



UNIVERSIDAD  
SAN SEBASTIAN

SEDE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**Comparación de estimación de crecidas a través de métodos directos e indirectos en cuencas pluviales**

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil

Profesor Guía: Patricio Fuentes Aguilera

Alumno: Edgar Inostroza Adasme

Concepción, enero 2019

© (Edgar A. Inostroza Adasme) Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento siempre y cuando se incluya cita bibliográfica del documento.

## HOJA DE CALIFICACIÓN

En Concepción, el 28-01-2019, los abajo firmantes dejan constancia que el (la) alumno (a) Edgar Inostroza Adasme de la carrera Ingeniería Civil ha aprobado la memoria para Optar al título de Ingeniero Civil con una nota de \_\_\_\_\_.

---

Profesor Patricio Fuentes Aguilera

---

Profesor Msc Rody Toro Picarte

## Índice

|                                                        |   |
|--------------------------------------------------------|---|
| 1. Capítulo 1: Introducción .....                      | 1 |
| 1.1. Introducción .....                                | 1 |
| 1.2. Justificación .....                               | 1 |
| 1.3. Objetivos .....                                   | 4 |
| 1.3.1. Objetivo general.....                           | 4 |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                      | 4 |
| 1.4. Alcances.....                                     | 5 |
| 1.5. Metodología .....                                 | 5 |
| 1.6. Diagrama Gantt .....                              | 5 |
| 2. Capítulos 2: Marco teórico .....                    | 1 |
| 2.1. Estaciones meteorológicas y fluviométricas .....  | 2 |
| 2.2. Estaciones fluviométricas .....                   | 1 |
| 2.3. Curva de variación estacional .....               | 1 |
| 2.4. Cuencas pluviales.....                            | 1 |
| 2.5. Métodos directos .....                            | 2 |
| 2.6. Métodos indirectos.....                           | 1 |
| 2.6.1. Método DGA-AC .....                             | 1 |
| 2.6.2. Método de Verni y King .....                    | 2 |
| 3. Resultados.....                                     | 1 |
| 3.1. Verificación régimen hidrológico .....            | 1 |
| 3.2. Generación de cuencas pluviales .....             | 2 |
| 3.3. Aplicación de métodos directos e indirectos ..... | 1 |
| 4. Conclusiones y sugerencias .....                    | 1 |
| 4.1. Conclusiones .....                                | 1 |
| 4.2. Sugerencias .....                                 | 2 |
| 5. Referencias.....                                    | 1 |

## Índice de tablas

|                                                                |   |
|----------------------------------------------------------------|---|
| Tabla 2.1 Valor límite para el test de Kolmogorov-Smirnov..... | 1 |
| Tabla 3.1 Río Cato resultados .....                            | 1 |
| Tabla 3.2 Diferencias entre métodos.....                       | 1 |
| Tabla 3.3 Río Cautín resultados .....                          | 1 |
| Tabla 3.4 Diferencias entre métodos.....                       | 1 |
| Tabla 3.5 Río Diguillín resultados .....                       | 1 |
| Tabla 3.6 Diferencias entre métodos.....                       | 1 |
| Tabla 3.7 Río Itata resultados.....                            | 2 |
| Tabla 3.8 Diferencias entre métodos.....                       | 2 |
| Tabla 3.9 Río Lircay resultados .....                          | 1 |
| Tabla 3.10 Diferencias entre métodos.....                      | 1 |
| Tabla 3.11 Río Purapel Resultados .....                        | 2 |
| Tabla 3.12 Diferencias entre métodos.....                      | 2 |
| Tabla 3.13 Resultados Río Quepe.....                           | 1 |
| Tabla 3.14 Diferencias entre resultados .....                  | 1 |
| Tabla 3.15 Resultados Río Quino.....                           | 2 |
| Tabla 3.16 Diferencia entre métodos.....                       | 2 |
| Tabla 3.17 Resultados Río Toltén .....                         | 1 |
| Tabla 3.18 Diferencias entre métodos.....                      | 1 |
| Tabla 3.19 Resultados Río Cauquenes.....                       | 2 |
| Tabla 3.20 Diferencias entre métodos.....                      | 2 |
| Tabla 3.21 Comparación Río Cato .....                          | 1 |
| Tabla 3.22 Comparación Río Cautín .....                        | 1 |
| Tabla 3.23 Comparación Río Diguillín .....                     | 1 |
| Tabla 3.24 Comparación Río Itata.....                          | 1 |
| Tabla 3.25 Comparación Río Lircay .....                        | 1 |
| Tabla 3.26 Comparación Río Purapel .....                       | 1 |
| Tabla 3.27 Comparación Río Quepe .....                         | 1 |
| Tabla 3.28 Comparación Río Quino .....                         | 1 |

## Índice de tablas

|                                            |   |
|--------------------------------------------|---|
| Tabla 3.29 Comparación Río Toltén .....    | 1 |
| Tabla 3.30 Comparación Río Cauquenes ..... | 1 |

## **Capítulo 1: Introducción**

### **1.1. Introducción**

En Chile la estimación de caudales de crecida se realiza por medio de métodos estadísticos y cuando no se cuentan con registros, o en su defecto, no tienen la longitud temporal óptima de 25 años, la Dirección General de Aguas (DGA) ofrece métodos indirectos de carácter empírico.

Existen diferencias en cuanto a los resultados obtenidos al emplear cada uno de los dos métodos indicados para un mismo caso de estudio. Por lo anterior, se sugiere que la diferencia podría variar con los años de periodo de retorno utilizado en la estimación. Producto de esto, se busca establecer relaciones (de existir) a partir de los métodos empleados actualmente y con ello mejorar el criterio a futuro de diseño en cuencas con régimen pluvial.

### **1.2. Justificación**

Chile es uno de los países con mayor reserva de agua dulce en el mundo, la mayoría de este recurso hídrico se concentra en ríos, lagos y humedales que se alimentan producto de aguas subterráneas, deshielo de nieve en las montañas y la lluvia. Por ello se estableció como enfoque los ríos pertenecientes a cuencas con régimen pluvial.

La definición de caudales de crecida juega un papel fundamental al momento de concretar o no un proyecto hidráulico, vial o agrícola.

En abril de 2016 ocurrió el desborde del río Mapocho, evento que no se había registrado en 29 años, producto de “error humano”. El proyecto “Santiago Centro Oriente” se encontraba en construcción y su finalidad era descongestionar el flujo vehicular con túneles y puentes. La constructora fue alertada de un sistema frontal con intensas lluvias, por lo cual se instaló un canal provisorio en la zona de faenas

## Capítulo 1: Introducción

para impedir que el agua entrara a los túneles en construcción. Sin embargo, éste fue diseñado para un caudal de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , que se vio superado por los  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  que el río llegó a alcanzar.

El gerente general de Costanera Norte, replica que el canal de desvío de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  fue autorizado con esa capacidad hasta el 1 de mayo de 2016 por el propio Ministerio de Obras Públicas (MOP), sobre la base de los caudales que el río ha presentado históricamente en los meses de abril según los datos recopilados de las estaciones.

"El canal aguantó perfectamente bien hasta los  $112 \text{ m}^3/\text{s}$ , y reventó cuando el río empezó a pasar por sobre los  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ", un caudal que para este mes se da cada 50 años o más, precisa.

Equipo de crónica (18 de abril de 2016). Los errores que causaron el primer desborde del río Mapocho en 29 años. *El Mercurio*. Recuperado de <http://www.elmercurio.com/blogs/2016/04/18/41052/Los-errores-que-causaron-el-primer-desborde-del-Mapocho-en-29-anos.aspx>

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo general

Analizar las diferencias en la estimación de crecidas en cuencas pluviales de métodos directos e indirectos.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Verificar régimen hidrológico de cada cuenca.
- Verificar las diferencias entre resultados de métodos directos e indirectos y comprobar si existe una tendencia a mayor periodo de retorno.

### 1.4. Alcances

Estimar crecidas con métodos directos utilizando regresión lineal Normal, Log-Normal, Gumbel, Gamma y Pearson e indirectos utilizando DGA-AC y Verni King según el manual de la DGA en cuencas pluviales que estén dentro de la ex III y ex IX región de Chile.

### 1.5. Metodología

El proyecto de título busca cuantificar las diferencias entre los métodos directos e indirectos para la estimación de caudales de crecida.

Se estudiarán 10 ríos con un régimen hidrológico pluvial. Se busca incluir gran cantidad de ríos que cumplan con la disponibilidad de información dentro de las restricciones del Manual de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica de la Dirección General de Aguas. Por otro lado, los registros que sean seleccionados en el proyecto para los análisis hidrológicos deben tener una extensión mínima de 25 años para ser considerados estadísticamente válidos (Dirección General de Aguas, 2016, p.58)

Para obtener la curva de variación estacional (CVE), y con ello verificar el régimen hidrológico de la cuenca en estudio, se debe aplicar el Test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov a los datos de caudal medio mensual recopilados de la base de la Dirección de Aguas. Luego, a partir de probabilidades de ocurrencia se estiman los caudales de crecida correspondiente a cada periodo de retorno.

Para la elaboración de las cuencas hidrográficas, se utilizarán las herramientas computacional *Google Earth* y *Global Mapper* en conjunto. Finalmente se procede al cálculo de los caudales crecida a través de métodos directos (estadística) y métodos indirectos (ecuaciones de carácter empírico). Se comparan ambos resultados con el fin de cuantificar y calificar las diferencias.

A continuación, en la Figura1.1, se muestra el diagrama de flujo de la metodología.

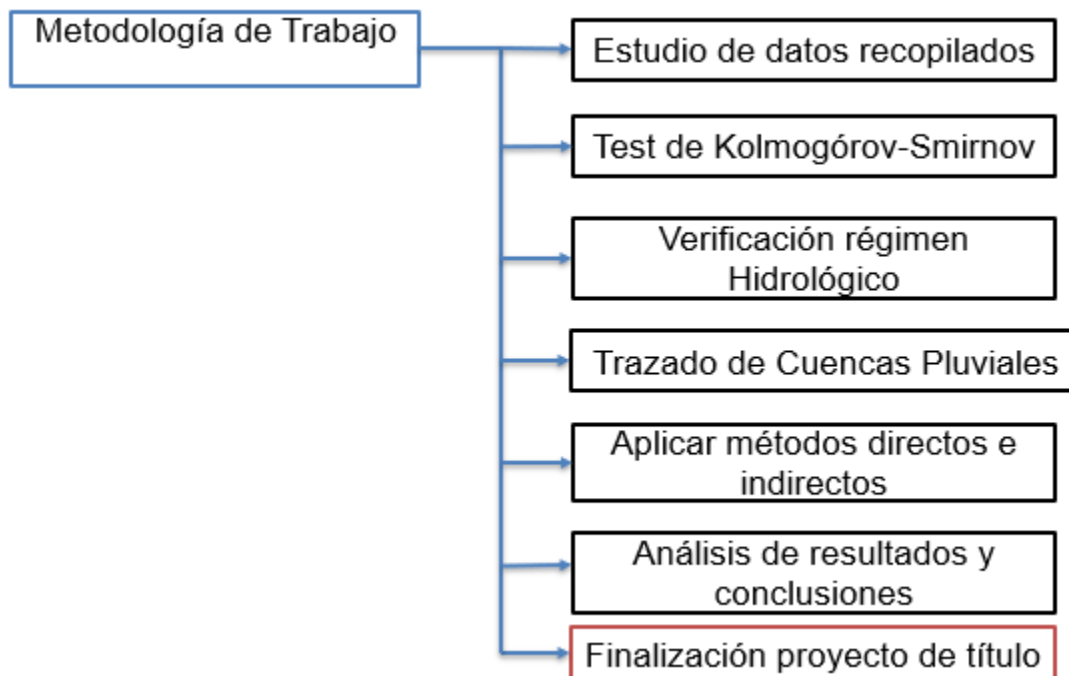


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1 Diagrama de metodología (Elaboración propia)

## Capítulos 2: Marco teórico

Antes de comenzar con la descripción de toda la base en que se justifica la memoria de título, se definen unos términos del lenguaje ingenieril respectivos.

Test de Bondad de Ajuste: “La prueba de ajuste de Sminov-Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo”  
“Cahuana, A., Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. (Trabajo Dirigido Por Adscripción, Presentado Para Optar al Diploma Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad Mayor de San Ramon, Cochabamba.”

Nivel de significancia o valor de confiabilidad: Es la probabilidad de que el parámetro a estimar se encuentre en el intervalo de confianza. El nivel de confianza ( $p$ ) se designa mediante  $1 - \alpha$ , y se suele tomar en tanto por ciento. Los niveles de confianza más usuales son: 90%; 95% y 99%. El nivel de significación se designa mediante  $\alpha$ .

Probabilidad de ocurrencia: La probabilidad de ocurrencia de un evento determinado, es decir, el nivel de certeza que tenemos de que ocurra dicho suceso.

Periodo de retorno: Se utiliza para mostrar la probabilidad de que se presente una avenida con determinado caudal o superior en un año cualquiera.

Hidrograma o Curva de variación estacional: Es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, entre otros.

Cuenca pluvial: Es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río abastecido por las lluvias estacionales.

Caudal: Cantidad de agua que lleva un río, estero, canal, etc.

### 2.1. Estaciones meteorológicas y fluviométricas

La Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (DGA-MOP) cuenta con estaciones meteorológicas y fluviométricas a lo largo de todo Chile tal y como se muestra en la Figura 2.1. Los registros de precipitación, caudal (entre otros indicadores) son de carácter público y están disponibles dentro de la base de datos de la DGA.



Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1. Estaciones meteorológicas (Fuente: Elaboración propia)

## 2.2. Estaciones fluviométricas

Estación para la determinación de caudales por medio de lecturas periódicas sobre una regla graduada llevadas a cabo por un observador. La frecuencia de las lecturas es de dos veces por día. Se ubican siempre a un costado del río.

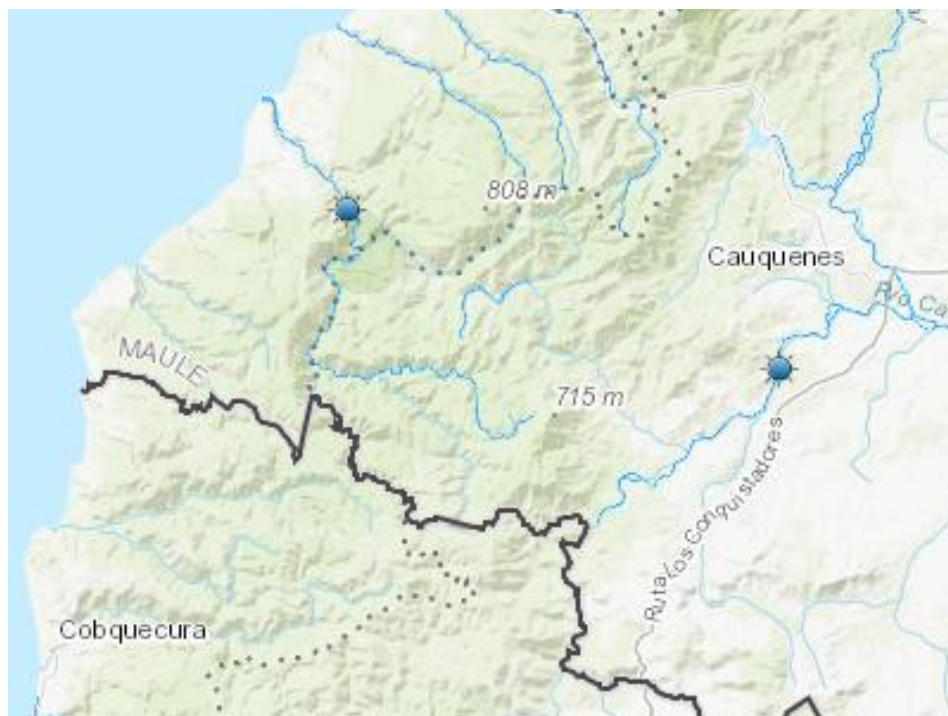


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2 Estaciones fluviométricas (Fuente: Elaboración propia)

## 2.3. Curva de variación estacional

Muestra las tendencias de la escorrentía que se asocian con los aspectos morfológicos, geológicos y climáticos de la cuenca. Es producto de la aplicación de modelos probabilísticos a fenómenos hidro-meteorológicos.

## Capítulo 2: Marco teórico

Según el libro “Análisis estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. Autor: Fernando Escobar Cáceres (1992)”. Se efectuó, para cada estación en estudio, un análisis del comportamiento hidrológico de los cauces controlados, destinado a clasificarlos de acuerdo con el régimen hidrológico que ellos presentan.

Se emplea la herramienta de *software* EXCEL 2013 para el desarrollo y gráfica de la curva de variación estacional. Una vez recopilados los datos fluviométricos es necesario conocer el hidrograma de los ríos estudiados y verificar el régimen pluvial de la cuenca, para ello se aplica el test K-S a cada río cada mes donde se analiza a qué tipo de distribución se ajusta más y estimar los caudales según su probabilidad de ocurrencia, se considera la siguiente ecuación: Weibull

$$\text{Weibull} = \frac{M}{N+1}$$

**hay texto con el estilo especificado en el documento..1**

**¡Error! No**

Donde M corresponde al número de orden de la muestra y N es el número de datos. La Ec. 2.1 entrega la distribución de densidad Weibull, la cual según el test K-S se compara con las distribuciones Normal, Log-Normal, Gumbel, Gamma y Pearson, y verificar el ajuste en la relación a un valor límite impuesto por el número de datos (Tabla 2.1). Si hubiera más de una distribución que se ajuste a los datos, se escogerá la que presente el menor valor de diferencia entre la distribución Weibull y las demás distribuciones de probabilidad mencionadas (Villón Máximo, 2000).

## Capítulo 2: Marco teórico

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1 Valor límite para el test de Kolmogorov-Smirnov

con relación al nivel de significancia

| Tamaño Muestral N | Nivel de Significancia $\alpha$ |                         |                         |                         |                         |
|-------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                   | 0,20                            | 0,15                    | 0,10                    | 0,05                    | 0,01                    |
| 1                 | 0,900                           | 0,925                   | 0,950                   | 0,975                   | 0,995                   |
| 2                 | 0,684                           | 0,726                   | 0,776                   | 0,842                   | 0,929                   |
| 3                 | 0,565                           | 0,597                   | 0,642                   | 0,708                   | 0,828                   |
| 4                 | 0,494                           | 0,525                   | 0,564                   | 0,624                   | 0,733                   |
| 5                 | 0,446                           | 0,474                   | 0,510                   | 0,565                   | 0,669                   |
| 6                 | 0,410                           | 0,436                   | 0,470                   | 0,521                   | 0,618                   |
| 7                 | 0,381                           | 0,405                   | 0,438                   | 0,486                   | 0,577                   |
| 8                 | 0,358                           | 0,381                   | 0,411                   | 0,457                   | 0,543                   |
| 9                 | 0,339                           | 0,360                   | 0,388                   | 0,432                   | 0,514                   |
| 10                | 0,322                           | 0,342                   | 0,368                   | 0,410                   | 0,490                   |
| 11                | 0,307                           | 0,326                   | 0,352                   | 0,391                   | 0,468                   |
| 12                | 0,295                           | 0,313                   | 0,338                   | 0,375                   | 0,450                   |
| 13                | 0,284                           | 0,302                   | 0,325                   | 0,361                   | 0,433                   |
| 14                | 0,274                           | 0,292                   | 0,314                   | 0,349                   | 0,418                   |
| 15                | 0,266                           | 0,283                   | 0,304                   | 0,338                   | 0,404                   |
| 16                | 0,258                           | 0,274                   | 0,295                   | 0,328                   | 0,392                   |
| 17                | 0,250                           | 0,266                   | 0,286                   | 0,318                   | 0,381                   |
| 18                | 0,244                           | 0,259                   | 0,278                   | 0,309                   | 0,371                   |
| 19                | 0,237                           | 0,252                   | 0,272                   | 0,301                   | 0,363                   |
| 20                | 0,231                           | 0,246                   | 0,264                   | 0,294                   | 0,356                   |
| 25                | 0,210                           | 0,220                   | 0,240                   | 0,270                   | 0,320                   |
| 30                | 0,190                           | 0,200                   | 0,220                   | 0,240                   | 0,290                   |
| 35                | 0,180                           | 0,190                   | 0,210                   | 0,230                   | 0,270                   |
| >35               | $\frac{1,07}{\sqrt{N}}$         | $\frac{1,14}{\sqrt{N}}$ | $\frac{1,22}{\sqrt{N}}$ | $\frac{1,36}{\sqrt{N}}$ | $\frac{1,63}{\sqrt{N}}$ |

(Fuente: Villon Máximo, 2000)

### 2.4. Cuencas pluviales

Una vez verificado el régimen de la cuenca se procede a elaborar esta con el *software Global Mapper*. Esta herramienta analiza la morfología del terreno, los ríos que alimentan el cauce principal (río en estudio) y genera la cuenca hidrográfica, utilizando como base un mapa de elevación digital con pixecel de 30x30m. Dentro de los resultados obtenidos de Global Mapper, se incluyen el área y perímetro de la cuenca, longitud del cauce principal, centro de masa, etc.

## 2.5. Métodos directos

Se emplea el uso de la herramienta de *software* Excel 2013 para el desarrollo y cálculos implicados. Las funciones teóricas son Normal, Log-Normal, Gumbel, Gamma y Pearson.

A continuación, se expresan las funciones teóricas:

### Distribución de densidad Normal

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S} \cdot e^{\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\bar{x}}{S}\right)^2\right)}$$

¡Error!

No hay texto con el estilo especificado en el documento..2

Donde:

$$\bar{x} = \mu = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad S = \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

### Distribución de densidad Log-Normal

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{x \cdot \beta} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2}$$

¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3

Donde:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n} \quad \beta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n}}$$

### Distribución de densidad Pearson

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{(x-x_0)^{(\gamma-1)} \cdot e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \cdot \Gamma(\gamma)} dx$$

¡Error!

No hay texto con el estilo especificado en el documento..4

Donde:

$$\gamma = \frac{4}{(C_S)^2} \quad \beta = C_S \cdot \frac{S}{2} \quad x_0 = \bar{x} - \frac{2 \cdot S}{C_S} \quad S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

### Distribución de densidad Gumbel

$$f_{(x)} = \frac{1}{\alpha} \cdot e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)} \cdot (-e)^{\left\{-\frac{x-u}{\alpha}\right\}}$$

¡Error!

No hay texto con el estilo especificado en el documento..5

Donde:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot S = 0,77966801S \quad u = \bar{x} - 0,45S$$

El procedimiento por seguir es igual al cálculo de la curva de variación estacional con la diferencia que en este caso se usan datos de caudales máximos anuales. Los caudales se estimaron para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

### 2.6. Métodos indirectos

El manual para la estimación de crecidas de la DGA-MOP menciona que estos métodos son válidos para cuencas pluviales o pluvionivales sin información fluviométrica y con áreas entre 20 y 10000 km<sup>2</sup>. Su uso está restringido a períodos de retornos menor o iguales a 100 años.

#### 2.6.1. Método DGA-AC

El método corresponde a un análisis regional de crecidas de origen pluvial, basado en series máximos anuales generadas a partir de la información de caudales medios diarios máximos e instantáneos máximos del periodo pluvial, de 234 estaciones de control fluviométrico.

Se identifica la zona homogénea y se ubica la curva de frecuencia adimensional correspondiente, disponible en el Manual de la DGA.

## Capítulo 2: Marco teórico

Se procede a la determinación del caudal medio diario máximo de periodo de retorno de 10 años, es la variable usada para dimensionar y analizar las curvas de frecuencia regional, para su cálculo se plantean relaciones que dependen de la región en que se ubique la cuenca, disponibles en el Manual de la DGA.

Por último, determinar el caudal instantáneo máximo. “El factor de conversión ( $\alpha$ ) de caudal medio diario máximo a caudal instantáneo máximo, se determina en función de la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca”. Los valores se encuentran disponibles en el Manual de la DGA. (Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica, 1995, p.51)

$$Q_{10} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot A_p^{(0,973)} \cdot (P_{24}^{10})^{1,224}$$

**¡Error!**

**No hay texto con el estilo especificado en el documento..6**

Donde:

$Q_{10}$ : Caudal medio diario máximo de periodo de retorno 10 años, expresado en m<sup>3</sup>/s.

$A_p$ : Área pluvial de la cuenca, expresada en km<sup>2</sup>.

$P_{24}^{10}$ : Precipitación diaria máxima de periodo de retorno de 10 años, expresada en mm.

### 2.6.2. Método de Verni y King

Este método está basado en la fórmula de Verni y King, que relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias, disponible en el Manual de la DGA.

Primero se procede a la determinación del coeficiente empírico para periodos de retorno 10 años, depende de la región en que se ubique la cuenca, disponible en el Manual de la DGA. Luego se determina la curva de frecuencias para el coeficiente empírico que depende de los periodos de retorno y la zona de la cuenca, por último, se estima precipitación diaria máxima asociada al periodo de retorno de T años, expresada en milímetros  $p_{24}$ .

## Capítulo 2: Marco teórico

Con los parámetros establecidos se calcula curva de frecuencias de caudal instantáneo máximo. (Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica, 1995, p.53)

La siguiente formula corresponde para la 7ma a 9na región:

$$Q = C(T) \cdot 0,00618 \cdot P_{24}^{1,24} \cdot A_p^{0,88}$$

**¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..7**

Donde:

Q: Caudal instantáneo máximo asociado al periodo de retorno T años, expresado en m<sup>3</sup>/s.

C(T): Coeficiente empírico de periodo de retorno T años.

P<sub>24</sub> : Precipitación diaria máxima asociada al periodo de retorno de T años, expresada en mm.

A<sub>p</sub>: Área pluvial de la cuenca, expresada en km<sup>2</sup>.

## Capítulo 3: Resultados

### 3.1. Verificación régimen hidrológico

En la Figura 3.1 y la siguientes se muestra el régimen hidrológico de las cuencas donde sus máximos caudales son para las épocas de otoño e invierno, correspondiente a un régimen pluvial.

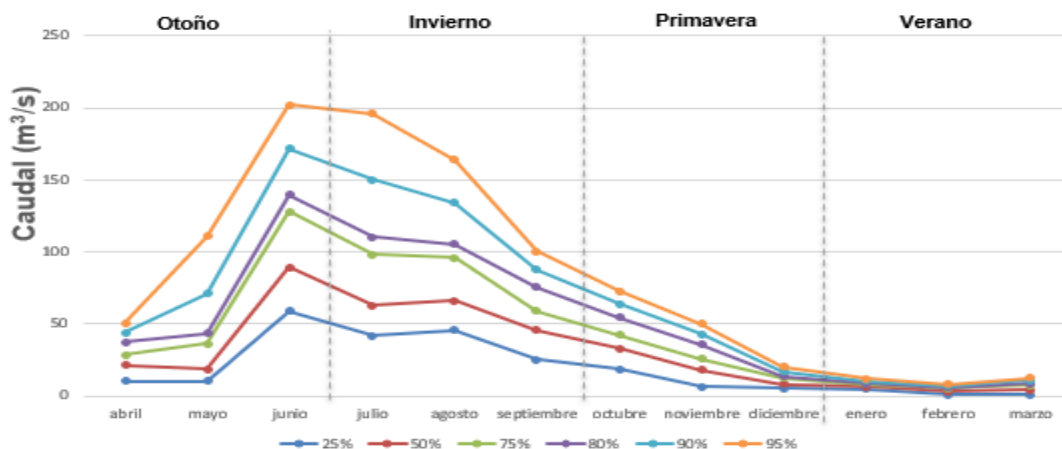


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3 Curva variación estacional Río Cato (Fuente: Elaboración propia)

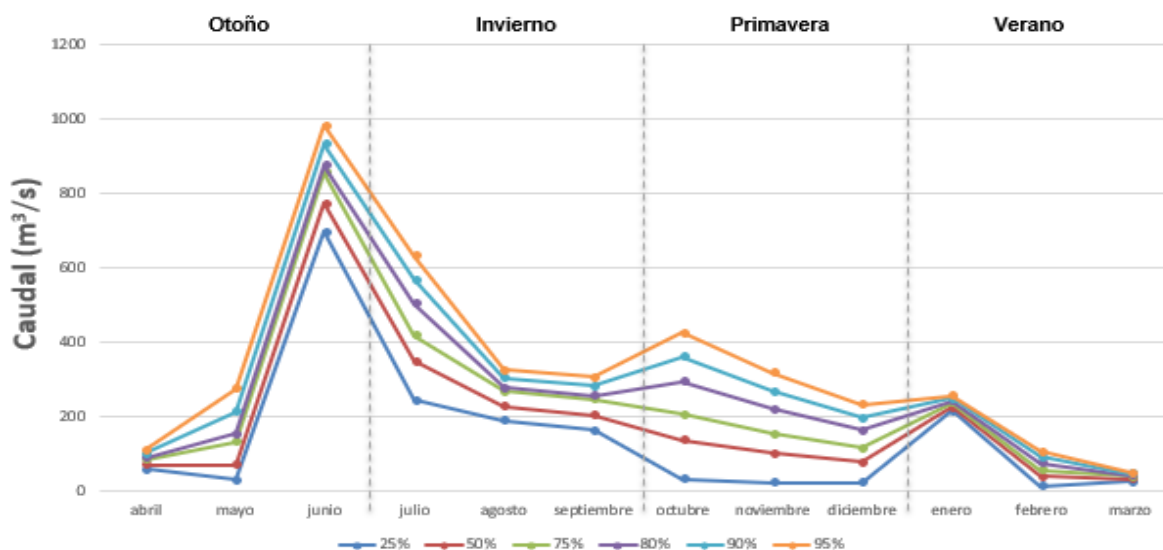


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4 Curva variación estacional Río Cautín (Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

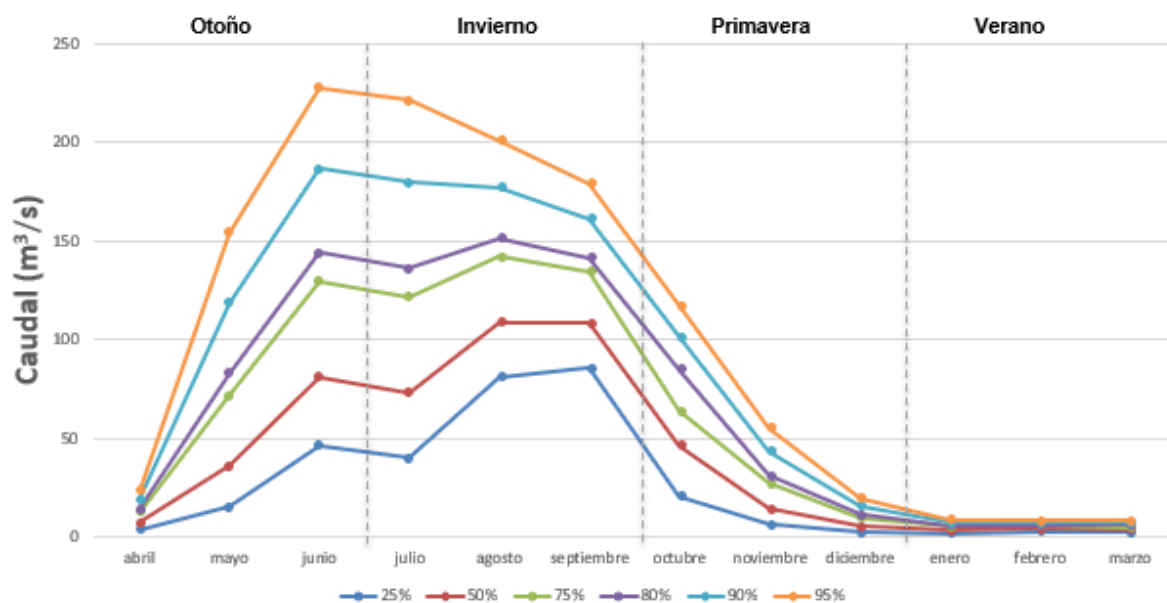


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5 Curva variación estacional Río Diguillín (Fuente: Elaboración propia)

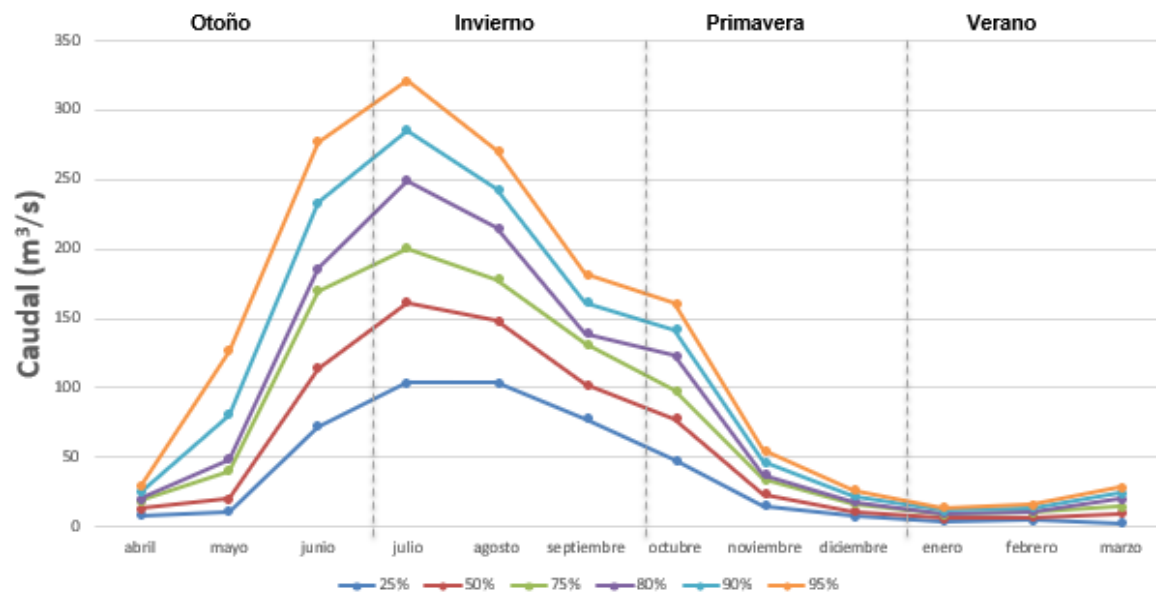


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..6 Curva variación estacional Río Itata (Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 3: Resultados

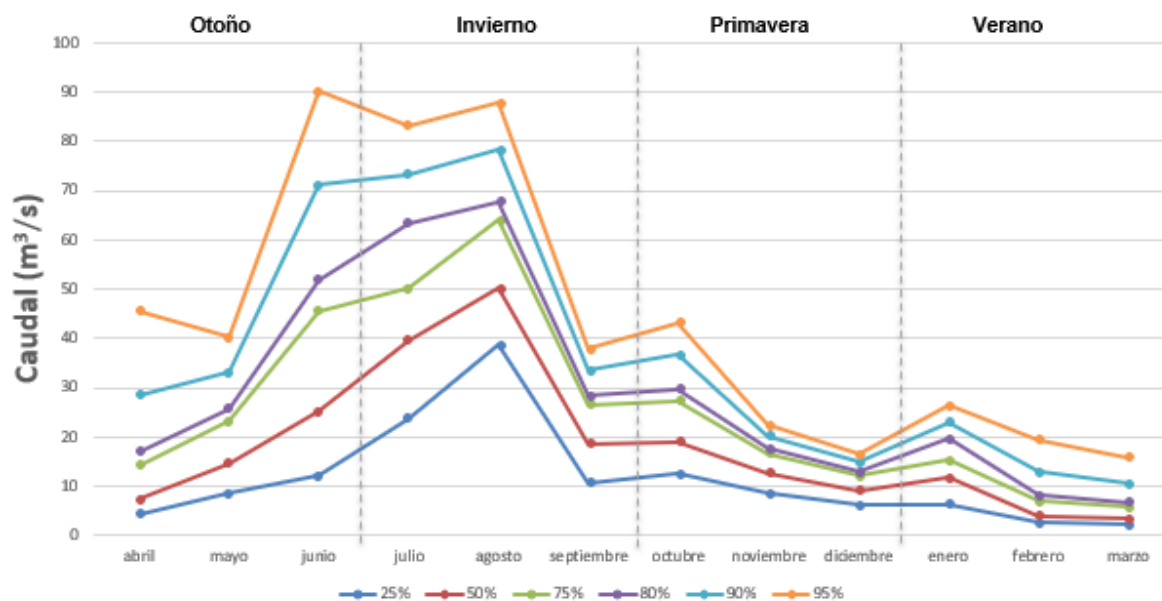


Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..7** Curva variación estacional Río Lircay (Fuente: Elaboración propia)

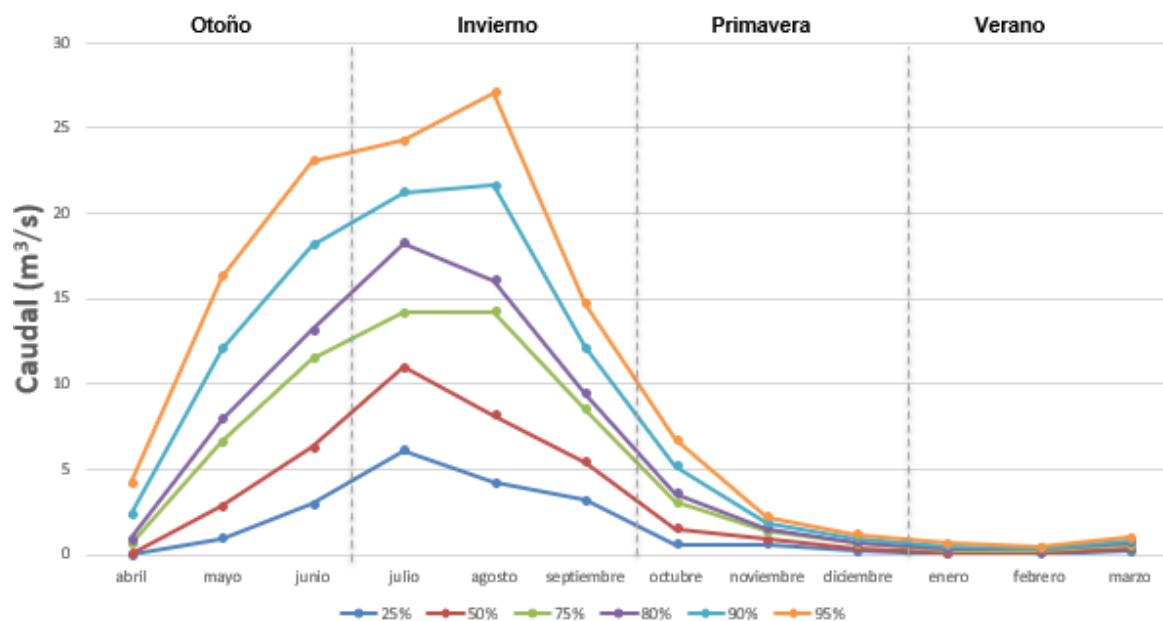


Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..8** Curva variación estacional Río Purapel (Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 3: Resultados

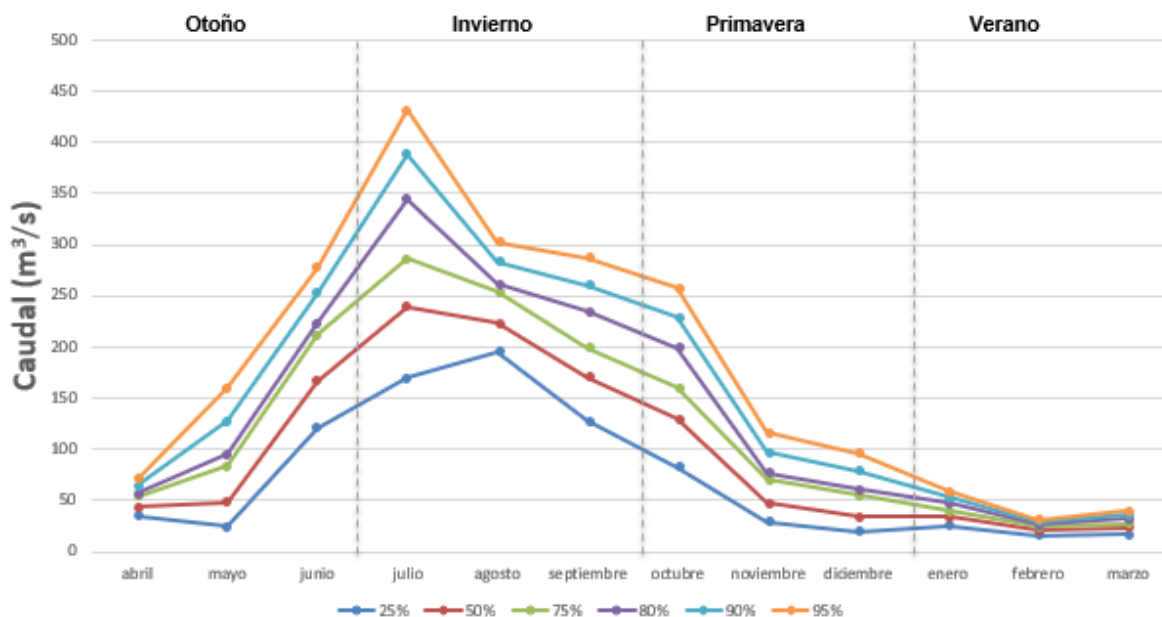


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..9 Curva variación estacional Río Quepe (Fuente: Elaboración propia)

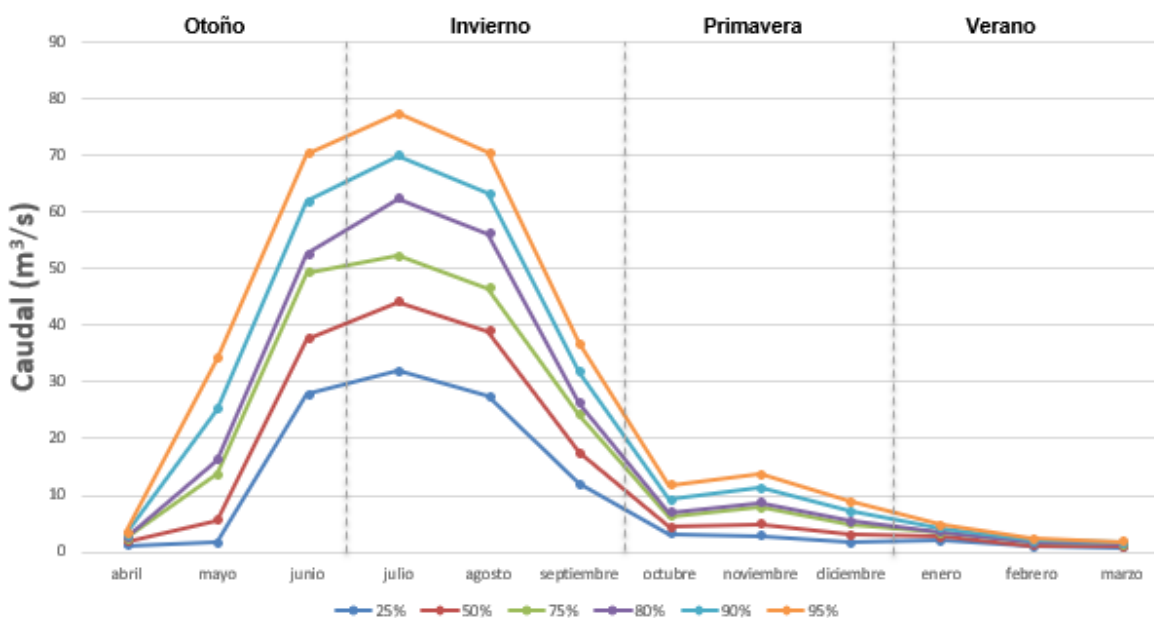


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..10 Curva variación estacional Río Quino (Fuente: Elaboración propia)



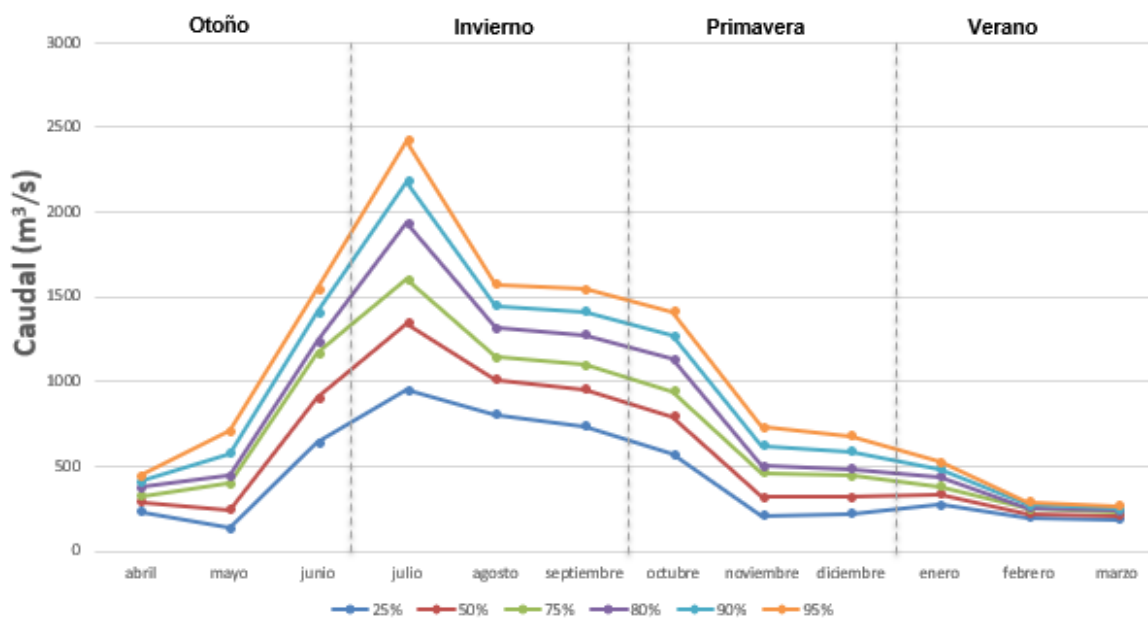


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..11 Curva variación estacional Río Toltén (Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 3: Resultados

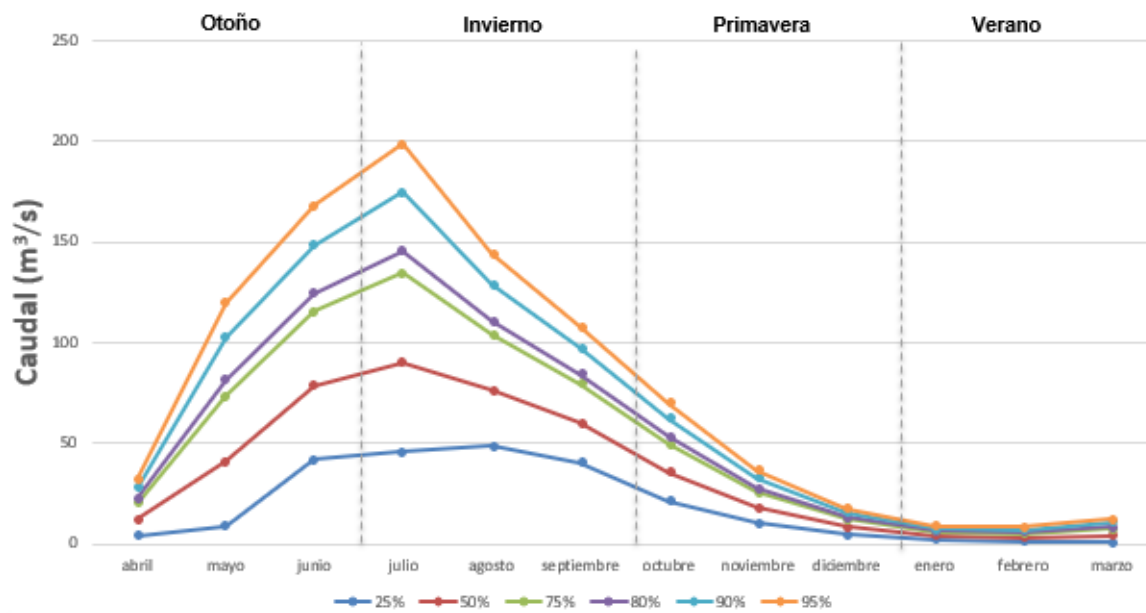


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..12 Curva variación estacional Río Cauquenes (Fuente: Elaboración propia)

### 3.2. Generación de cuencas pluviales

Verificado el régimen hidrológico, se procede a generar la cuenca pluvial para cada río y con ello obtener su área.

Superficie: 962,3 km<sup>2</sup>

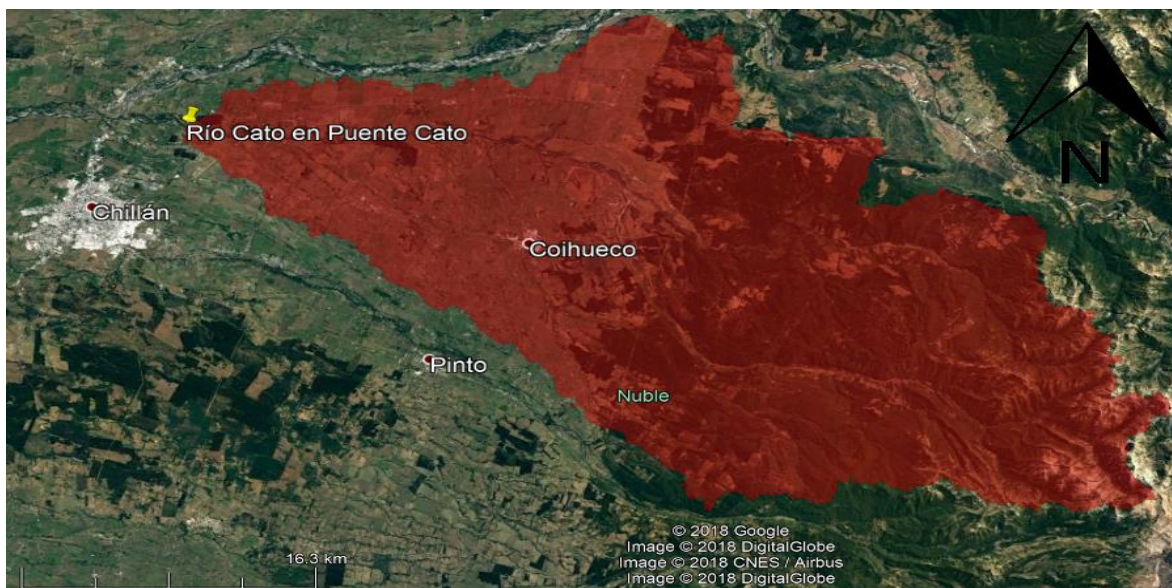


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..13 Cuenca Río Cato  
(Fuente: Elaboración propia)

Superficie: 2769 km<sup>2</sup>

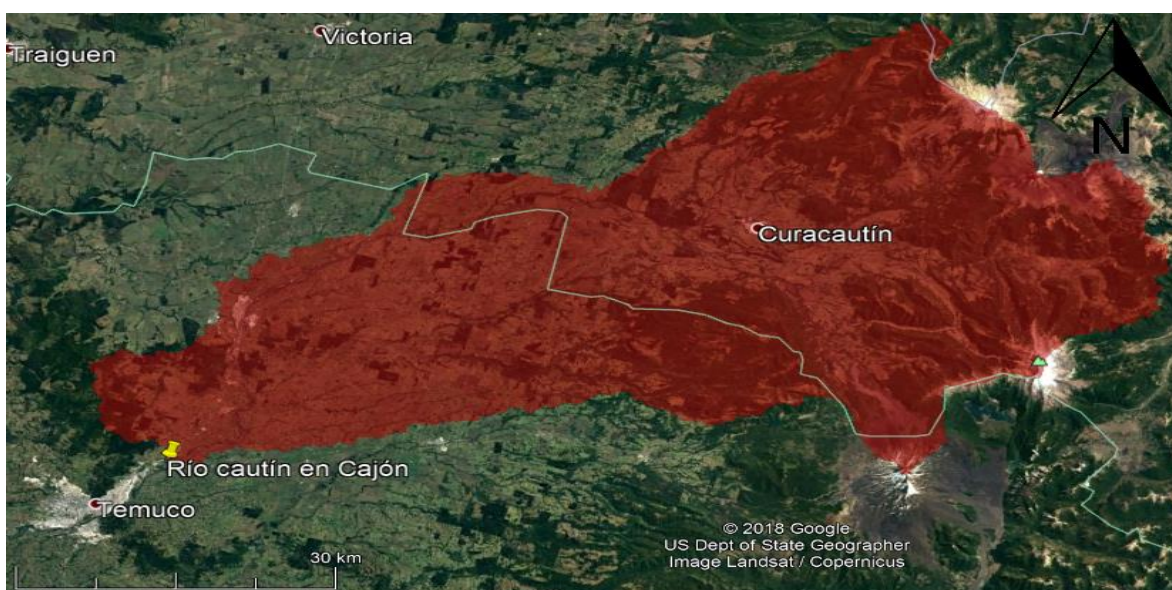


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..14 Cuenca Río Cautín  
(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

Superficie: 1340,1 km<sup>2</sup>



Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..15 Cuenca Río Diguillín  
(Fuente: Elaboración propia)

Superficie: 1721,61 km<sup>2</sup>

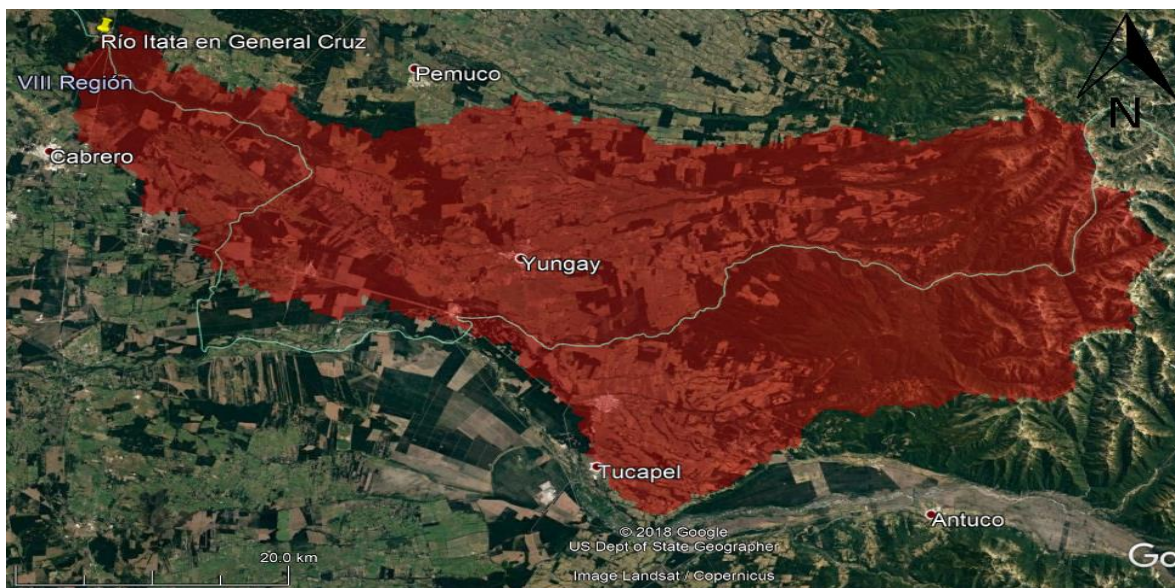


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..16 Cuenca Río Itata  
(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

Superficie: 380,95 km<sup>2</sup>



Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..17 Cuenca Río Lircay  
(Fuente: Elaboración propia)

Superficie: 344,05 km<sup>2</sup>

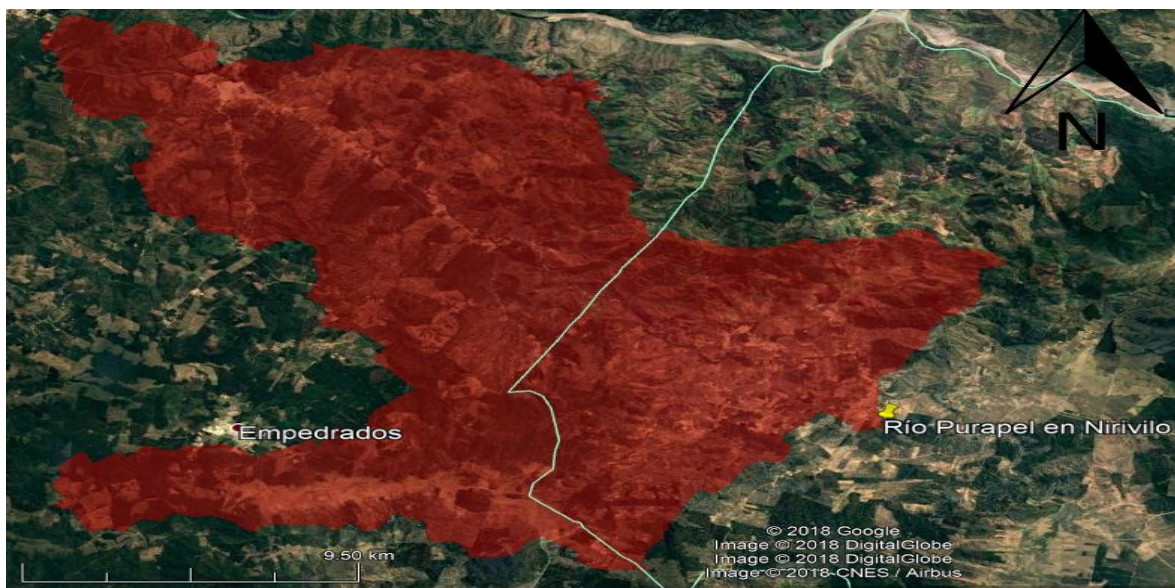


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..18 Cuenca Río Purapel  
(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

Superficie: 1077,9 km<sup>2</sup>

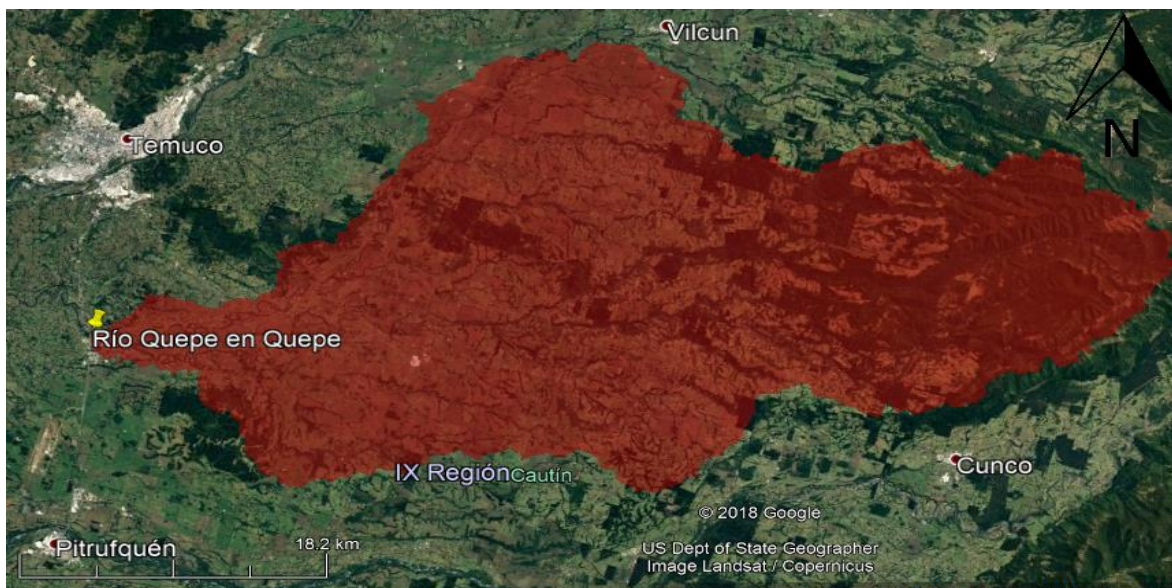


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..19 Cuenca Río Quepe  
(Fuente: Elaboración propia)

Superficie: 450,01 km<sup>2</sup>

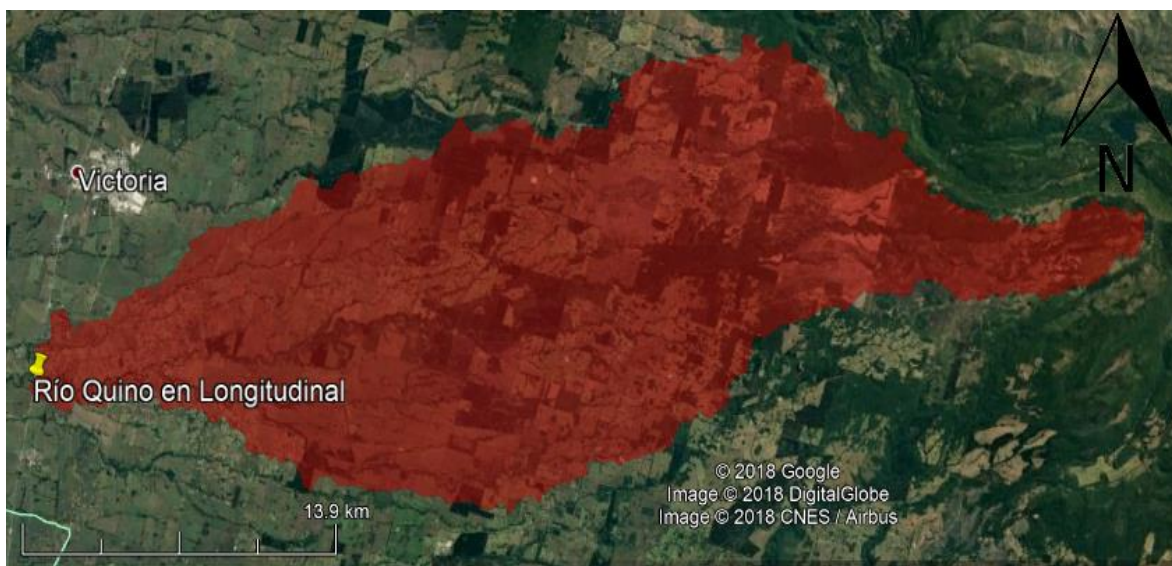


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..20 Cuenca Río Quino  
(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

Superficie: 7908,1 km<sup>2</sup>

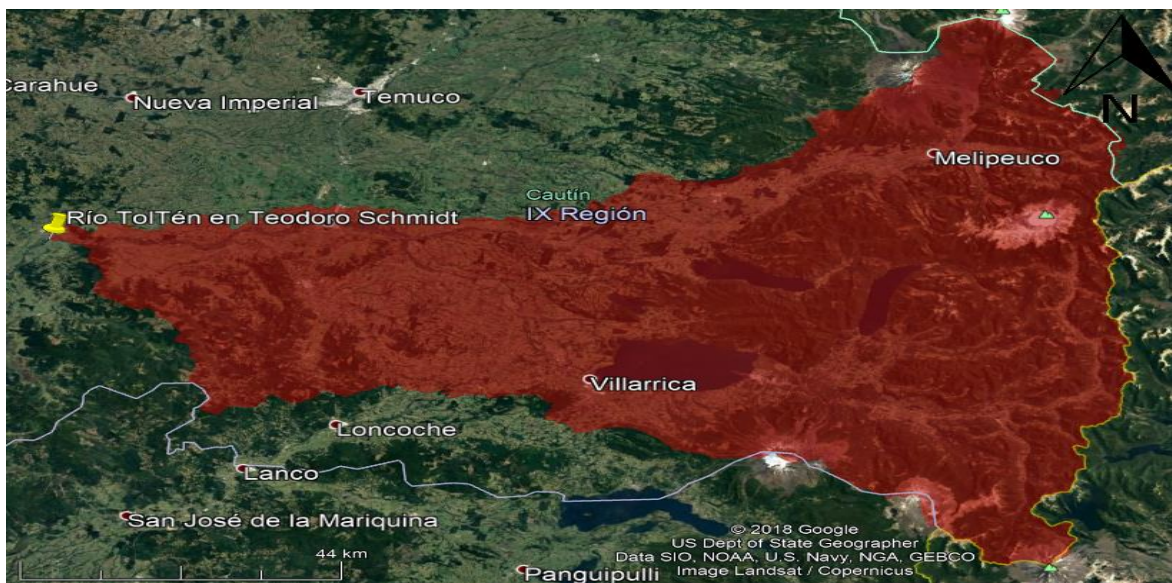


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..21 Cuenca Río Toltén  
(Fuente: Elaboración propia)

Superficie: 571,38 km<sup>2</sup>

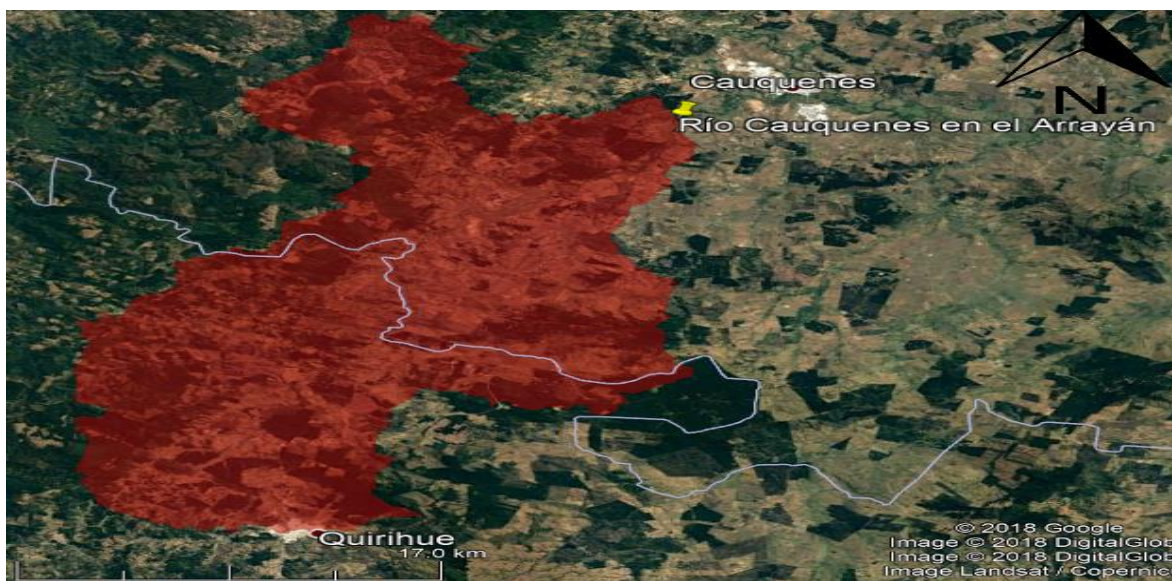


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..22 Cuenca Río  
Cauquenes (Fuente: Elaboración propia)

### 3.3. Aplicación de métodos directos e indirectos

#### Río Cato

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2 Río Cato resultados

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Método Directo<br>(m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-<br>AC (m <sup>3</sup> /s) | Método Verni<br>King (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| 2                            | 687,88                                | 498,36                                | 577,07                                   |
| 5                            | 1058,78                               | 756,77                                | 815,06                                   |
| 10                           | 1278,78                               | 922,89                                | 854,91                                   |
| 25                           | 1533,91                               | 1135,16                               | 1123,86                                  |
| 50                           | 1710,24                               | 1301,28                               | 1304,91                                  |
| 100                          | 1876,73                               | 1458,17                               | 1476,30                                  |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3 Diferencias entre  
métodos

| Diferencia entre M.<br>Directo Y M. DGA | Diferencia entre<br>M. Directo Y M. VK |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 27,6%                                   | 16,1%                                  |
| 28,5%                                   | 23,0%                                  |
| 27,8%                                   | 33,1%                                  |
| 26,0%                                   | 26,7%                                  |
| 23,9%                                   | 23,7%                                  |
| 22,3%                                   | 21,3%                                  |

(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

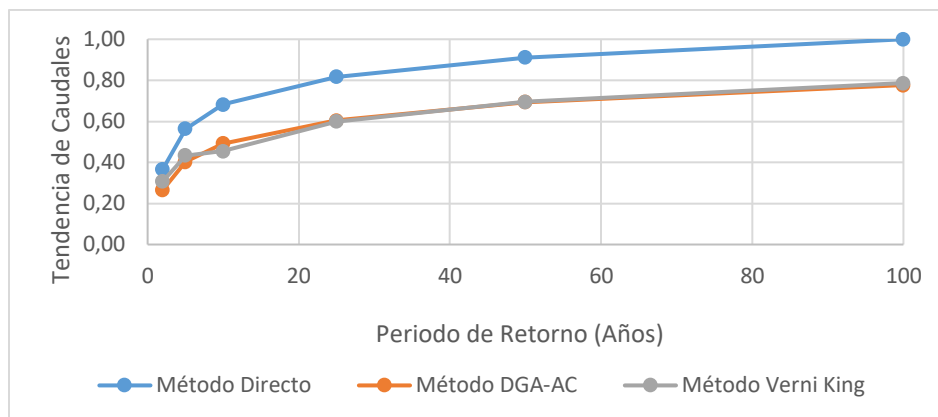


Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..23** Tendencias de resultados (Fuente: Elaboración propia)

## Río Cautín

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4 Río Cautín resultados

| Periodo retorno (Años) | Método Directo (m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC (m <sup>3</sup> /s) | Método Verni King (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 2                      | 939,98                             | 747,62                            | 971,79                                |
| 5                      | 1352,81                            | 1064,40                           | 1329,34                               |
| 10                     | 1626,13                            | 1267,15                           | 1544,53                               |
| 25                     | 1971,48                            | 1533,25                           | 1791,33                               |
| 50                     | 2227,68                            | 1723,32                           | 2020,95                               |
| 100                    | 2481,99                            | 1913,39                           | 2156,96                               |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5 Diferencias entre métodos

| Diferencia entre M. Directo Y M. DGA | Diferencia entre M. Directo Y M. VK |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 53,6%                                | -3,4%                               |
| 56,5%                                | 1,7%                                |
| 57,0%                                | 5,0%                                |
| 56,7%                                | 9,1%                                |
| 56,4%                                | 9,3%                                |
| 55,9%                                | 13,1%                               |

(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

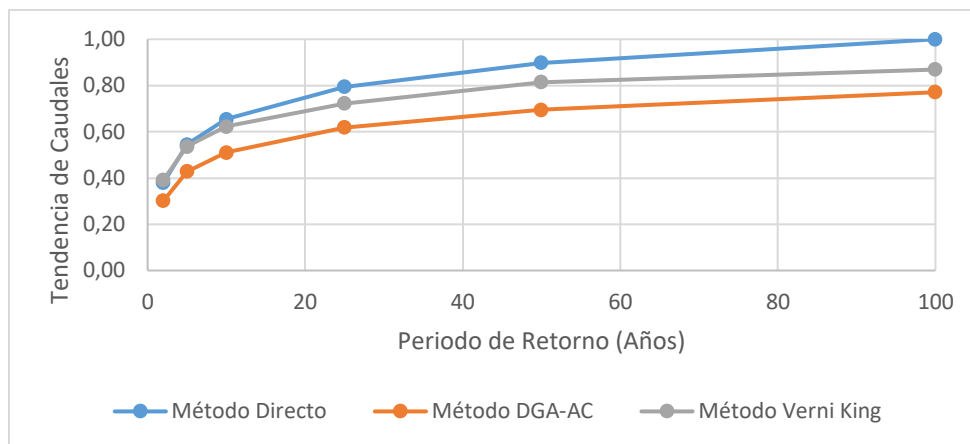


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..24 Tendencias de resultados (Fuente: Elaboración propia)

## Río Diguillín

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..6 Río Diguillín  
resultados

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Método Directo<br>(m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC<br>(m <sup>3</sup> /s) | Método<br>Verni King<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| 2                            | 665,21                                | 603,67                               | 676,65                                      |
| 5                            | 1155,01                               | 916,68                               | 955,71                                      |
| 10                           | 1481,49                               | 1117,91                              | 1002,44                                     |
| 25                           | 1886,49                               | 1375,03                              | 1317,80                                     |
| 50                           | 2180,42                               | 1576,25                              | 1530,10                                     |
| 100                          | 2467,01                               | 1766,29                              | 1731,07                                     |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..7 Diferencias entre  
métodos

| Diferencia entre M.<br>Directo Y M. DGA | Diferencia entre M.<br>Directo Y M. VK |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 9,3%                                    | -1,7%                                  |
| 20,6%                                   | 17,3%                                  |
| 24,5%                                   | 32,3%                                  |
| 27,1%                                   | 30,1%                                  |
| 27,7%                                   | 29,8%                                  |
| 28,4%                                   | 29,8%                                  |

(Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 3: Resultados

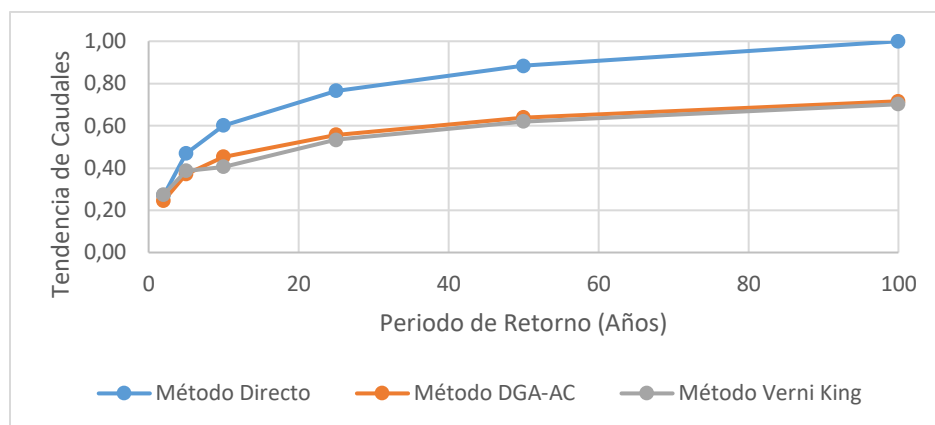


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..25 Tendencias de resultados (Fuente: Elaboración propia)

### Río Itata

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..8 Río Itata resultados

| Periodo retorno (Años) | Método Directo (m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC (m <sup>3</sup> /s) | Método Verni King (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 2                      | 706,17                             | 775,83                            | 849,68                                |
| 5                      | 1077,84                            | 1178,12                           | 1200,10                               |
| 10                     | 1289,35                            | 1436,73                           | 1258,77                               |
| 25                     | 1528,27                            | 1767,18                           | 1654,78                               |
| 50                     | 1690,09                            | 2025,79                           | 1921,37                               |
| 100                    | 1840,72                            | 2270,03                           | 2173,73                               |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..9 Diferencias entre métodos

### Capítulo 3: Resultados

| Diferencia entre M.<br>Directo Y M. DGA | Diferencia entre M.<br>Directo Y M. VK |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| -9,9%                                   | -20,3%                                 |
| -9,3%                                   | -11,3%                                 |
| -11,4%                                  | 2,4%                                   |
| -15,6%                                  | -8,3%                                  |
| -19,9%                                  | -13,7%                                 |
| -23,3%                                  | -18,1%                                 |

(Fuente: Elaboración propia)

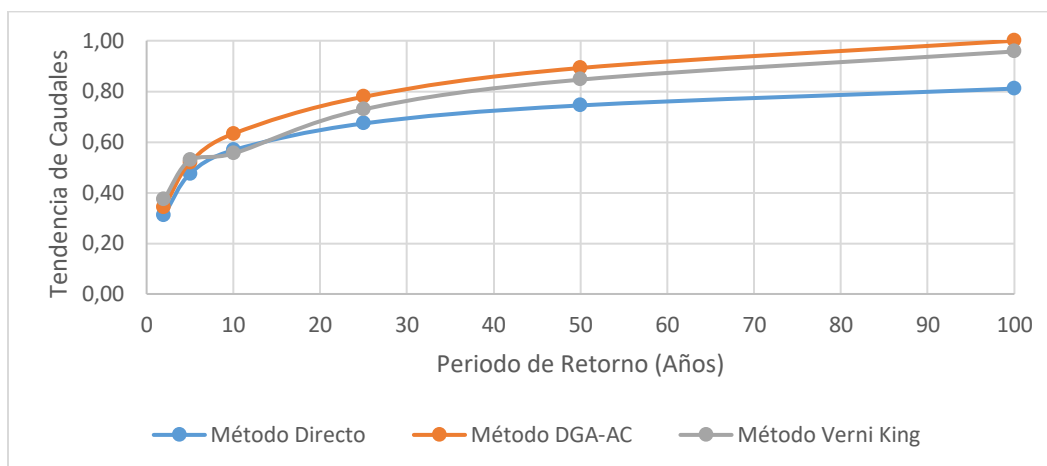


Figura 26 Tendencias de resultados (Fuente: Elaboración propia)

## Río Lircay

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..10 Río Lircay resultados

| <b>Periodo<br/>retorno<br/>(Años)</b> | <b>Método Directo<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Método DGA-AC<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Método<br/>Verni King<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>2</b>                              | 294,22                                      | 113,81                                     | 104,14                                             |
| <b>5</b>                              | 497,71                                      | 185,81                                     | 168,76                                             |
| <b>10</b>                             | 632,43                                      | 232,26                                     | 217,31                                             |
| <b>25</b>                             | 802,66                                      | 292,65                                     | 265,46                                             |
| <b>50</b>                             | 928,94                                      | 336,78                                     | 309,78                                             |
| <b>100</b>                            | 1054,29                                     | 380,91                                     | 365,94                                             |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..11 Diferencias entre  
métodos

| <b>Diferencia entre M.<br/>Directo Y M. DGA</b> | <b>Diferencia entre<br/>M. Directo Y M. VK</b> |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 61,3%                                           | 64,6%                                          |
| 62,7%                                           | 66,1%                                          |
| 63,3%                                           | 65,6%                                          |
| 63,5%                                           | 66,9%                                          |
| 63,7%                                           | 66,7%                                          |
| 63,9%                                           | 65,3%                                          |

(Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 3: Resultados

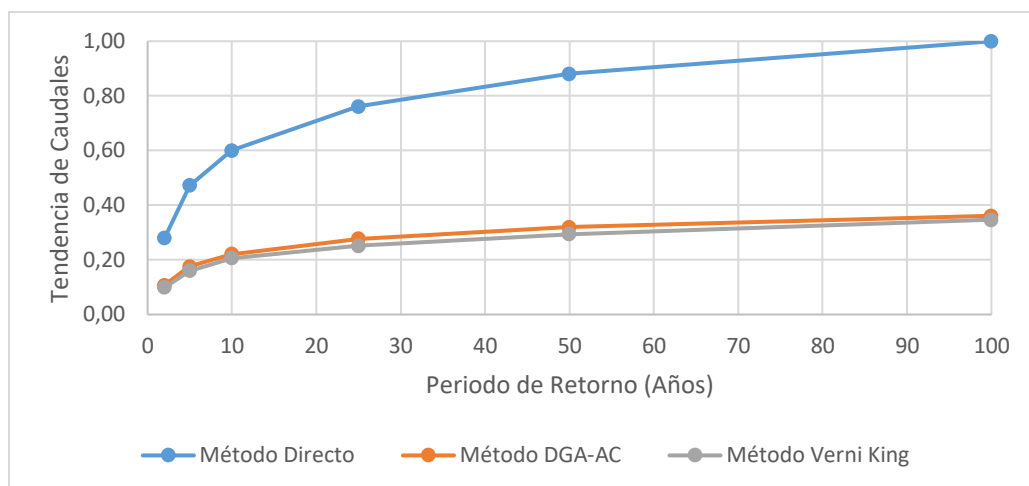


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..27 Tendencias de resultados (Fuente: Elaboración propia)

### Río Purapel

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..12 Río Purapel  
Resultados

| Periodo retorno (Años) | Método Directo (m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC (m <sup>3</sup> /s) | Método Verni King (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 2                      | 112,58                             | 104,57                            | 96,61                                 |
| 5                      | 200,36                             | 170,72                            | 156,57                                |
| 10                     | 258,47                             | 213,40                            | 201,60                                |
| 25                     | 331,90                             | 268,89                            | 246,28                                |
| 50                     | 386,37                             | 309,44                            | 287,40                                |
| 100                    | 440,44                             | 349,98                            | 339,50                                |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..13 Diferencias entre métodos

| Diferencia entre M. Directo Y M. DGA | Diferencia entre M. Directo Y M. VK |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 7,1%                                 | 14,2%                               |
| 14,8%                                | 21,9%                               |
| 17,4%                                | 22,0%                               |
| 19,0%                                | 25,8%                               |
| 19,9%                                | 25,6%                               |
| 20,5%                                | 22,9%                               |

### Capítulo 3: Resultados

(Fuente: Elaboración propia)

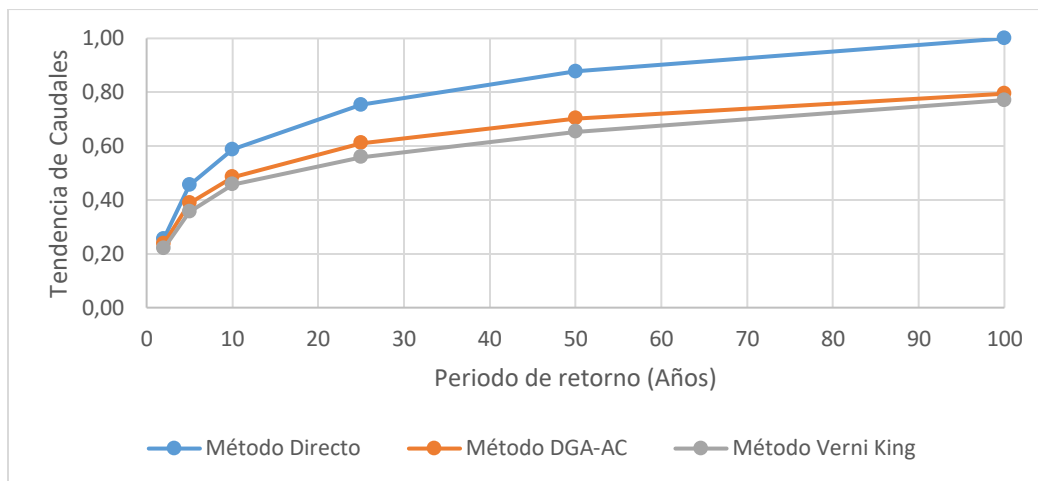


Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..28** Tendencias de resultados (Fuente: Elaboración propia)

## Río Quepe

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..14 Resultados Río Quepe

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Método Directo<br>(m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC<br>(m <sup>3</sup> /s) | Método<br>Verni King<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| 2                            | 616,10                                | 285,90                               | 405,48                                      |
| 5                            | 935,36                                | 407,05                               | 554,67                                      |
| 10                           | 1127,78                               | 484,58                               | 644,46                                      |
| 25                           | 1353,13                               | 586,34                               | 747,44                                      |
| 50                           | 1510,04                               | 659,03                               | 843,25                                      |
| 100                          | 1658,94                               | 731,72                               | 900,00                                      |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..15 Diferencias entre resultados

| Diferencia entre M.<br>Directo Y M. DGA | Diferencia entre<br>M. Directo Y M. VK |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 53,6%                                   | 34,2%                                  |
| 56,5%                                   | 40,7%                                  |
| 57,0%                                   | 42,9%                                  |
| 56,7%                                   | 44,8%                                  |
| 56,4%                                   | 44,2%                                  |
| 55,9%                                   | 45,7%                                  |

(Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 3: Resultados

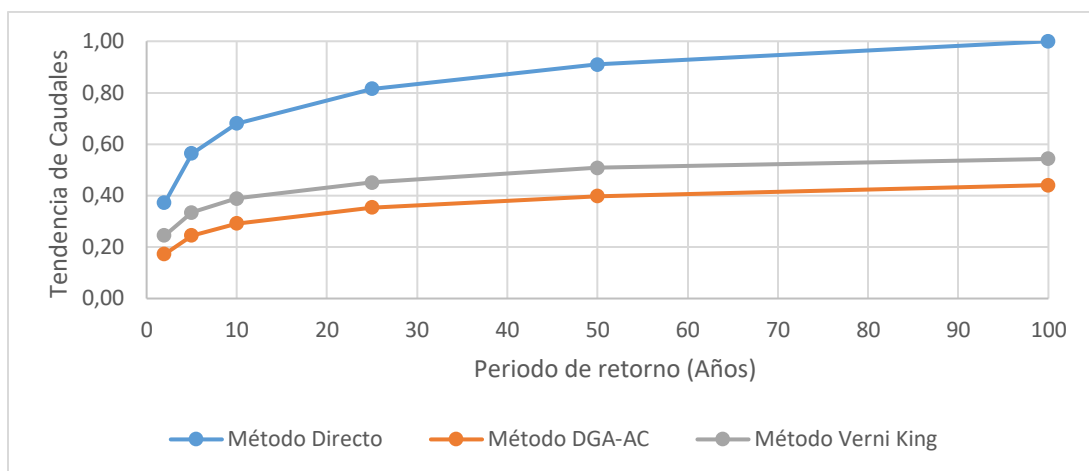


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..29 Tendencias de resultados (Fuente: Elaboración propia)

## Río Quino

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..16 Resultados Río Quino

| Periodo retorno (Años) | Método Directo (m³/s) | Método DGA-AC (m³/s) | Método Verni King (m³/s) |
|------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| 2                      | 138,72                | 124,40               | 191,41                   |
| 5                      | 200,32                | 177,11               | 261,83                   |
| 10                     | 241,10                | 210,85               | 304,22                   |
| 25                     | 292,64                | 255,13               | 352,83                   |
| 50                     | 330,86                | 286,75               | 398,05                   |
| 100                    | 368,81                | 318,38               | 424,84                   |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..17 Diferencia entre métodos

| Diferencia entre M. Directo Y M. DGA | Diferencia entre M. Directo Y M. VK |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 9,4%                                 | -39,5%                              |
| 10,6%                                | -32,1%                              |
| 11,6%                                | -20,4%                              |
| 11,9%                                | -21,9%                              |
| 12,4%                                | -21,6%                              |
| 12,7%                                | -16,5%                              |

### Capítulo 3: Resultados

(Fuente: Elaboración propia)

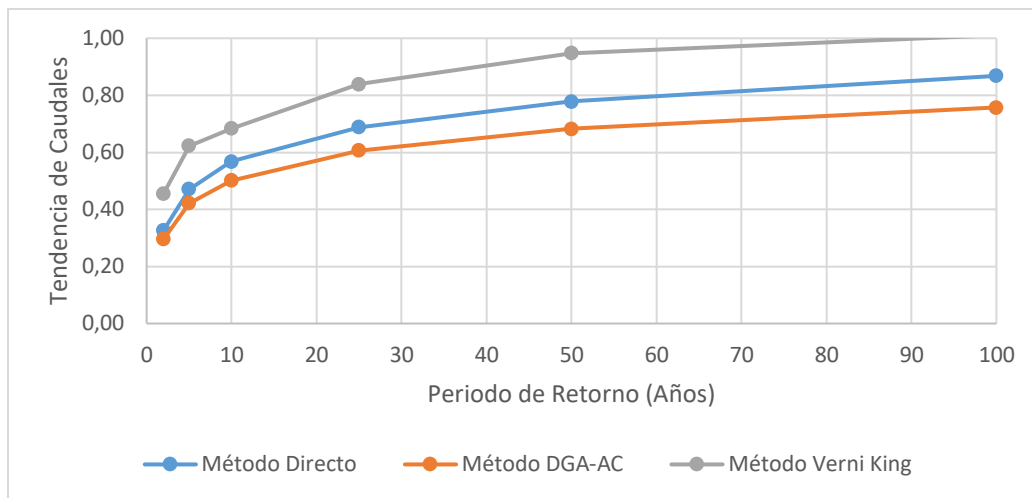


Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..30** Tendencia de resultados (Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 3: Resultados

### Río Toltén

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..18 Resultados Río Toltén

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Método Directo<br>(m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC<br>(m <sup>3</sup> /s) | Método<br>Verni King<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| 2                            | 2463,99                               | 3814,30                              | 3825,44                                     |
| 5                            | 3485,16                               | 4880,06                              | 5232,95                                     |
| 10                           | 4085,50                               | 5609,27                              | 5740,14                                     |
| 25                           | 4777,85                               | 6506,75                              | 7051,57                                     |
| 50                           | 5254,37                               | 7179,86                              | 7955,45                                     |
| 100                          | 5702,94                               | 7852,98                              | 8490,86                                     |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..19 Diferencias entre métodos

| Diferencia entre M.<br>Directo Y M. DGA | Diferencia entre<br>M. Directo Y M. VK |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| -54,8%                                  | -55,3%                                 |
| -40,0%                                  | -50,1%                                 |
| -37,3%                                  | -40,5%                                 |
| -36,2%                                  | -47,6%                                 |
| -36,6%                                  | -51,4%                                 |
| -37,7%                                  | -48,9%                                 |

(Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 3: Resultados

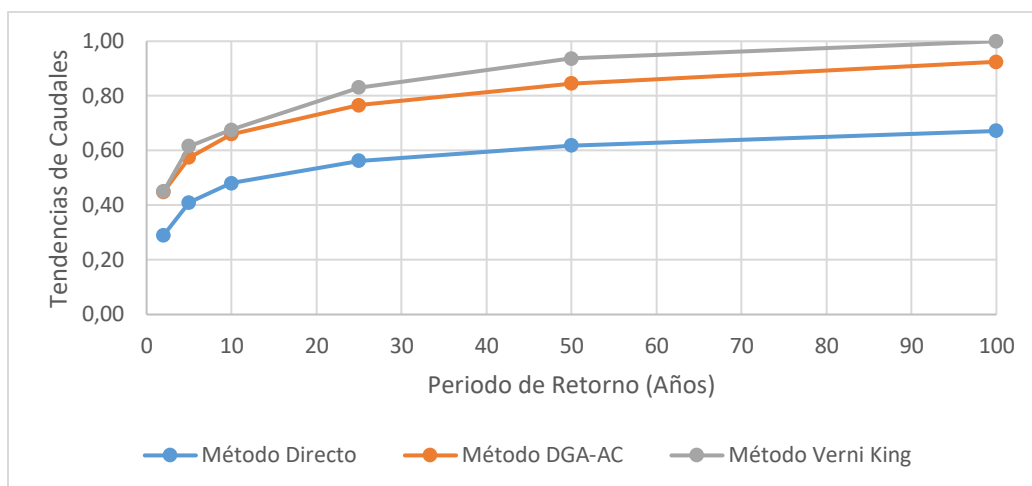


Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..31** Tendencias de resultados (Fuente: Elaboración propia)

### Río Cauquenes

Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..20** Resultados Río Cauquenes

| Periodo retorno (Años) | Método Directo (m³/s) | Método DGA-AC (m³/s) | Método Verni King (m³/s) |
|------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| 2                      | 252,13                | 166,48               | 146,67                   |
| 5                      | 568,31                | 271,80               | 237,69                   |
| 10                     | 784,71                | 339,75               | 306,06                   |
| 25                     | 1056,93               | 428,08               | 373,88                   |
| 50                     | 1256,39               | 492,63               | 436,30                   |
| 100                    | 1452,04               | 557,19               | 515,39                   |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..21** Diferencias entre métodos

| Diferencia entre M. Directo Y M. DGA | Diferencia entre M. Directo Y M. VK |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 34,0%                                | 41,8%                               |
| 52,2%                                | 58,2%                               |
| 56,7%                                | 61,0%                               |
| 59,5%                                | 64,6%                               |
| 60,8%                                | 65,3%                               |
| 61,6%                                | 64,5%                               |

(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

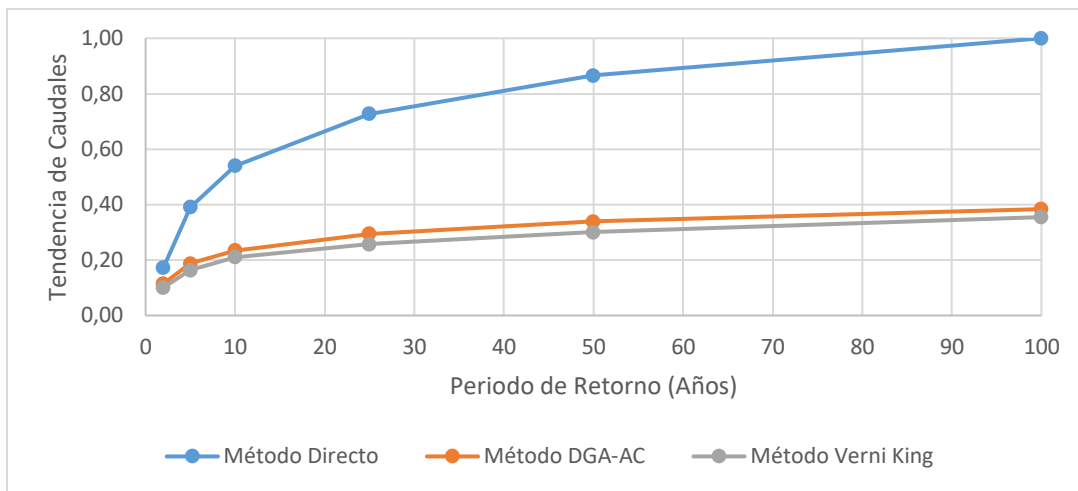


Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..32** Tendencia de resultados (Elaboración Propia)

### Capítulo 3: Resultados

A continuación, se presentan los mejores resultados obtenidos con respecto al método directo:

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..22 Comparación Río Cato

| <b>Periodo<br/>retorno<br/>(Años)</b> | <b>Río Cato (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Método Verni<br/>King (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>2</b>                              | 687,88                            | 577,07                                         |
| <b>5</b>                              | 1058,78                           | 815,06                                         |
| <b>10</b>                             | 1278,78                           | 854,91                                         |
| <b>25</b>                             | 1533,91                           | 1123,86                                        |
| <b>50</b>                             | 1710,24                           | 1304,91                                        |
| <b>100</b>                            | 1876,73                           | 1476,30                                        |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..23 Comparación Río Cautín

| <b>Periodo<br/>retorno<br/>(Años)</b> | <b>Río Cautín (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Método<br/>Verni King<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>2</b>                              | 939,98                              | 971,79                                             |
| <b>5</b>                              | 1352,81                             | 1329,34                                            |
| <b>10</b>                             | 1626,13                             | 1544,53                                            |
| <b>25</b>                             | 1971,48                             | 1791,33                                            |
| <b>50</b>                             | 2227,68                             | 2020,95                                            |
| <b>100</b>                            | 2481,99                             | 2156,96                                            |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..24 Comparación Río Diguillín

| <b>Periodo<br/>retorno<br/>(Años)</b> | <b>Río Diguillín (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Método DGA-AC<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> |
|---------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>2</b>                              | 665,21                                 | 603,67                                     |
| <b>5</b>                              | 1155,01                                | 916,68                                     |
| <b>10</b>                             | 1481,49                                | 1117,91                                    |
| <b>25</b>                             | 1886,49                                | 1375,03                                    |
| <b>50</b>                             | 2180,42                                | 1576,25                                    |

### Capítulo 3: Resultados

|                              |         |         |
|------------------------------|---------|---------|
| <b>100</b>                   | 2467,01 | 1766,29 |
| (Fuente: Elaboración propia) |         |         |

### Capítulo 3: Resultados

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..25 Comparación Río Itata

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Río Itata (m <sup>3</sup> /s) | Método<br>Verni King<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| 2                            | 706,17                        | 849,68                                      |
| 5                            | 1077,84                       | 1200,10                                     |
| 10                           | 1289,35                       | 1258,77                                     |
| 25                           | 1528,27                       | 1654,78                                     |
| 50                           | 1690,09                       | 1921,37                                     |
| 100                          | 1840,72                       | 2173,73                                     |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..26 Comparación Río Lircay

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Río Lircay (m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 2                            | 294,22                         | 113,81                               |
| 5                            | 497,71                         | 185,81                               |
| 10                           | 632,43                         | 232,26                               |
| 25                           | 802,66                         | 292,65                               |
| 50                           | 928,94                         | 336,78                               |
| 100                          | 1054,29                        | 380,91                               |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..27 Comparación Río Purapel

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Río Purapel (m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 2                            | 112,58                          | 104,57                               |
| 5                            | 200,36                          | 170,72                               |
| 10                           | 258,47                          | 213,40                               |
| 25                           | 331,90                          | 268,89                               |
| 50                           | 386,37                          | 309,44                               |
| 100                          | 440,44                          | 349,98                               |

(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..28 Comparación Río Quepe

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Río Quepe (m <sup>3</sup> /s) | Método<br>Verni King<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| 2                            | 616,10                        | 405,48                                      |
| 5                            | 935,36                        | 554,67                                      |
| 10                           | 1127,78                       | 644,46                                      |
| 25                           | 1353,13                       | 747,44                                      |
| 50                           | 1510,04                       | 843,25                                      |
| 100                          | 1658,94                       | 900,00                                      |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..29 Comparación Río Quino

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Río Quino (m <sup>3</sup> /s) | Método<br>Verni King<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| 2                            | 138,72                        | 191,41                                      |
| 5                            | 200,32                        | 261,83                                      |
| 10                           | 241,10                        | 304,22                                      |
| 25                           | 292,64                        | 352,83                                      |
| 50                           | 330,86                        | 398,05                                      |
| 100                          | 368,81                        | 424,84                                      |

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..30 Comparación Río Toltén

| Periodo<br>retorno<br>(Años) | Río Toltén (m <sup>3</sup> /s) | Método DGA-AC<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 2                            | 2463,99                        | 3814,30                              |
| 5                            | 3485,16                        | 4880,06                              |
| 10                           | 4085,50                        | 5609,27                              |
| 25                           | 4777,85                        | 6506,75                              |
| 50                           | 5254,37                        | 7179,86                              |
| 100                          | 5702,94                        | 7852,98                              |

(Fuente: Elaboración propia)

### Capítulo 3: Resultados

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..31 Comparación Río Cauquenes

| <b>Periodo<br/>retorno<br/>(Años)</b> | <b>Río Cauquenes<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Método DGA-AC<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>2</b>                              | 252,13                                     | 166,48                                     |
| <b>5</b>                              | 568,31                                     | 271,80                                     |
| <b>10</b>                             | 784,71                                     | 339,75                                     |
| <b>25</b>                             | 1056,93                                    | 428,08                                     |
| <b>50</b>                             | 1256,39                                    | 492,63                                     |
| <b>100</b>                            | 1452,04                                    | 557,19                                     |

(Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo 4: Conclusiones y sugerencias

### 4.1. Conclusiones

La comparación de estimación de crecidas a través de métodos directos e indirectos en cuencas pluviales no presenta una relación clara entre los resultados en más de un caso por lo que es necesario analizar por separado producto de amplias diferencias donde los métodos directos sobre pasan en más de un 50% a los métodos indirectos y viceversa.

Debido a que estos últimos corresponden a métodos de carácter empírico basado en la fórmula de Verni y King establecida para períodos de retorno mayores que 30 años. Se le agregó en el año 1995 un coeficiente empírico variable con el período de retorno, que se creó en base a procesos de ajuste y calibración a los resultados de los análisis de frecuencias realizados a un total de 130 estaciones limnigráficas ubicadas entre la III y IX región del país, inclusive (DGA y AC, 1995). Hoy en día se cuentan con más de 500 estaciones.

Estos métodos requieren de un adecuado estudio de la precipitación base, de las caracterizaciones del tipo de suelo y sus grados de saturación. (Guías metodológicas para presentación y revisión técnica de proyectos de bocatomas, DGA, 2016).

Según el estudio “Interacciones entre el agua superficial y subterránea en la región del Bío Bío de Chile. Arumi, J.L. 2012”. Revela que casos como el río Diguillín, Cato y Itata reciben aportes de acuíferos lo cual puede explicar la superioridad del método directo con respecto a los métodos indirectos como se puede apreciar en los casos de cuencas que se ubican en el valle central con diferencias por sobre 30% entre las dos clases de métodos producto de los procesos geológicos que formaron los territorios que produjeron las condiciones para que existan importantes interacciones entre los sistemas de agua superficial y subterránea. Lo que puede

## Capítulo 4: Conclusiones y sugerencias

generar resultados erróneos cuando existen cuencas donde las condiciones geológicas producen importantes trasvases de agua subterránea.

Según los resultados el método DGA-AC resulta ser mejor que Verni-King sin embargo hay casos que ocurre lo contrario por lo que se recomienda estimar caudales por medio de los dos métodos y elegir el resultado más conservador cuando no se cuentan con datos fluviométricos, ya que existen en muchos casos ríos que reciben aportes de acuíferos lo que no está contemplado en estos métodos, no necesariamente es bueno utilizar los métodos indirectos.

Se aprecia en los ríos como Cauquenes, Lircay y Purapel pertenecientes a la Región del Maule el contraste de resultados al igual que el río Cato y Diguillín donde los caudales son superiores con respecto a lo estimado por medio de los métodos indirectos, por otro lado, el río Quepe en la región de la Araucanía presenta el mismo comportamiento, esto se puede explicar ya que las cuencas de estos ríos pertenecen a valles centrales ubicados entre la cordillera de los Andes y de la Costa. “Los procesos geológicos que formaron el territorio de la zona central de Chile produjeron las condiciones para que existan importantes interacciones entre los sistemas de agua superficial y subterránea.” (Interacciones entre el agua superficial y subterránea en la región del Bío Bío de Chile. Arumi, J.L. 2012)

En base a lo mencionado el método indirecto no considera fenómenos como el trasvase de aguas subterráneas, hubo en otros casos donde mostro sobredimensionar los caudales como en el caso del río Itata, Quino y Toltén ya que también hay ríos que en algunos tramos de su cauce infiltran agua lo que explica esta diferencia.

### **4.2. Sugerencias**

Se sugiere reformular los métodos indirectos considerando factores tales como cantidad de estaciones, aportes de aguas subterráneas, tipo de suelo y ubicación geográfica.

## Capítulo 5: Referencias

Arumi, J.L., Rivera D., Muñoz E., Billib, M. (2012). *Interacciones entre el agua superficial y subterránea en la región del Bío Bío de Chile*. Revista Obras y Proyectos (12ª ed.), 4-13.

Cahuana, A., Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. (Trabajo Dirigido Por Adscripción, Presentado Para Optar al Diploma Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad Mayor de San Ramon, Cochabamba.

Dirección general de aguas (DGA-MOP) Escobar, F. (1992). *Análisis estadístico de Caudales en los Ríos de Chile*.

Dirección general de aguas (DGA-MOP). (1995). *Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica*.

Dirección general de aguas (DGA-MOP). (2016). *Guías metodológicas para presentación y revisión técnica de proyectos de bocatomas*.

Equipo de crónica (18 de abril de 2016). Los errores que causaron el primer desborde del río Mapocho en 29 años. *El Mercurio*. Recuperado de <http://www.elmercurio.com/blogs/2016/04/18/41052/Los-errores-que-causaron-el-primer-desborde-del-Mapocho-en-29-anos.aspx>

Villon, M. (2000). *Hidrología* (2ª ed.). Lima: Villón.

