = .8
      GOTO 10
    END IF
    COEL = .73
    GOTO 10
  END IF
  COEL = .7
  GOTO 10
END IF
10 LPRINT TAB(5); "COEF. CORR = RHO ="; COEL
LPRINT
LPRINT TAB(5); "CON ESTE VALOR DEL COEFICIENTE
DE LA TABLA XXXXY"
LPRINT TAB(5); "TAN SOTROS PODEMOS OBTENER LOS
SIGUIENTES VALORES"
LPRINT TAB(20); "PROBABILIDAD"; TAB(45); "TRC";
TAB(60); "VOLUMEN"
LPRINT TAB(18); "CONDICIONAL G(x/Y); TAB(40);
"ESTANDARIZADA"; TAB(57); "ESTANDARIZADA"
SELECT CASE COEL
CASE .95
LPRINT
OPEN "I", #1, "c:\tesis\ESTAN95.dat"
I = 1
FOR J = 1 TO 8
INPUT #1, TR(J)
INPUT #1, PE1(I, J)
INPUT #1, PE2(I, J)
INPUT #1, PE3(I, J)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)
LPRINT TAB(5); "Tr ="; TR(J); " A cos"
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (1)"; TAB(24); "75% ";
TAB(42); PE1(I, J); TAB(60); VE1(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (2)"; TAB(24); "50% ";
TAB(42); PE2(I, J); TAB(60); VE2(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (3)"; TAB(24); "25% ";
TAB(42); PE3(I, J); TAB(60); VE3(I, J)
LPRINT
NEXT J
CLOSE #1
CASE .8
LPRINT
OPEN "I", #1, "c:\tesis\ESTAN80.dat"
I = 1
FOR J = 1 TO 8

```

```

LPRINT TAB(5); "AVENIDA (2)"; TAB(24); "50% ";
TAB(42); PE2(I, J); TAB(60); VE2(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (3)"; TAB(24); "25% ";
TAB(42); PE3(I, J); TAB(60); VE3(I, J)
LPRINT
NEXT J
CLOSE #1
CASE .9
LPRINT
OPEN "I", #1, "c:\tesis\ESTAN90.dat"
I = 1
FOR J = 1 TO 8
INPUT #1, TR(J)
INPUT #1, PE1(I, J)
INPUT #1, PE2(I, J)
INPUT #1, PE3(I, J)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)
LPRINT TAB(5); "Tr ="; TR(J); " A cos"
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (1)"; TAB(24); "75% ";
TAB(42); PE1(I, J); TAB(60); VE1(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (2)"; TAB(24); "50% ";
TAB(42); PE2(I, J); TAB(60); VE2(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (3)"; TAB(24); "25% ";
TAB(42); PE3(I, J); TAB(60); VE3(I, J)
LPRINT
NEXT J
CLOSE #1
CASE .85
LPRINT
OPEN "I", #1, "c:\tesis\ESTAN85.dat"
I = 1
FOR J = 1 TO 8
INPUT #1, TR(J)
INPUT #1, PE1(I, J)
INPUT #1, PE2(I, J)
INPUT #1, PE3(I, J)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)
LPRINT TAB(5); "Tr ="; TR(J); " A cos"
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (1)"; TAB(24); "75% ";
TAB(42); PE1(I, J); TAB(60); VE1(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (2)"; TAB(24); "50% ";
TAB(42); PE2(I, J); TAB(60); VE2(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (3)"; TAB(24); "25% ";
TAB(42); PE3(I, J); TAB(60); VE3(I, J)
LPRINT
NEXT J
CLOSE #1
CASE .8
LPRINT
OPEN "I", #1, "c:\tesis\ESTAN80.dat"
I = 1
FOR J = 1 TO 8

```

```

INPUT #1, TR(I)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)

```

```

LPRINT TAB(5); "Tr ="; TR(I); " Años"
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (1)"; TAB(24); "75% ";
TAB(42); VE1(I, J); TAB(60); VE1(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (2)"; TAB(24); "50% ";
TAB(42); VE2(I, J); TAB(60); VE2(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (3)"; TAB(24); "25% ";
TAB(42); VE3(I, J); TAB(60); VE3(I, J)
LPRINT
NEXT J
CLOSE #1

```

CASE 75

```

LPRINT
OPEN "I", #1, "c:\tesis\ESTAN75.dat"
I = 1
FOR J = 1 TO 8
INPUT #1, TR(I)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)

```

```

LPRINT TAB(5); "Tr ="; TR(I); " Años"
LPRINT
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (1)"; TAB(24); "75% ";
TAB(42); VE1(I, J); TAB(60); VE1(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (2)"; TAB(24); "50% ";
TAB(42); VE2(I, J); TAB(60); VE2(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (3)"; TAB(24); "25% ";
TAB(42); VE3(I, J); TAB(60); VE3(I, J)
LPRINT
NEXT J
CLOSE #1

```

CASE 7

```

LPRINT
OPEN "I", #1, "c:\tesis\ESTAN70.dat"
I = 1
FOR J = 1 TO 8
INPUT #1, TR(I)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)
INPUT #1, VE1(I, J)
INPUT #1, VE2(I, J)
INPUT #1, VE3(I, J)

```

```

LPRINT TAB(5); "Tr ="; TR(I); " Años"

```

```

LPRINT TAB(5); "AVENIDA (1)"; TAB(24); "75% ";
TAB(42); VE1(I, J); TAB(60); VE1(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (2)"; TAB(24); "50% ";
TAB(42); VE2(I, J); TAB(60); VE2(I, J)
LPRINT TAB(5); "AVENIDA (3)"; TAB(24); "25% ";
TAB(42); VE3(I, J); TAB(60); VE3(I, J)
LPRINT
NEXT J
CLOSE #1

```

```

END SELECT
LPRINT ""
LPRINT TAB(5); "AHORA EMPLEANDO LA EXPRESION
XXX NOSOTROS PODEMOS GENERAR"
LPRINT TAB(5); "LOS GASTOS Y VOLUMENES PICO,
PARA LAS DISTINTAS PROBABILIDADES"
LPRINT TAB(5); "CUMMO SE MUESTRA A
CONTINUACION"
LPRINT
PRINT

```

```

I = 1
FOR J = 1 TO 8
GASTSUD(I, J) = EXP(VE1(I, J) * DESVLQ + AVELQ)
VOLSUD(I, J) = EXP(VE1(I, J) * DESVLV + AVELV)
GASTSUD(2, J) = EXP(VE2(I, J) * DESVLQ + AVELQ)
VOLSUD(2, J) = EXP(VE2(I, J) * DESVLV + AVELV)
GASTSUD(3, J) = EXP(VE3(I, J) * DESVLQ + AVELQ)
VOLSUD(3, J) = EXP(VE3(I, J) * DESVLV + AVELV)

```

NEXT J

```

FOR J = 1 TO 8
FOR I = 1 TO 3
*****ESTIMACION DEL TIEMPO PICO, TIEMPO
BASE Y VOLUMENES*****
LOCATE 1, 60
PRINT USING "V=#####"; VOLSUD(I, J)
LOCATE 2, 60
PRINT USING "G=#####"; GASTSUD(I, J);
tol = .001
TolG = 1
Beta1 = 1
Beta2 = 1.3
WHILE ABS(TolG) > .001
BetaM = (Beta1 + Beta2) / 2
LOCATE 1, 30
PRINT USING "BetaM=###.#####"; BetaM
GpicoCal = (BetaM - 1) ^ (BetaM - 1) * EXP(1 -
BetaM)
TolG = GASTSUD(I, J) - GpicoCal
IF TolG < 0 THEN Beta2 = BetaM ELSE Beta1 =
BetaM
LOCATE 2, 30
PRINT USING "TolG=###.#####"; TolG
WEND

```

```

TolV = 1
Alfa1 = 0
Alfa2 = .15
k = 0
WHILE ABS(TolV) > tol AND k < 100
WHILE ABS(TolV) > tol
k = k + 1

```

```

AlfaM = (Alfa1 + Alfa2) / 2
LOCATE 4, 30
PRINT USING "AlfaM=###.#####"; AlfaM
LimiteSuperior = .1
findint AlfaM, BetaM, LimiteSuperior
Volucal = integra(AlfaM, BetaM, LimiteSuperior)
ToIV = VOLSU'D(1, J) - Volucal
IF ToIV < 0 THEN Alfa2 = AlfaM ELSE Alfa1 =
AlfaM
LOCATE 5, 30
PRINT USING "ToIV=##.#####"; ToIV
WEND
LimitePico = AlfaM * (BetaM - 1)
VolAntes(1, J) = integra(AlfaM, BetaM, LimitePico)
NEXT I
NEXT J

```

```

FOR J = 1 TO 8
LPRINT TAB(5); "Tr ="; TR(J); "A $\alpha$ , s"
LPRINT TAB(5); "QP (1) ="; GASTUD(1, J);
TAB(24); "Vi (1) ="; VOLSU'D(1, J); TAB(42); "Va (1) =";
VolAntes(1, J); TAB(60); "Vd (1) ="; VOLSU'D(1, J) -
VolAntes(1, J)
LPRINT TAB(5); "QP (2) ="; GASTUD(2, J);
TAB(24); "Vi (2) ="; VOLSU'D(2, J); TAB(42); "Va (2) =";
VolAntes(2, J); TAB(60); "Vd (2) ="; VOLSU'D(2, J) -
VolAntes(2, J)
LPRINT TAB(5); "QP (3) ="; GASTUD(3, J);
TAB(24); "Vi (3) ="; VOLSU'D(3, J); TAB(42); "Va (3) =";
VolAntes(3, J); TAB(60); "Vd (3) ="; VOLSU'D(3, J) -
VolAntes(3, J)
PRINT "#####"; TAB(5); "Tiempo pico: ";
AlfaM * (BetaM - 1) * 1000000; "s"
PRINT "#####"; TAB(5); "Tiempo pico: ";
AlfaM * (BetaM - 1) * 277.7778; "h"
LPRINT TAB(5); "Tiempo pico: "; AlfaM * (BetaM -
1) * 11.574; "djas"; TAB(45); "Tiempo base: ";
LimiteSuperior * 11.574; "djas"
LPRINT
NEXT J

```

```

SUB ASIM (MDESQO, AR, VARQ, CASIMQ)
SUM = 0
FOR I = 1 TO AR
SUM = SUM + MDESQ(I) ^ 3
NEXT I
CASIMQ = SUM * AR / ((VAR ^ 1.5) * (AR - 1) * (AR - 2))
END SUB

```

```

SUB ALTO (GASTUD, Volumen0, AR, COEL)
SUM = 0
SUM1 = 0
SUM2 = 0
SUM3 = 0
SUM4 = 0
FOR I = 1 TO AR
SUM = SUM + GASTUD(I) * Volumen0
SUM1 = SUM1 + GASTUD(I)

```

```

SUM2 = SUM2 + Volumen0
SUM3 = SUM3 + (GASTUD(I) ^ 2
SUM4 = SUM4 + (Volumen0) ^ 2
NEXT I
AUX1 = AR * SUM
AUX2 = SUM1 * SUM2
AUX3 = SQR(AR * SUM3) - (SUM1) ^ 2
AUX4 = SQR(AR * SUM4) - (SUM2) ^ 2
COEL = (AUX1 - AUX2) / (AUX3 * AUX4)
END SUB

```

```

SUB findint (Alfa AS DOUBLE, Beta AS DOUBLE, x)
inc = .01
valor = 1
WHILE valor > .001
valor = Pearson#(Alfa, Beta, x)
x = x + inc
LOCATE 12, 50
PRINT USING "#.#####"; valor;
PRINT USING "#####.###"; x
WEND
END SUB

```

```

SUB IMPRE (QP0, VOL0, GASTUD, Volumen0, AR)
LPRINT
FOR I = 1 TO AR
LPRINT; TAB(7); I; TAB(17); USING "#####"; QP0;
TAB(29); VOL0; TAB(39); GASTUD(I); TAB(51);
Volumen0
NEXT I
END SUB

```

```

FUNCTION integra (Alfa AS DOUBLE, Beta AS DOUBLE,
infinito)
dx = .01
lix = 0
iterax = INT((infinito - lix) / dx)
k = 0
prob = 0
LOCATE 20, 30
PRINT "Avance="
ll = 0
ll = 3600 * VAL(MID$(TIMES$, 1, 2))
ll = ll + 60 * VAL(MID$(TIMES$, 4, 2))
ll = ll + VAL(MID$(TIMES$, 7, 2))
a = Pearson#(Alfa, Beta, lix)
FOR I = 0 TO iterax - 1
b = Pearson#(Alfa, Beta, lix + dx * (I + 1))
prob = prob + dx * (a + b) / 2
k = k + 1
a = b
LOCATE 20, 38
PRINT USING "###%"; 100 * k / iterax
NEXT I
l2 = 0
l2 = 3600 * VAL(MID$(TIMES$, 1, 2))
l2 = l2 + 60 * VAL(MID$(TIMES$, 4, 2))
l2 = l2 + VAL(MID$(TIMES$, 7, 2))
LOCATE 12, 10
PRINT USING "Volca1=#####.###"; prob
LOCATE 13, 10
PRINT USING "Tiempo de c'culo =#####"; l2 -
ll

```

```

    integra = prob
END FUNCTION

SUB MATDES (GASTO(), AR, AVELQ, MDESQ())
FOR I = 1 TO AR
MDESQ(I) = GASTO(I) - AVELQ
NEXT I
END SUB

SUB MEDIA (GASTO(), AR, AVELQ)
SUM = 0
FOR I = 1 TO AR
SUM = SUM + GASTO(I)
NEXT I
AVELQ = SUM / AR
END SUB

FUNCTION Pearson# (a AS DOUBLE, b AS DOUBLE, x)
' Auténtica Pearson
' Pearson# = EXP(-x / a) * (x / a) ^ (b - 1) / (a *
gamma#(b))
' Pearson modificada
Pearson# = EXP(-x / a) * (x / a) ^ (b - 1)
END FUNCTION

SUB VARI (MDESQ(), AR, VARQ)
SUM = 0
FOR I = 1 TO AR
SUM = SUM + MDESQ(I) ^ 2
NEXT I
VARQ = SUM / (AR - 1)
END SUB

```

APÉNDICE "C"

LISTADO DEL PROGRAMA "MÉTODO NERC"

```

ESTIMACION DE LOS GASTOS PROMEDIOS DIARIOS
CLS
LECTURA DE DATOS
OPEN "T:\#1. \Meses\MGNACTO\gasdis.dat"
INPUT "Nombre de la estación": Nombre$
INPUT "Número de años de GASTOS": AR
DIM QPROM(AR, 10)
DIM QAGAR, 10)
DIM V1(AR)
DIM V2(AR)
CLS
LPRINT "PROGRAMA GASTROM.BAS fecha: ", DATE$
LPRINT "ESTACION ", Nombre$
FOR I = 1 TO AR
FOR J = 1 TO 10
INPUT #1, QPROM(I, J)
NEXT J
NEXT I
PRINT

J = 1
FOR I = 1 TO AR
QA(I, J) = QPROM(I, J)
NEXT I

FOR I = 1 TO AR
J = 1
SUM = QA(I, J)
FOR J = 2 TO 10
QA(I, J) = J * QPROM(I, J) - SUM
SUM = SUM + QA(I, J)
NEXT J
NEXT I

FOR I = 1 TO AR
SUM = 0
FOR J = 1 TO 10
V1 = QA(I, J) + SUM
SUM = V1
NEXT J
V1(I) = SUM * .86400
V2(I) = (QA(I, 1) / 2 + QA(I, 3) + QA(I, 5) + QA(I, 7) +
QA(I, 9)) * .86400
V2(I) = V1(I) - V2(I)
NEXT I

LPRINT TAB(5); "V1 = "; USING "#####"; V1(I)
LPRINT TAB(5); "V2 = "; USING "#####";
V2(I);
LPRINT TAB(5); "V1 = "; USING "#####";
V2(I);
LPRINT
NEXT I

LPRINT TAB(5); "Tr= "; TAB(15); "GASTO PROMEDIO
ANUAL"; TAB(45); "GASTO DIARIO"
LPRINT
FOR I = 1 TO AR
LPRINT
FOR J = 1 TO 10
LPRINT TAB(20); QPROM(I, J); TAB(47); QA(I, J)
NEXT J
LPRINT

```


APÉNDICE "D"

LISTADO DEL PROGRAMA "MÉTODO II-CFE"

```

DECLARE SUB PROM (ar, DR, N, AUX10, Q210,
Q30)
DECLARE SUB PROMEDIOS (ar, DR, N, AUX10, Q210)
DECLARE SUB ORDENAMIENTO (ar, DR, AUX10, Q10)
DECLARE SUB IMFRE (ar, IAR, DR, AUX10)
CLS
PRINT CHR$(15); "ESTIMACION CONJUNTA DE GASTO
PICO Y VOLUMEN DE DESCARGA"
.
PROGRAMA DE AVENIDAS Y VOLUMENES
UTILIZANDO EL METODO DEL INSTITUTO DE
INGENIERIA
Y CFE.

LECTURA DE DATOS
OPEN "I", #1, "c:\tesis\alamos\1969.dai"
INPUT "Nombre de la estación"; Nombre$
INPUT "Número de años de registro"; ar
INPUT "Año de registro"; IAR
INPUT "Días de registro por año"; DR
ar = 1
DR = 365
DIM AUX1(DR, ar)
DIM QM1(1, ar)
DIM QM2(1, ar)
DIM QM3(1, ar)
DIM QM4(1, ar)
DIM QM5(1, ar)
DIM QM6(1, ar)
DIM QM7(1, ar)
DIM QM8(1, ar)
DIM QM9(1, ar)
DIM QM10(1, ar)
DIM Q1(DR, ar)
DIM Q2(DR - 1, ar)
DIM Q3(DR - 2, ar)
DIM Q4(DR - 3, ar)
DIM Q5(DR - 4, ar)
DIM Q6(DR - 5, ar)
DIM Q7(DR - 6, ar)
DIM Q8(DR - 7, ar)
DIM Q9(DR - 8, ar)
DIM Q10(DR - 9, ar)
DIM QA(10)
CLS
PRINT "PROGRAMA II-CFE.BAS fecha: "; DATE$
PRINT TAB(5); "ESTACION "; TAB(15); Nombre$;
TAB(35); "Año de registro"; IAR
PRINT
FOR I = 1 TO DR
FOR J = 1 TO ar
INPUT #1, AUX1(I, J)
NEXT J
NEXT I
PRINT
CALL IMFRE(ar, IAR, DR, AUX10)
PRINT

ORDENAMIENTO METODO DE INSERCIÓN
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR, AUX10, QM10)

PROMEDIO DE GASTOS MEDICOS
N = 2

PRINT "Q2"
CALL PROMEDIOS(ar, DR, N, AUX10, Q20)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 1, Q20, QM20)

"Q3"
CALL PROM(ar, DR - 1, N + 1, AUX10, Q30, Q30)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 2, Q30, QM30)

"Q4"
CALL PROM(ar, DR - 2, N + 2, AUX10, Q40, Q40)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 3, Q40, QM40)

"Q5"
CALL PROM(ar, DR - 3, N + 3, AUX10, Q50, Q50)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 4, Q50, QM50)

"Q6"
CALL PROM(ar, DR - 4, N + 4, AUX10, Q60, Q60)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 5, Q60, QM60)

"Q7"
CALL PROM(ar, DR - 5, N + 5, AUX10, Q70, Q70)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 6, Q70, QM70)

"Q8"
CALL PROM(ar, DR - 6, N + 6, AUX10, Q80, Q80)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 7, Q80, QM80)

Q9
CALL PROM(ar, DR - 7, N + 7, AUX10, Q90, Q90)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 8, Q90, QM90)

Q10
CALL PROM(ar, DR - 8, N + 8, AUX10, Q100, Q100)
CALL ORDENAMIENTO(ar, DR - 9, Q100, QM100)

J = 1
QA(1) = QM1(1, J)
QA(2) = QM2(1, J)
QA(3) = QM3(1, J)
QA(4) = QM4(1, J)
QA(5) = QM5(1, J)
QA(6) = QM6(1, J)
QA(7) = QM7(1, J)
QA(8) = QM8(1, J)
QA(9) = QM9(1, J)
QA(10) = QM10(1, J)

SUM = QA(1)
FOR I = 2 TO 10
QA(I) = I * QA(I) - SUM
SUM = SUM + QA(I)
NEXT I

PRINT TAB(7); "GASTOS MEDICOS ANUALES"; TAB(35);
"GASTOS MEDICOS DIARIOS"
FOR J = 1 TO ar

```

```

PRINT TAB(10); "QM1 ="; QM1(I, J); TAB(40); "Q11 =";
QA(1)
PRINT TAB(10); "QM2 ="; QM2(I, J); TAB(40); "Q12 =";
QA(2)
PRINT TAB(10); "QM3 ="; QM3(I, J); TAB(40); "Q13 =";
QA(3)
PRINT TAB(10); "QM4 ="; QM4(I, J); TAB(40); "Q14 =";
QA(4)
PRINT TAB(10); "QM5 ="; QM5(I, J); TAB(40); "Q15 =";
QA(5)
PRINT TAB(10); "QM6 ="; QM6(I, J); TAB(40); "Q16 =";
QA(6)
PRINT TAB(10); "QM7 ="; QM7(I, J); TAB(40); "Q17 =";
QA(7)
PRINT TAB(10); "QM8 ="; QM8(I, J); TAB(40); "Q18 =";
QA(8)
PRINT TAB(10); "QM9 ="; QM9(I, J); TAB(40); "Q19 =";
QA(9)
PRINT TAB(10); "QM10="; QM10(I, J); TAB(40); "Q110
="; QA(10)
NEXT J

```

ESTIMACION DE GASTOS MEDICOS DIARIOS

```

SUB IMPRE (ar, IAR, DR, DR, AUX10)
J = 1
FOR I = 1 TO DR
PRINT TAB(5); AUX10(I, J);
NEXT I
END SUB

```

```

SUB ORDENAMIENTO (ar, DR, AUX10, QM10)
DIM Q1(DR, ar)
FOR J = 1 TO ar
FOR I = 1 TO DR
Q1(I, J) = AUX10(I, J)
NEXT I
NEXT J

```

```

FOR J = 1 TO ar
FOR I = 2 TO DR
AUX = Q1(I, J)
K = I - 1
DO WHILE (AUX < Q1(K, J))
Q1(K + 1, J) = Q1(K, J)
K = K - 1
LOOP
Q1(K + 1, J) = AUX
NEXT I
NEXT J
FOR J = 1 TO ar
QM1(I, J) = Q1(DR, J)
NEXT J
CALL IMPRE(AR, IAR, DR, Q10)
END SUB

```

```

SUB PROM (ar, DR, N, AUX10, Q20, Q30)
FOR J = 1 TO ar
FOR I = 1 TO DR - 1
Q3(I, J) = ((Q20(I, J) * (N - 1)) + AUX10(I + N - 1, J)) / N
NEXT I
NEXT J
END SUB

```

```

SUB PROMEDIOS (ar, DR, N, AUX10, Q20)
FOR J = 1 TO ar
FOR I = 1 TO DR - 1
Q2(I, J) = (AUX10(I, J) + AUX10(I + 1, J)) / N
NEXT I
NEXT J
END SUB

```