



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

Profesor Patrocinante: Dr. Álvaro Suazo Schwencke

**ANÁLISIS DE DATOS DE LAS ESTACIONES SEDIMENTOLÓGICAS DE LA  
REGIÓN DE ÑUBLE**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de  
Ingeniero Civil

**FRANCO YARLANDO MERINO MARTÍNEZ**

Concepción, mayo de 2022

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.2 ALCANCES .....	4
2. METODOLOGÍA.....	5
2.1 ESTACIONES SEDIMENTOLÓGICAS ACTIVAS EN LA REGIÓN DE ÑUBLE .....	5
2.2 ANÁLISIS DE DATOS DUDOSOS O ATÍPICOS .....	7
2.3 ANÁLISIS DE FRECUENCIA.....	8
2.4 CÁLCULO DE LAS PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA .....	8
2.5 MÉTODO GRÁFICO.....	9
2.6 MÉTODO ANALÍTICO.....	10
2.7 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: TEST CHI CUADRADO .....	12
2.8 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: TEST KOLMOGOROV - SMIRNOV.....	14
2.9 ADIMENSIONALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	16
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	17
3.1 ANÁLISIS DE DATOS DUDOSOS.....	17
3.2 ESTACIÓN RÍO CHILLÁN EN CAMINO A CONFLUENCIA .....	19
3.3 ESTACIÓN RÍO DIGUILLÍN EN LONGITUDINAL .....	24
3.4 ESTACIÓN RÍO ITATA EN Balsa Nueva Aldea.....	29
3.5 ESTACIÓN RÍO ITATA EN CHOLGUÁN .....	34
3.6 ESTACIÓN RÍO ITATA EN COELEMU .....	39
3.7 MÉTODO GRÁFICO.....	44
3.8 MÉTODO ANALÍTICO.....	44
3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
3.1 CONCLUSIONES.....	45
3.2 RECOMENDACIONES .....	46
4 BIBLIOGRAFÍA .....	47
5 ANEXOS .....	48
A. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA .....	48
B. TABLAS DE CÁLCULOS Y RESULTADOS DETALLADOS .....	52

## NOMENCLATURA

DGA	Dirección General de Aguas
FDP	Función de probabilidad
FDA	Función de probabilidad acumulada
MOP	Ministerio de Obras Públicas
Pexc	Probabilidad de excedencia
Pnoexc	Probabilidad de no excedencia
Ec	Ecuación

# ANÁLISIS DE DATOS DE LAS ESTACIONES SEDIMENTOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ÑUBLE

**Autor: Franco Yarlando Merino Martínez**

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: [franco.merino1601@alumnos.ubiobio.cl](mailto:franco.merino1601@alumnos.ubiobio.cl)

**Profesor Patrocinante: Dr. Álvaro Suazo Schwencke**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl)

## RESUMEN

La estadística en la actualidad es parte de un lenguaje cotidiano. Particularmente en la sedimentología los métodos estadísticos se aplican en trabajos científicos y profesionales tan diversos como el transporte de sedimento, hidrogeología, evaluación de impacto ambiental, evaluación de los recursos hídricos, diseño de obras hidráulicas entre otras. Cualquiera sea el objeto de estudio los ingenieros civiles se enfrentan a los desafíos que surgen cuando se estudian fenómenos que impliquen grandes volúmenes de material especialmente disperso y/o de difícil acceso. Este informe contiene el estudio estadístico y la evaluación a escala anual, mensual y diaria de los recursos hídricos de la cuenca del Río Itata en la Región de Ñuble mediante el estudio del análisis de frecuencia a cinco estaciones sedimentológicas activas, analizando las variables hidrológicas de concentración de sedimentos y gasto sólido. Mediante la utilización del método gráfico y el método analítico se entregan los resultados asociados a diferentes probabilidades de excedencia, contrastando y concluyendo en base al adimensionamiento de los resultados obtenidos para todas las estaciones sedimentológicas estudiadas. Observándose que la región de Ñuble presenta zonas con volúmenes sedimentológicos muy diferentes entre sí lo que resalta la importancia de generar estudios para afrontar futuros desafíos ingenieriles en la zona.

**Palabras clave:** Recurso hídrico, Variables hidrológicas, Análisis de frecuencia, Funciones de probabilidad.

10130 palabras

## 1. INTRODUCCIÓN

Los procesos hidrológicos evolucionan en el espacio y el tiempo en una forma que es parcialmente predecible, o determinística, y parcialmente aleatoria (Ven Te Chow, 1994).

Por ello, una de las herramientas más potentes que posee la hidrología es la estadística, con el fin de poder analizar y describir importantes procesos hidrológicos como es el caso del transporte de sedimentos.

El conocimiento del transporte de sedimentos en un río es útil en problemas tales como: La determinación de la cantidad de sedimentos que entran al vaso de una presa, para diseñar el volumen o la capacidad de retención de sedimentos en una presa, en estudios tales como el desarrollo de un cauce en sus cambios de forma y extracciones de sedimentos usados comúnmente en la construcción, entre otros.

En las aplicaciones de la hidrología en el diseño de obras hidráulicas y estudios sedimentológicos se requiere interpretar los registros hidrológicos pasados en términos de su futura probabilidad de ocurrencia.

Dichos registros recopilados solo representan una información en bruto, que al organizarla y efectuando un análisis adecuado proporcionan al hidrólogo una herramienta fundamental que le permite tomar decisiones en el diseño de estructuras hidráulicas.

Una de estas herramientas fundamentales es el estudio del análisis de frecuencia de datos, cuyo estudio en este proyecto está enfocado en el análisis de datos sedimentológicos.

El presente proyecto de título está orientado al estudio, análisis e interpretación de los datos sedimentológicos recopilados en la Dirección General de Aguas (DGA) de 5 estaciones sedimentológicas activas en la región de Ñuble en un periodo de 20 años entre 1998 y 2017.

## 1.1 OBJETIVOS

- Objetivo general: Analizar el gasto sólido y concentración de cinco estaciones sedimentológicas activas de la Región de Ñuble, a escala de tiempo diario, mensual y anual, mediante el análisis de frecuencia, a fin de evaluar recursos hídricos de la cuenca del río Itata.

Los objetivos específicos son:

- Cuantificar la representatividad de la estadística hidrológica disponible mediante intervalos de confianza utilizando el análisis de datos dudosos.
- Determinar la concentración de sedimentos y gasto sólido a escala diaria, mensual y anual de cinco estaciones sedimentológicas activas de la región de Ñuble, asociadas a diferentes niveles de probabilidad de excedencia, usando el método gráfico y analítico del análisis de frecuencia.
- Comparar los resultados obtenidos entre las cinco estaciones sedimentológicas activas, mediante la adimensionalización de los resultados obtenidos.

## **1.2 ALCANCES**

Los datos estudiados son recopilados en la Dirección General de Aguas (DGA) en 5 estaciones sedimentológicas activas en la Región de Ñuble en un periodo de 20 años entre 1998 y 2017, siguiendo la secuencia de un año hidrológico; desde abril hasta marzo.

## 2. METODOLOGÍA

El desarrollo de una metodología que permita evaluar la representatividad para periodos futuros de las series de estadística hidrológica con que se cuenta es un procedimiento que debe hacerse con un gran nivel de detalle. En función de esto, se plantea seleccionar un subconjunto de puntos de control que resulten representativos de las variadas características definidas en todos los puntos de interés. Se plantea por tanto en este documento todos los procedimientos que eventualmente serán aplicados a todos los puntos de control a estudiar.

### 2.1 ESTACIONES SEDIMENTOLÓGICAS ACTIVAS EN LA REGIÓN DE ÑUBLE

En la Figura 1 se presenta la ubicación geográfica de los cinco puntos de control a estudiar.



Figura 1. Ubicación geográfica de estaciones sedimentológicas activas en la Región de Ñuble

Fuente: Ministerio de Obras Públicas (2021)

Los puntos de control seleccionados corresponden a todas las estaciones sedimentológicas activas dentro de la región de Ñuble, estas son:

- 1) Río Itata Chillán en camino a Confluencia
- 2) Río Diguillín en longitudinal
- 3) Río Itata en balsa Nueva Aldea
- 4) Río Itata en Cholguán
- 5) Río Itata en Coelemu

En la Tabla 1 se presenta un resumen donde se detallan las características principales de cada uno de los puntos de interés seleccionados.

**Tabla 1:** Datos generales de las estaciones sedimentológicas estudiadas.

DATOS GENERALES					
NOMBRE	RÍO CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA	RÍO DIGUILLÍN EN LONGITUDINAL	RÍO ITATA EN Balsa Nueva Aldea	RÍO ITATA EN CHOLGUÁN	RÍO ITATA EN COELEMU
<b>CÓDIGO BNA</b>	08117005-3	08132001-2	08135002-7	08123001-3	0814001-1
<b>ESTADO</b>	Vigente	Vigente	Vigente	Vigente	Vigente
<b>CUENCA</b>	Rio Itata	Rio Itata	Rio Itata	Rio Itata	Rio Itata
<b>SUBCUENCA</b>	Ñuble Bajo	Itata Medio	Itata Medio	Itata Alto	Itata Bajo
<b>REGIÓN</b>	Ñuble	Ñuble	Ñuble	Ñuble	Ñuble
<b>PROVINCIA</b>	Diguillín	Diguillín	Diguillín	Diguillín	Itata
<b>COMUNA</b>	Chillán	Pemuco	Chillán	Yungay	Treguaco

Fuente: Ministerio de Obras Públicas (2021)

## 2.2 ANÁLISIS DE DATOS DUDOSOS O ATÍPICOS

El método de Water Resources Council (1981) recomienda la realización de ajustes de datos dudosos para caudales, sin embargo, para este estudio se utilizará por extensión. Los datos dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. De acuerdo con Water Resources Council (1981), si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos (Ven Te Chow, 1994)

Antes de comenzar con el análisis de frecuencias se determinó para cada serie de datos, mensual y anual, la existencia de datos dudosos. Estos datos están fuera de un rango determinado por intervalos de confianza que dependen del tamaño  $n$ , la media y desviación estándar de la serie de datos. Es importante destacar que estos datos NO se deben descartar del análisis de frecuencias, sino que es una advertencia para focalizar la atención sobre estos datos al momento de realizar el análisis de resultados, ya que son los casos extremos que finalmente definen variables de diseño en ingeniería.

Para determinar estos datos se supuso un análisis general de ambas colas, es decir, estableciendo valores máximos y mínimos permisibles. Se construyó un intervalo de confianza para cada serie de datos de la siguiente manera:

$$X_{\lim inf, \lim sup} = media \pm K_n * S \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

media: Media de la serie de datos

S: Desviación estándar de la serie de datos

$K_n$ : Error de estimación en función de  $n$

obtener los datos de  $K_n$  se encuentran en el Anexo 1 (tabla 1) y está construida con un nivel de significancia de 10%. Por lo tanto, el intervalo de confianza para analizar los datos dudosos era de 90% de confianza, con 10% de probabilidades de cometer error tipo 1 para distribución normal.

Luego se analizó si existían datos que se encontraban fuera de los límites superiores e inferiores; en el caso de que se encuentren fuera de rango es muy importante realizar una reevaluación de los datos hidrológicos y compararlos con datos de una estación cercana para verificar que los datos sean homogéneos y representativos. Una vez realizado este procedimiento se procedió al análisis de frecuencia gráfico y analítico. (Ver procedimiento en Anexo).

### 2.3 ANÁLISIS DE FRECUENCIA

El primer paso para realizar el análisis de frecuencias sobre los datos entregados de gastos sólidos y concentraciones fue tabularlos en Excel. Vale decir que en este software se realizaron todos los cálculos y gráficos del práctico.

Teniendo los datos se procedió a aplicar los métodos de análisis de frecuencia de manera anual, mensual y diaria.

### 2.4 CÁLCULO DE LAS PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA

Para cada columna de datos diarios, anual y mensual observados se aplicó el mismo método descrito a continuación:

Primero se ordenó la serie de datos de mayor a menor y a cada dato se le asignó un número de orden siendo 1 el valor máximo, 2 el que le sigue y así sucesivamente hasta llegar al dato final. A cada dato se le asignó una probabilidad de excedencia o de ocurrencia según la fórmula de Weibull, donde  $m$  es el número de orden y  $N$  es el número total de datos de la serie (Santana y Quijada, 2007). Esta representa la probabilidad de exceder el valor correspondiente a la variable medida.

$$P_{exc} = \frac{m}{N + 1} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Luego se determinó la probabilidad de NO excedencia para cada dato como el complemento de la probabilidad de excedencia. Esta representa la probabilidad de que no ocurra un evento, para el valor máximo en la serie de datos esta será alta pero nunca 1 ya que puede ocurrir un evento mayor, análogamente para el valor mínimo de la serie de datos se tendrá la menor probabilidad, pero nunca será 0 porque también pueden ocurrir eventos de menor magnitud.

$$P_{noexc} = 1 - P_{exc} \equiv P_{exc} = 1 - P_{noexc} \quad (\text{Ecuación 3})$$

## 2.5 MÉTODO GRÁFICO

En Excel se construyeron dos gráficos, el primero " $P_{exc}$  v/s  $X$ " y el segundo " $P_{noexc}$  v/s  $X$ " (Sea  $X$ : Gasto Sólido o Concentración) en escala logarítmica dado que al trabajar en este software de cálculo, se debe adecuar el formato del eje de las abscisas a una escala logarítmica para aproximar el resultado al que se obtiene en un papel de probabilidades, pues el software no cuenta con alguna herramienta que permita utilizar este tipo de cuadrícula. Para esto se separaron los datos en dos grupos:

1. El primer gráfico contenía todos los datos, distinguiendo las curvas con una  $P_{exc} \geq 0.5$  y  $P_{exc} < 0.5$ .
2. El segundo gráfico contenía todos los datos, distinguiendo las curvas con una  $P_{noexc} \geq 0.5$  y  $P_{noexc} < 0.5$ .

Trazando las líneas de tendencia logarítmica para cada conjunto de datos, para  $P_{exc} < 0.5$  y  $P_{exc} \geq 0.5$  se aplicó la herramienta de Excel que determina la ecuación de la línea de tendencia en base al método de los mínimos cuadrados. La ecuación obtenida es de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (\text{Ecuación 4})$$

Para este caso:

Y: Valor de la variable hidrológica según una probabilidad de excedencia asignada

X: Probabilidad de excedencia o no excedencia

$\beta_0$ : Constante de intersección

$\beta_1$ : Pendiente de la recta

Con las funciones de las curvas logarítmicas ajustadas se pudo estimar el valor de los datos correspondientes a una probabilidad de excedencia determinada. Como se exigía hacer un análisis de las variables hidrológicas con 1, 5, 10, 20, 50, 70, 85, 90, 95 y 99 % de probabilidad de excedencia se aplicó la primera ecuación para las  $P_{exc} < 0.5$  y para las  $P_{exc} \geq 0.5$  se aplicó la segunda ecuación pero como esta se construyó usando las probabilidades de no excedencia al momento de evaluar se reemplazó por  $P_{noexc} = 1 - P_{exc}$  que corresponde al complemento de la probabilidad de excedencia. De esta forma se obtuvo el valor de la variable hidrológica que corresponde a la probabilidad de excedencia que correspondía.

## 2.6 MÉTODO ANALÍTICO

En este caso se aplicaron las FDP más comunes con respecto a la evaluación de recurso hídrico: Normal, Log-Normal, Exponencial, Gamma, Gumbel.

De la misma forma en que el método gráfico determina los valores de concentraciones de sedimentos o gastos sólidos para una probabilidad de excedencia usando una función obtenida de la línea de tendencia construida con la dispersión de los datos observados lo que aquí se hizo fue lo mismo, se construyó una línea de tendencia, pero usando las FDP mencionadas en función de la probabilidad de ocurrencia de cada dato.

En Excel se calcularon los parámetros necesarios de cada FDP sobre cada serie de datos usando las funciones incluidas del software o expresiones propias de cada función según correspondió. A continuación, se muestran los parámetros utilizados por cada FDP aplicada:

-Normal:  $(\mu, \sigma)$  Calculados sobre los valores de cada serie de datos con funciones de Excel.

-Log-Normal:  $(\mu, \sigma)$  Calculados sobre los valores de  $\text{Log}_{10}$  de cada serie de datos con funciones de Excel.

-Gamma:  $(\alpha, \beta)$ : Calculados con las expresiones de la distribución gamma en base de la media y desviación estándar de los datos.

$$\alpha = \left( \frac{\text{media}}{D.E} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\beta = \frac{D.E^2}{\text{media}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

-Gumbel:  $(\alpha, u)$ : Calculados con las expresiones de los parámetros de la FDP Gumbel en base a la media, desviación estándar y n.

$$\alpha = \frac{s}{s_n} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$u = \text{media} - \frac{Y_n}{\alpha} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Nota: Los valores de  $S_n$  y  $Y_n$  dependen de n y se encuentran en la tabla 4 del Anexo 1

Luego de calcular los parámetros de cada función se procedió a obtener los valores de la variable hidrológica para cada FDP con su respectiva probabilidad de excedencia y sus parámetros. Llevado a Excel, se usó la función inversa de cada función la que calcula la función de distribución acumulada FDA, esta función calcula el área bajo la curva usando la probabilidad de no excedencia desde  $-\infty$  hasta el valor que se quiere obtener.

$$\Pr(Q \leq Q_r) = \int_{-\infty}^{Q_r} f_{dp}(x, \alpha, \beta) dx = P_{noexc} = 1 - P_{exc} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Por lo tanto, para hacer uso de esta función de Excel en cada FDP se calculó cada valor con la probabilidad de no excedencia.

$$Q_r = FDAINV(1 - P_{exc}; \alpha; \beta) = FDAINV(P_{noexc}; \alpha; \beta) \quad (\text{Ecuación 10})$$

De esta manera se calcularon los valores de la variable hidrológica para cada FDP y de manera análoga se construyó un gráfico "X estimado v/s X calculado" y a cada distribución se le calculó la sumatoria de los errores aplicando el método de los mínimos cuadrados para tener una primera impresión de cuál fue la que describió un mejor ajuste a la serie de datos.

$$(X_{obs} - X_{cal})^2 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Para verificar cual FDP es la que mejor describía de manera correcta a la serie de datos se aplicó la prueba de bondad de ajuste que son test estadísticos basados en prueba de hipótesis para rechazar aquellas funciones de densidad de probabilidades que no se ajusten a la serie de datos, generalmente para un 95% de nivel de confianza, esto es comparando los valores de probabilidad estimada a partir de la frecuencia relativa de los datos y los valores teóricos obtenidos de la funciones acumuladas de las funciones de densidad de probabilidades empleadas (Santana y Quijada, 2007).

Para aplicar este test primero se definieron las hipótesis nula y alternativa como:

H0: La FDP X se ajusta a la serie de datos

H1: La FDP X se rechaza para ajustar a la serie de datos

## 2.7 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: TEST CHI CUADRADO

Para realizar este test se ordenaron los datos en una tabla de datos agrupados, para ello se determinó la cantidad de intervalos de clase usando la regla de Sturges y el rango pertinente para cada serie, para esto se utilizaron las siguientes expresiones:

$$R = \text{valor máx} - \text{valor mín} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$k = 1 + 3.322 * \log_{10}(n) \quad (\text{Ecuación 13})$$

Para cada intervalo de clase se calculó su frecuencia relativa asociada ( $e_i$ ). Luego se calculó la frecuencia acumulada con cada función de distribución analizada para los límites superiores de las marcas de clase de la tabla de frecuencias de la serie de datos. Con la frecuencia acumulada se calculó la frecuencia relativa ( $f_i$ ) restando la frecuencia acumulada del intervalo de clases anterior a la frecuencia acumulada del intervalo de clases que se quería calcular.

Teniendo las frecuencias relativas de los datos agrupados y las calculadas con cada FDP se procedió a calcular el estadístico chi cuadrado con la siguiente expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{N(f_i - e_i)^2}{e_i} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

N: Tamaño de la serie de datos

$f_i$ : Frecuencia teórica (FDP)

$e_i$ : Frecuencia de los datos agrupados

Finalmente, el valor de chi cuadrado para cada FDP, se comparó con el valor del chi cuadrado crítico para rechazar la hipótesis nula, con un 5% de probabilidad de cometer un error tipo. Este valor se obtuvo de la tabla 3 (Anexo 1) y dependía del nivel de significancia y los grados de libertad  $v$  que se determinaron como:

$$v = k - N^{\circ} \text{ parámetros de la FDP} - 1 \quad (\text{Ecuación 15})$$

Al comparar ambos valores se concluyó que:

-Si  $\Delta$  crítico  $>$   $\Delta$  máx no se rechaza  $H_0$  y se concluye que no existe suficiente evidencia estadística para probar que FDP X no se ajusta a la serie de datos, es decir, es válido aplicar FDP X para obtener un valor requerido con cierta probabilidad de excedencia.

-Si  $\Delta$  crítico  $<$   $\Delta$  máx se rechaza  $H_0$  y se concluye que FDP X no se ajusta a la serie de datos y por lo tanto no se puede aplicar para predecir para obtener valores de una variable hidrológica X.

Con la prueba de bondad de ajuste se obtienen las FDP que pueden ser aplicadas a la serie de datos. Es importante destacar que al no rechazar una FDP no significa que esta será la función escogida o que esa la función es la que mejor describa a los datos

En el caso que el chi cuadrado se encuentra dividido por 0, es decir, cuando el cuadrado de la diferencia entre la frecuencia relativa y la esperada se encuentra dividido por la frecuencia relativa, siendo esta última nula, el valor se indetermina, por lo que el test aplicado pierde validez y se utiliza el que se encuentra a continuación.

## 2.8 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: TEST KOLMOGOROV - SMIRNOV

Como las series anuales y mensuales de datos para gasto sólido y concentraciones presentan series con pocos datos, se decidió aplicar el test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov que se aplica para series de datos pequeñas e independientes. Esta prueba no requiere que los datos estén agrupados y se comparan las probabilidades de excedencia o no excedencia asignada a los datos y la calculada con cada FDP.

Se ordenó la serie de datos de mayor a menor, asignando a cada dato una probabilidad de excedencia según la fórmula de Weibull. Al mismo tiempo para cada dato de la serie se le calculó la probabilidad de no excedencia con la FDA a partir de la FDP elegida con el propósito de obtener la probabilidad de excedencia usando el complemento. Para cada dato se determinó la diferencia en valor absoluto entre las probabilidades de excedencia asignadas según Weibull ( $F(x)$ ) con las probabilidades calculadas con cada FDP ( $Fr(x)$ ), a este valor se le llamó delta. Con la función de valor máximo de Excel se obtuvo la mayor diferencia de probabilidades.

$$\Delta = \text{máx} | F(x_i) - P(x_i) | \quad (\text{Ecuación 16})$$

Este valor se comparó con un valor  $\Delta$  crítico de la FDP de Kolmogorov para un 95% de confianza y que depende de la cantidad de datos de cada serie. Los valores de  $\Delta$  crítico se encuentran en la tabla 4 en el Anexo 1 y dependen del nivel de significancia  $\alpha$  y del número de datos  $n$ .

Teniendo el  $\Delta$  crítico y el  $\Delta$  máx. de cada serie de datos se compararon estos valores donde se tienen dos posibles conclusiones:

-Si  $\Delta$  crítico  $>$   $\Delta$  máx. no se rechaza  $H_0$  y se concluye que no existe suficiente evidencia estadística para probar que FDP X no se ajusta a la serie de datos, es decir, es válido aplicar FDP X para obtener un valor requerido con cierta probabilidad de excedencia.

-Si  $\Delta$  crítico  $<$   $\Delta$  máx se rechaza  $H_0$  y se concluye que FDP X no se ajusta a la serie de datos y por lo tanto no se puede aplicar para predecir para obtener valores de una variable hidrológica X.

Con las pruebas de bondad de ajuste chi cuadrado y Kolmogorov-Smirnov se obtienen las FDP que pueden ser seleccionadas para aplicar a la serie de datos. Posterior a esto se graficaron los valores  $X$  estimados v/s los valores de  $X$  observados con cada FDP.

Para la elección de la FDP se usaron los siguientes criterios de selección:

1. Se usaron los gráficos "X Estimada v/s X Observada" para tener una primera impresión de como es el error de estimación. Al aplicar este criterio lo ideal es que la relación entre lo observado y calculado con cada distribución sea de 1:1, es decir, que se forme una línea recta en  $45^\circ$  con respecto a los ejes cartesianos. Por lo tanto, se escogió la que gráficamente cumpliera con estas características teniendo especial cuidado en que la FDP escogida no sobre estimar o sub estimara los datos los datos reales observados.
2. Siguiendo esta lógica se acepta que la FDP elegida sea la que mejor se ajuste a la serie de datos aplicando el método de los mínimos cuadrados, que describe el mínimo error entre valores observados y teóricos obtenidos de la FDP. Si bien este no es el fin principal del análisis de frecuencias es un criterio aceptable.

Este criterio se utilizó principalmente para las concentraciones. Además, de manera complementaria a lo anterior, para el gasto sólido, se utilizó un criterio de discriminación, basado en los datos extremos superiores de la curva, con el fin de no sobrestimar o subestimar el valor, teniendo especial cuidado en los casos que se presentaran uno o más datos dudosos. En cuanto a las concentraciones, se les prestó mayor atención a los datos centrales buscando la distribución que mejor pudiese ajustarse a estos.

En base a estos criterios se escogió una FDP para cada serie de datos para las variables de gasto sólido y concentración, se aplicó la función inversa en función de la probabilidad de no excedencia y los parámetros de cada distribución y se obtuvieron los valores estimados para cada  $P_{exc}$  solicitada.

## 2.9 ADIMENSIONALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La adimensionalización permite comparar el gasto sólido y las concentraciones durante todo un año hidrológico. Los pasos que se siguieron para realizar la adimensionalización fueron los siguientes:

### Método gráfico:

1. Se realizó una tabla en Excel con los datos de gasto sólido y concentraciones obtenidos con el método gráfico para todas las probabilidades de excedencia pedidos en los objetivos, y para cada uno de los meses.
2. La tabla realizada anteriormente se graficó para poder observar el gasto sólido y las concentraciones que hay en cada mes, con cada probabilidad de excedencia.
3. Se determinó el gasto sólido y concentraciones medias mensuales. Estas se calcularon dividiendo las probabilidades anuales calculadas con el método gráfico y dividida por 12, que son la cantidad de meses.
4. Cada dato perteneciente a las probabilidades de excedencia, calculadas anteriormente en el ítem 1), se dividieron por el gasto y concentraciones medias mensuales correspondiente a cada probabilidad de excedencia.
5. Cada dato adimensionalizado en el ítem 4) se graficó, para su respectivo mes y probabilidad de excedencia.

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 3.1 ANÁLISIS DE DATOS DUDOSOS

La DGA (2022) presenta datos sedimentológicos con frecuencia diaria y en un periodo máximo de 4 años, por lo cual se debió de agrupar la totalidad de datos contenidos en el periodo entre 1998 – 2017 y obtener las concentración y gasto sólidos medio diario para ser trabajadas a escala mensual y anual.

Cabe destacar que el estudio se realizó hasta el año 2017 ya que es hasta este periodo donde se concentraba la mayor cantidad de datos, para el año 2018 en adelante se presentaban varios meses sin registros.

Para el estudio a escala diaria se utilizaron un total de 69522 datos, a escala mensual 2377 datos y a escala anual 120 datos.

En cuanto al análisis de datos dudosos, se estudiaron un total de 2497 muestras a nivel global de las cuales 2377 corresponden a la escala mensual y 120 muestras a nivel anual, encontrándose con 103 (4.3%) y 5 (4.2%) datos respectivamente de valores apartados significativamente de la tendencia de los datos restantes (Ver Tabla 3). Dado que se encontró la existencia de uno o más datos dudosos, se realizó una reevaluación de los datos hidrológicos y se compararon con datos de estaciones vecinas y/o cercanas para poder verificar que los datos estudiados sean homogéneos y representativos. (Ver Procedimiento en Anexo).

Dicha reevaluación de datos hidrológicos y siguiendo el procedimiento se logró corroborar que existe una congruencia en un 95% de los datos estudiados con respecto a las muestras de estaciones vecinas y/o cercanas. Por el contrario, existe un 5% de los datos que en que no se logra corroborar la representatividad de estos. Sin embargo, es importante destacar que estos datos NO fueron descartados del análisis de frecuencia, debido a que no existe suficiente evidencia para relacionarlos con errores de mediciones y/o errores humanos, y son estos casos extremos los que finalmente definen las variables de diseño en ingeniería.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para las variables hidrológicas de gasto sólido y concentración de sedimentos de las series de datos anuales, mensuales y diarias. Se presentan también, el número de datos dudosos de cada serie. Dichos resultados se presentan para cada estación sedimentológica estudiada (Ver en Anexo detalle de datos dudosos por estación).

**Tabla 2:** Datos dudosos para las variables de concentración de sólidos y gasto de sólidos para las estaciones sedimentológicas estudiadas.

DATOS DUDOSOS TOTALES											
	RÍO ITATA CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA		RÍO DIGUILLIN EN LONGITUDINAL		RÍO ITATA EN Balsa Nueva ALDEA		RÍO ITATA EN CHOLGUAN		RÍO ITATA EN COELEMU		TOTAL
	CS	GS	CS	GS	CS	GS	CS	GS	CS	GS	
	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	
<b>ANUAL</b>	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	5
<b>ABR</b>	1	0	1	1	1	2	1	1	2	1	11
<b>MAY</b>	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	11
<b>JUN</b>	1	1	1	1	2	0	1	1	0	0	8
<b>JUL</b>	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	8
<b>AGO</b>	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	8
<b>SEP</b>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9
<b>OCT</b>	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	8
<b>NOV</b>	1	2	1	1	0	0	1	1	1	1	9
<b>DIC</b>	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	6
<b>ENE</b>	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	7
<b>FEB</b>	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	11
<b>MAR</b>	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	7
<b>TOTAL</b>	9	11	12	10	12	10	11	13	9	11	

Con:

CS: Concentración de Sólidos

GS: Gasto Sólido

**Tabla 3:** Cuantificación de datos dudosos a escala mensual y anual.

MUESTRA	MENSUAL	ANUAL
Nº TOTAL MUESTRA	2377	120
Nº TOTAL DATOS DUDOSOS	103	5
% DATOS DUDOSOS	4.3%	4.2%

### 3.2 ESTACIÓN RÍO CHILLÁN EN CAMINO A CONFLUENCIA

En la tabla 4 y tabla 5 se pueden observar los resultados obtenidos en la estación sedimentológica Río Chillán en camino a Confluencia al aplicar los test de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov y Chi Cuadrado. Cabe señalar que en ningún caso el no rechazo de una FDP indica que sea la que presente un mejor ajuste de datos ya que solo indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la FDP.

**Tabla 4:** Funciones de probabilidad según test de estudio para gasto sólido.

RÍO CHILLÁN EN CAMINO A CONFLUENCIA										
CONCENTRACIONES [MG/LT]										
	TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV					TEST CHI CUADRADO				
	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal
ENERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
FEBRERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
MARZO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
ABRIL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
MAYO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
JUNIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
JULIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA
AGOSTO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
SEPTIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
OCTUBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
NOVIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
DICIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
ANUAL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA

**Tabla 5:** Funciones de probabilidad según test de estudio para concentraciones de sedimentos.

RÍO CHILLÁN EN CAMINO A CONFLUENCIA										
GASTO SÓLIDO [KG]										
	TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV					TEST CHI CUADRADO				
	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal
ENERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
FEBRERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MARZO	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
ABRIL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
MAYO	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
JUNIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
JULIO	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
AGOSTO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
SEPTIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
OCTUBRE	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
NOVIEMBRE	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
DICIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
ANUAL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA

### 3.2.1. Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala diaria.

Para el estudio de ambas variables hidrológicas se utilizó un total de 7000 datos y se aplicaron ambos métodos estudiados para realizar el análisis de frecuencia.

Se observa que el método gráfico no tuvo un ajuste adecuado, arrojando un coeficiente de determinación  $R^2$  para la  $P_{exc} \leq 50$  de 0.51 para las concentraciones y un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.19 para gastos sólidos, por lo cual se utilizó el método analítico para describir las variables estudiadas.

La FDP Gumbel no fue utilizada el estudio a escala a diaria, debido a que esta función se caracteriza por entregar buenos resultados en muestras pequeñas y en este caso se está trabajando con una gran cantidad de datos.

Si bien, el test de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov es uno de los más utilizados dentro del análisis de datos, en este caso no se utilizará, debido a que solo es aplicable cuando la muestra es pequeña.

Finalmente, la FDP Exponencial es la escogida para describir ambas variables hidrológicas (Ver Tabla 6 y Tabla 7), si bien dicha FDP solo trabaja con un solo parámetro, fue la FDP que tuvo mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

### 3.2.2. Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala mensual.

Del método gráfico para el caso de ambas variables hidrológicas a escala mensual se aprecia que no corresponde al método con mayor exactitud ya que se obliga a los datos a llevar una distribución de tipo logarítmica. Debido a esto es que al momento de realizar la línea de tendencia esta no considera la totalidad de datos, si no, que tiende a excluir los valores extremos, por lo cual no proporciona un ajuste tan exacto de los datos.

Cabe mencionar que de los resultados obtenidos asociados a una probabilidad de excedencia del 95% y 99% hay meses en que se presentan valores negativos. Esto ocurre debido a existen series de datos que presentan una gran dispersión y generan anomalías al momento de aplicar los métodos descritos. Sin embargo, la interpretación de estos valores negativos no es más que la probabilidad del 95% o 99% de exceder un valor de concentración de sedimentos igual a cero.

Del método analítico para el caso de concentraciones de sedimentos y gastos sólidos a escala mensual se logra apreciar que la FDP normal es la que menos se ajusta a la serie hidrológica estudiada. Esto debido a que es un FDP simétrica alrededor de la media y las variables estudiadas corresponden a distribuciones que son definidas por sus valores extremos, por lo que no se ajusta correctamente a las variables hidrológicas estudiadas. Por el contrario, las FDP que mejor se ajustan a los meses estudiados son las distribuciones Log Normal y Gamma para el caso de gastos sólidos (Ver Tabla 6) y Gamma y Gumbel (Ver Tabla 7) para el caso de las concentraciones de sedimentos. Dichas FDP son muy útiles para describir variables hidrológicas asimétricas.

### 3.2.3. Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala anual.

Al igual que en el análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala mensual, se aprecia que el método gráfico no corresponde al método con mayor exactitud debido a lo comentado anteriormente.

Para el caso del método analítico para las variables hidrológicas estudiadas a escala anual, se aprecia que dicho método es el que se ajusta de mejor manera, siendo la FDP Log Normal la escogida para describir gastos sólidos (Ver Tabla 6) y la FDP Gumbel la escogida para describir concentraciones de sedimentos (Ver Tabla 7). Dichas FDP no fueron rechazadas por ninguno de los dos test de bondad de ajuste (Ver Tabla 4 y Tabla 5) y fueron las FDP que tuvieron mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

**Tabla 6:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO														
DISTR	Exponencial	Gamma	Gamma	Exponencial	Log Normal	Log Normal	Exponencial	Log Normal	Log Normal	Exponencial	Gamma	Gamma	Log Normal	Log Normal
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	486813	29086	1443088	1091481	4343948	2392690	369525	388078	108156	22811	4466	20566	12317	621563
5%	316679	17199	705204	710024	1740155	1029013	240381	174244	53750	14839	3258	11644	6246	325509
10%	243406	12314	430616	545740	1068540	656235	184762	113701	37025	11406	2708	8056	4349	230571
20%	170134	7684	202398	381456	591999	380620	129143	67807	23575	7972	2126	4745	2805	151866
50%	73273	2332	21692	164284	191282	134252	55619	25223	9941	3433	1252	1186	1213	68317
70%	37704	840	2383	84536	94615	70134	28620	13621	5804	1767	854	346	719	41530
90%	11138	112	22	24972	34242	27465	8454	5595	2669	522	449	28	338	20242
95%	5422	32	1	12157	21026	17515	4116	3651	1839	254	315	6	235	14338
99%	1062	2	0	2382	8423	7533	806	1639	914	50	148	0	119	7509
MEDIA ANUAL														101906.4

**Tabla 7:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO														
DISTR	Exponencial	Gumbel	Gamma	Gamma	Exponencial	Exponencial	Log Normal	Gamma	Gamma	Gamma	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	101	26	141	115	225	164	71	103	58	26	29	29	30	51
5%	66	19	89	84	146	107	47	66	40	21	22	23	22	39
10%	50	16	67	70	113	82	38	50	32	19	19	20	19	34
20%	35	13	45	55	79	57	29	34	24	16	16	17	15	28
50%	15	9	17	33	34	25	18	13	12	12	11	12	10	20
70%	8	6	8	22	17	13	13	6	7	10	9	10	7	17
90%	2	4	2	12	5	4	8	2	3	7	6	8	4	12
95%	1	3	1	8	3	2	7	1	2	6	5	7	3	10
99%	0	1	0	4	0	0	4	0	1	4	3	5	1	7
MEDIA ANUAL														21.5

### 3.2.4. Adimensionalización de los resultados.

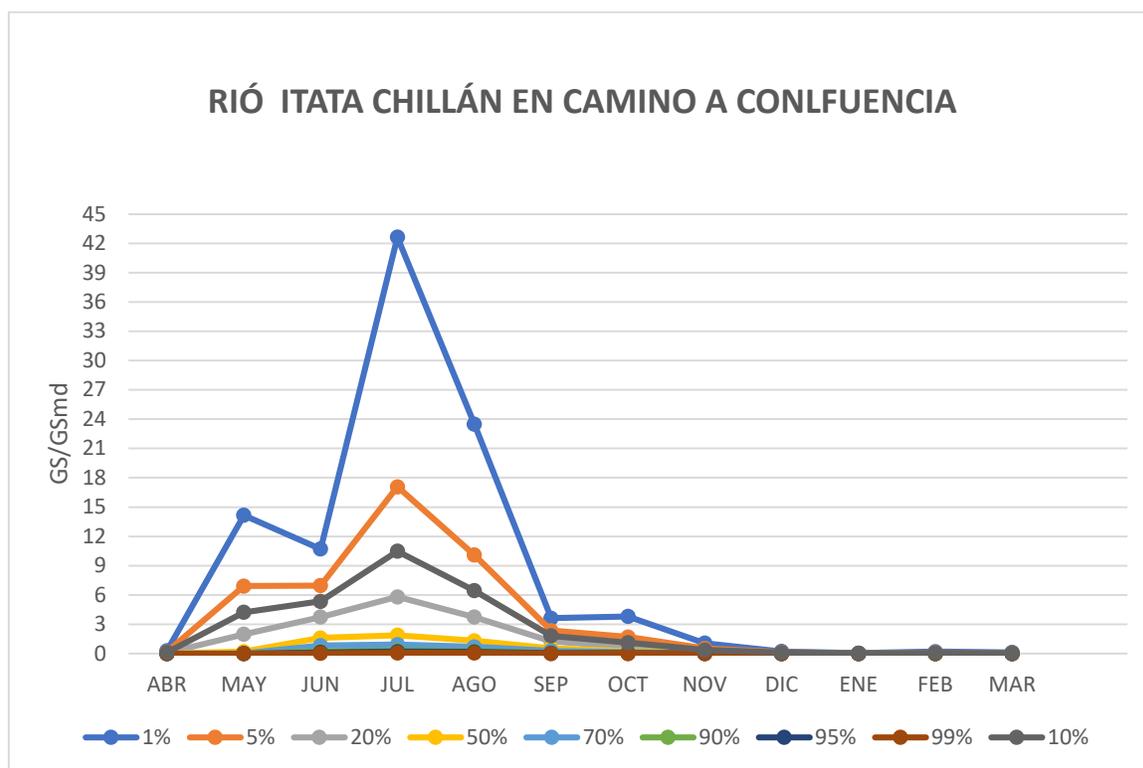
Las gráficas obtenidas permiten hacer una evaluación de los recursos hídricos durante un periodo hidrológico de un año para conocer su disponibilidad en el tiempo.

Para el caso del método analítico, dentro del análisis de concentraciones medias diarias, se puede apreciar que, entre el periodo de junio y agosto, el 50% de las concentraciones medias son mayores que la concentración promedio anual, en cambio en el periodo entre noviembre y marzo se presentan concentraciones medias menores al promedio anual. Esto se explica debido a que en meses de invierno existe un aumento de precipitaciones, y a su vez un aumento en el caudal, lo que provocaría un mayor transporte de sedimentos.

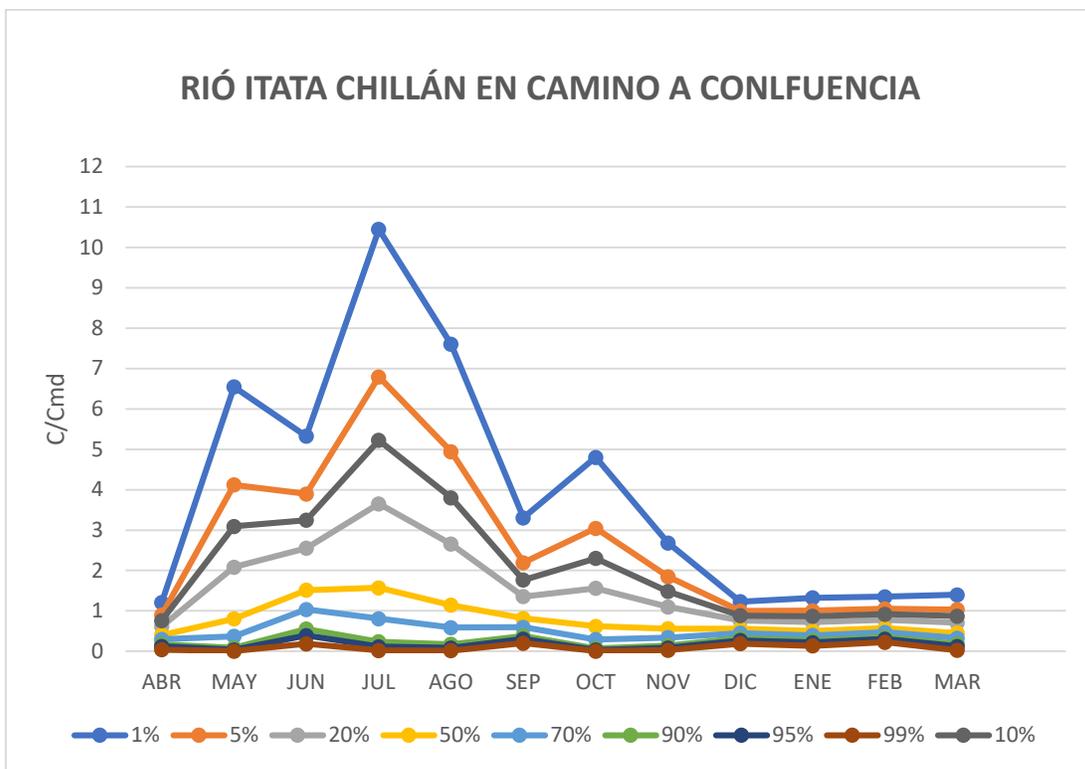
El peak de concentraciones medias se alcanza en el mes de julio, siendo esta 1.6 veces mayor que el promedio anual (Figura 2).

Para el análisis de gastos sólidos medios diarios, se puede apreciar que, de igual manera entre el periodo de junio y agosto, el 50% de los gastos sólidos medios son mayores que el gasto sólido promedio anual, y que, en el periodo de verano, los gastos sólidos son inferiores a media anual.

El peak de gastos sólidos medios se alcanza en el mes de julio, siendo este 1.9 veces mayor que el promedio anual (Figura 1).



**Figura 1:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método analítico.



**Figura 2:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método analítico.

### 3.3 ESTACIÓN RÍO DIGUILLÍN EN LONGITUDINAL

En la tabla 8 y tabla 9 se pueden observar los resultados obtenidos en la estación sedimentológica Río Diguillín en Longitudinal al aplicar los test de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov y Chi Cuadrado. Cabe señalar que en ningún caso el no rechazo de una FDP indica que sea la que presente un mejor ajuste de datos ya que solo indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la FDP.

#### 3.3.1 Resumen de FDP según Test Kolmogorov – Smirnov y Test Chi Cuadrado

**Tabla 8:** Funciones de probabilidad según test de estudio para gasto sólido.

RÍO DIGUILLÍN EN LONGITUDINAL										
CONCENTRACIONES [MG/LT]										
	TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV					TEST CHI CUADRADO				
	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal
ENERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
FEBRERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MARZO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
ABRIL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
MAYO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
JUNIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
JULIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
AGOSTO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
SEPTIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
OCTUBRE	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
NOVIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
DICIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
ANUAL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA

**Tabla 9:** Funciones de probabilidad según test de estudio para concentraciones de sedimentos.

RÍO DIGUILLÍN EN LONGITUDINAL										
GASTO SÓLIDO [KG]										
	TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV					TEST CHI CUADRADO				
	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal
ENERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
FEBRERO	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MARZO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
ABRIL	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MAYO	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
JUNIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
JULIO	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
AGOSTO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
SEPTIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
OCTUBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
NOVIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
DICIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
ANUAL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA

### 3.3.2 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala diaria.

Para el estudio de ambas variables hidrológicas se utilizó un total de 6843 datos y se aplicaron ambos métodos estudiados para realizar el análisis de frecuencia.

Se observa que el método gráfico no tuvo un ajuste adecuado, arrojando un coeficiente de determinación  $R^2$  para la  $P_{exc} \leq 50$  de 0.38 para las concentraciones y un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.21 para gastos sólidos, por lo cual se utilizó el método analítico para describir las variables estudiadas.

La FDP Gumbel no fue utilizada el estudio a escala a diaria, debido a que esta función se caracteriza por entregar buenos resultados en muestras pequeñas y en este caso se está trabajando con una gran cantidad de datos.

Si bien el test de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov es uno de los más utilizados dentro del análisis de datos. Este caso no se utilizará debido a que solo es aplicable cuando la muestra es pequeña.

Finalmente, la FDP Exponencial es la escogida para describir las concentraciones diarias (Ver Tabla 11) y la FDP Log Normal para describir los gastos sólidos diarios (Ver Tabla 10), ambas FDP tuvieron mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

### 3.3.3 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala mensual.

De igual manera que en la estación sedimentológica anterior, en el caso de ambas variables hidrológicas estudiadas, el método con menor exactitud corresponde al método gráfico, debido a que se les obliga a los datos a llevar una distribución de tipo logarítmica, lo que provoca, que, al momento de realizar la línea de tendencia, esta no considere la totalidad de los datos, si no que tienden a excluir los valores extremos análisis en esta estación sedimentológica.

Cabe mencionar que para el caso de gastos sólidos se tiene que los resultados obtenidos asociados a una probabilidad de excedencia del 90%, 95% y 99% hay meses en que se presentan valores negativos. Esto ocurre debido a existen series de datos que presentan una gran dispersión y generan anomalías al momento de aplicar los métodos descritos. Sin embargo, la interpretación de estos valores negativos no es más que la probabilidad del 99% de exceder un valor de concentración de sedimentos igual a cero.

Del método analítico para el caso de concentraciones de sedimentos y gastos sólidos a escala mensual se logra apreciar que la FDP normal nuevamente es la que menos se ajusta a la serie hidrológica estudiada, esto debido a que es un FDP simétrica alrededor de la media y las variables estudiadas corresponden a distribuciones que son definidas por sus valores extremos, por lo tanto, no se ajusta correctamente a las variables hidrológicas estudiadas. Por el contrario, la FDP que mejor se ajusta a los meses estudiados es la distribución Log Normal para el caso de gastos sólidos (Ver Tabla 10) y las FDP Gumbel y Log Normal para el caso de las concentraciones de sedimentos (Ver Tabla 11), dichas FDP son muy útiles para describir variables hidrológicas asimétricas.

### 3.3.4 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala anual.

Al igual que en el análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala mensual, se aprecia que el método gráfico no corresponde al método con mayor exactitud debido a lo comentado anteriormente.

Para el caso del método analítico para las variables hidrológicas estudiadas a escala anual, se aprecia, que dicho método es el que se ajusta de mejor manera, siendo la FDP Log Normal la escogida para describir ambas variables hidrológicas, dicha FDP no fue rechazada por ninguno de los dos test de bondad de ajuste (Ver Tabla 9 y Tabla 10), además de ser la FDP que tuvo mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

**Tabla 10:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO														
DISTR	Log Normal	Log Normal	Gamma	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Exponencial	Gamma	Exponencial	Log Normal	Log Normal	Gumbel	Log Normal
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
0.01	624565	75879	1585860	3472608	6278096	1140838	811669	150072	40372	19696	7204	60844	7746	784871
0.05	155627	30150	743838	1427484	1818650	542618	362265	97624	24931	12813	4752	23666	5606	358027
0.1	74193	18433	437580	888692	939510	365130	235643	75036	18449	9848	3807	14306	4661	235609
0.2	30254	10159	191460	500632	422232	226002	139987	52448	12147	6884	2910	7777	3676	141952
0.5	5439	3250	15339	167001	91420	90272	51691	22588	4374	2965	1741	2423	2188	53847
0.7	1867	1597	1198	84262	35237	50958	27786	11623	1884	1526	1264	1172	1463	29435
0.9	399	573	5	31382	8896	22318	11339	3433	376	451	796	410	612	12306
0.95	190	350	0	19537	4596	15018	7376	1672	142	219	638	248	267	8099
0.99	47	139	0	8031	1331	7143	3292	328	15	43	421	96	-298	3694
MEDIA ANUAL														96847.2

**Tabla 11:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO														
DISTR	Exponencial	Gumbel	Log Normal	Exponencial	Exponencial	Log Normal	Gamma	Log Normal	Log Normal	Gumbel	Gumbel	Exponencial	Log Normal	Log Normal
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	56	26	62	117	84	51	86	78	21	22	18	50	31	33
5%	36	19	39	76	54	32	51	41	14	16	14	33	20	24
10%	28	16	30	59	42	26	37	29	11	14	12	25	16	20
20%	20	13	22	41	29	19	24	19	9	11	10	18	12	16
50%	8	8	12	18	13	11	8	9	5	7	6	8	7	11
70%	4	5	9	9	6	8	3	5	4	5	5	4	5	9
90%	1	3	5	3	2	5	0	3	2	3	3	1	3	6
95%	1	2	4	1	1	4	0	2	2	2	2	1	3	5
99%	0	0	3	0	0	2	0	1	1	0	1	0	2	4
MEDIA ANUAL														12.2

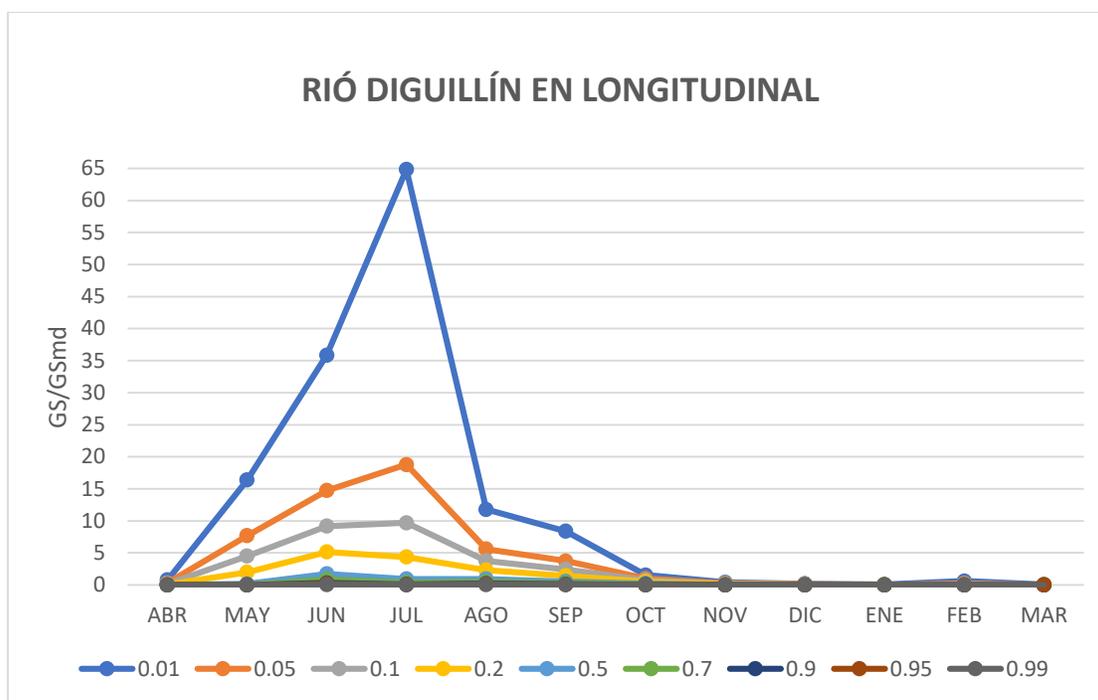
### 3.3.5 Adimensionalización de los resultados.

Para el caso del método analítico, dentro del análisis de concentraciones medias diarias, se puede apreciar que, en el mes de junio el 50% de las concentraciones medias son mayores que la concentración promedio anual y que los meses de mayo y julio igualan el valor de la concentración promedio anual, por el contrario, en el resto de los meses se obtienen concentraciones medias menores al promedio anual. Esto se puede explicar debido a que en meses de invierno existe un aumento de precipitaciones, y a su vez un aumento en el caudal, lo que provocaría un mayor transporte de sedimentos.

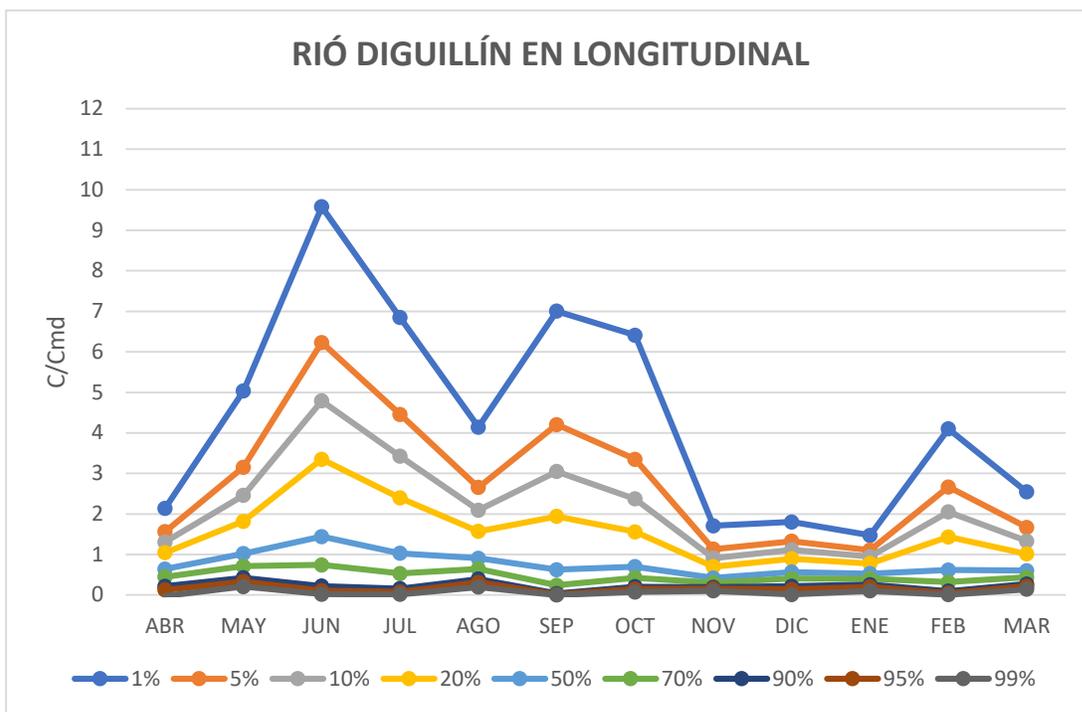
El peak de concentraciones medias se alcanza en el mes de junio, siendo esta 1.4 veces mayor que el promedio anual. (Figura 4).

Para el análisis de gastos sólidos medios diarios, se puede apreciar que, de igual manera en el mes de junio el 50% de los gastos sólidos medios son mayores que el gasto sólido promedio anual. Sin embargo, el resto de los meses del año, se presenta un gasto sólido medio inferior a la media anual.

El peak de gastos sólidos medios se alcanza en el mes de junio, siendo este 1.7 veces mayor que el promedio anual. (Figura 3).



**Figura 3:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método analítico.



**Figura 4:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método analítico.

### 3.4 ESTACIÓN RÍO ITATA EN Balsa NUEVA ALDEA

En la tabla 12 y tabla 13 se pueden observar los resultados obtenidos en la estación sedimentológica Río Itata en Balsa Nueva Aldea al aplicar los test de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov y Chi Cuadrado. Cabe señalar que en ningún caso el no rechazo de una FDP indica que sea la que presente un mejor ajuste de datos ya que solo indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la FDP.

#### 3.4.1 Resumen de FDP según Test Kolmogorov – Smirnov y Test Chi Cuadrado

**Tabla 12:** Funciones de probabilidad según test de estudio para gasto sólido.

RÍO ITATA EN Balsa NUEVA ALDEA										
CONCENTRACIONES [MG/LT]										
	TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV					TEST CHI CUADRADO				
	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal
ENERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
FEBRERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MARZO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
ABRIL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MAYO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
JUNIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
JULIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
AGOSTO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
SEPTIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
OCTUBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
NOVIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
DICIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
ANUAL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA

**Tabla 13:** Funciones de probabilidad según test de estudio para concentraciones de sedimentos.

RÍO ITATA EN Balsa NUEVA ALDEA										
GASTO SÓLIDO [KG]										
	TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV					TEST CHI CUADRADO				
	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal
ENERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
FEBRERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MARZO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
ABRIL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MAYO	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
JUNIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	SE RECHAZA	SE RECHAZA	SE RECHAZA	SE RECHAZA	SE RECHAZA
JULIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
AGOSTO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
SEPTIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
OCTUBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
NOVIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
DICIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
ANUAL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA

### 3.4.2 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala diaria.

Para el estudio de ambas variables hidrológicas se utilizó un total de 7042 datos y se aplicaron ambos métodos estudiados para realizar el análisis de frecuencia.

Se observa que el método gráfico no tuvo un ajuste adecuado, arrojando un coeficiente de determinación  $R^2$  para la  $P_{exc} \leq 50$  de 0.51 para las concentraciones y un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.52 para gastos sólidos, por lo cual se utilizó el método analítico para describir las variables estudiadas.

Al igual que en los casos anteriores La FDP Gumbel no fue utilizada el estudio a escala a diaria, debido a que esta función se caracteriza por entregar buenos resultados en muestras pequeñas y en este caso se está trabajando con una gran cantidad de datos.

Si bien, el test de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov es uno de los más utilizados dentro del análisis de datos, en este caso no se utilizará, debido a que solo es aplicable cuando la muestra es pequeña.

Finalmente, la FDP Gamma es la escogida para describir las concentraciones diarias (Ver Tabla 15) y la FDP Log Normal para describir los gastos sólidos diarios (Ver Tabla 14), ambas FDP tuvieron mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

### 3.4.3 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala mensual.

Del método gráfico para el caso de ambas variables hidrológicas a escala mensual se aprecia que no corresponde al método con mayor exactitud ya que se obliga a los datos a llevar una distribución de tipo logarítmica, debido a esto es que al momento de realizar la línea de tendencia esta no considera la totalidad de datos, si no, que tiende a excluir los valores extremos, por lo cual no nos proporciona un ajuste tan exacto de los datos.

Cabe mencionar que de los resultados obtenidos asociados a una probabilidad de excedencia del 99% hay meses en que se presentan valores negativos, esto ocurre debido a existen series de datos que presentan una gran dispersión y generan anomalías al momento de aplicar los métodos descritos. Sin embargo, la interpretación de estos valores negativos no es más que la probabilidad del 99% de exceder un valor de concentración de sedimentos igual a cero.

Del método analítico para el caso de concentraciones de sedimentos y gastos sólidos a escala mensual se logra apreciar que la FDP normal es la que menos se ajusta a la serie hidrológica estudiada, esto debido a lo ya mencionado anteriormente. Las FDP que mejor se ajustan a los meses estudiados son las distribuciones Gamma y Log Normal para el caso de gastos sólidos (Ver Tabla 14) y Log Normal y Exponencial para el caso de las concentraciones de sedimentos (Ver Tabla 15), dichas FDP son muy útiles para describir variables hidrológicas asimétricas.

### 3.4.4 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala anual.

Al igual que en el análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala mensual, se aprecia que el método gráfico no corresponde al método con mayor exactitud debido a lo comentado anteriormente.

Para el caso del método analítico para las variables hidrológicas estudiadas a escala anual, se aprecia, que dicho método es el que se ajusta de mejor manera, siendo la FDP Gumbel la escogida para describir ambas variables hidrológicas, dicha FDP no fue rechazada por ninguno de los dos test de bondad de ajuste (Ver Tabla 12 y Tabla 13) y fue la FDP que presentó mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

**Tabla 14:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO														
DISTR	Log Normal	Gamma	Log Normal	Gaamma	Log Normal	Gamma	Gamma	Log Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Gamma	Gamma	Gumbel
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	8358024	394082	2583630	5649891	9375232	3366613	3312707	1698119	440089	264018	106615	289816	136144	1267427
5%	1843965	231816	1028829	3569736	4289909	2384557	2004845	825055	308924	162204	69354	165331	86064	910940
10%	823862	165307	629745	2686533	2827768	1943704	1461174	561520	250999	119565	53307	115086	64795	753506
20%	310567	102454	347554	1817037	1707111	1483523	938722	352370	190611	78237	37260	68489	43851	589380
50%	48038	30411	111475	710228	650054	813352	312986	144496	99402	27637	16047	17737	17171	341489
70%	15015	10696	54887	332374	356191	521787	124524	82915	54971	11674	8257	5376	8050	220730
90%	2801	1350	19733	79797	149436	243600	20790	37183	2792	2231	2439	483	1940	78917
95%	1251	376	12078	33908	98503	159044	6956	25306	0	816	1187	108	827	21362
99%	276	20	4810	4795	45073	62943	557	12295	0	81	233	3	118	0
MEDIA ANUAL														375845.0

**Tabla 15:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	214	102	99	257	270	154	86	79	52	77	56	106	29	59
5%	120	67	65	158	163	102	59	53	39	51	40	67	21	45
10%	79	53	50	115	117	80	48	42	33	40	33	50	18	39
20%	39	38	36	73	71	58	37	31	28	29	26	33	15	33
50%	10	19	17	16	10	29	21	17	20	11	16	15	11	25
70%	9	10	14	28	19	24	16	14	15	10	12	13	9	20
90%	6	5	9	16	12	14	9	8	8	8	9	9	6	15
95%	4	3	6	8	7	8	5	5	4	6	8	6	4	12
99%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	1	5
MEDIA ANUAL														22.4

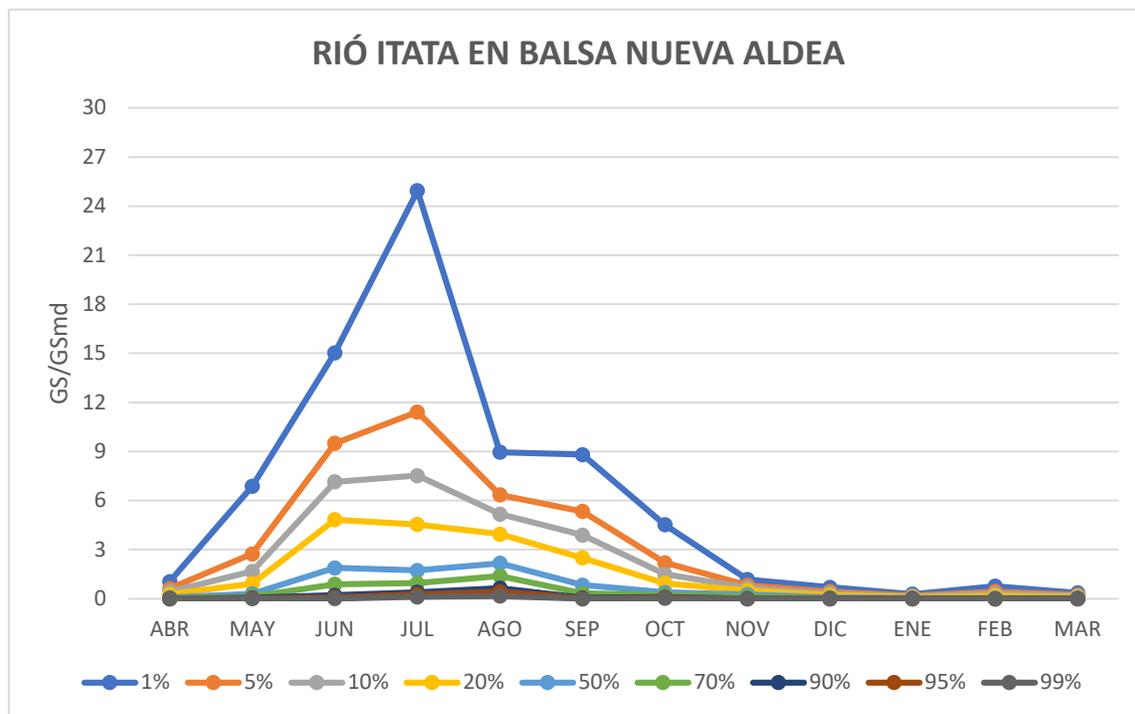
### 3.4.5 Adimensionalización de los resultados.

Para el caso del método analítico, dentro del análisis de concentraciones medias diarias, se puede apreciar que, en los meses de junio y agosto el 50% de las concentraciones medias son mayores que la concentración promedio anual y en el mes de julio la concentración de sedimentos es igual a la media, por el contrario, el resto de los meses presentan concentraciones medias menores al anual. Esto se explica al igual que en los casos anteriores, debido a que en meses de invierno existe un aumento de precipitaciones, y a su vez un aumento en el caudal, lo que provocaría un mayor transporte de sedimentos.

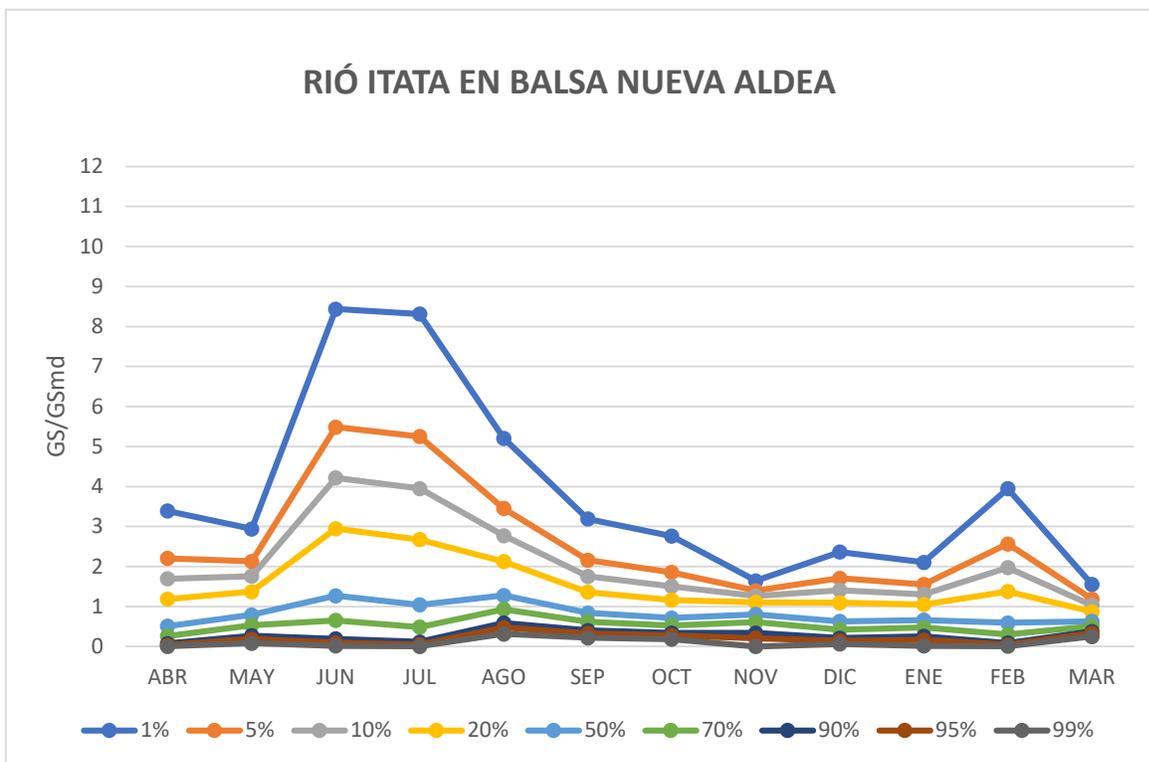
El peak de concentraciones medias se alcanza en el mes de junio, siendo esta 1.3 veces mayor que el promedio anual. (Figura 6).

Para el análisis de gastos sólidos medios diarios, se puede apreciar que los meses de junio, julio y agosto el 50% de los gastos sólidos medios son mayores que el gasto sólido promedio anual, y que, en el resto de los meses, los gastos sólidos medios son inferiores a media anual.

El peak de gastos sólidos medios se alcanza en el mes de julio, siendo este 2.2 veces mayor que el promedio anual. (Figura 5).



**Figura 5 :** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método analítico.



**Figura 6:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método analítico.

### 3.5 ESTACIÓN RÍO ITATA EN CHOLGUÁN

En la tabla 16 y tabla 17 se pueden observar los resultados obtenidos en la estación sedimentológica Río Itata en Cholguán al aplicar los test de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov y Chi Cuadrado. Cabe señalar que en ningún caso el no rechazo de una FDP indica que sea la que presente un mejor ajuste de datos ya que solo indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la FDP.

#### 3.5.1 Resumen de FDP según Test Kolmogorov – Smirnov y Test Chi Cuadrado

**Tabla 16:** Funciones de probabilidad según test de estudio para gasto sólido.

RÍO ITATA EN CHOLGUÁN										
CONCENTRACIONES [MG/LT]										
	TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV					TEST CHI CUADRADO				
	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal
ENERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
FEBRERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MARZO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
ABRIL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MAYO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
JUNIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
JULIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
AGOSTO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
SEPTIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA
OCTUBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
NOVIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
DICIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA
ANUAL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA

**Tabla 17:** Funciones de probabilidad según test de estudio para concentraciones de sedimentos.

RÍO ITATA EN CHOLGUÁN										
GASTO SÓLIDO [KG]										
	TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV					TEST CHI CUADRADO				
	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal	Gumbel	Gamma	Exponencial	Log Normal	Normal
ENERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
FEBRERO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	RECHAZA
MARZO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
ABRIL	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
MAYO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
JUNIO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA
JULIO	RECHAZA	RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
AGOSTO	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
SEPTIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
OCTUBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
NOVIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
DICIEMBRE	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
ANUAL	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO RECHAZA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA

### 3.5.2 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala diaria.

Para el estudio de ambas variables hidrológicas se utilizó un total de 6962 datos y se aplicaron ambos métodos estudiados para realizar el análisis de frecuencia.

Se observa que el método gráfico no tuvo un ajuste adecuado, arrojando un coeficiente de determinación  $R^2$  para la  $P_{exc} \leq 50$  de 0.65 para las concentraciones y un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.2 para gastos sólidos, por lo cual se utilizó el método gráfico para describir las variables estudiadas.

La FDP Gumbel no fue utilizada el estudio a escala a diaria, debido a que esta función se caracteriza por entregar buenos resultados en muestras pequeñas y en este caso se está trabajando con una gran cantidad de datos.

Si bien, el test de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov es uno de los más utilizados dentro del análisis de datos, en este caso no se utilizará, debido a que solo es aplicable cuando la muestra es pequeña.

Finalmente, la FDP Gamma es la escogida para describir las concentraciones diarias (Ver Tabla 19) y la FDP Log Normal para describir los gastos sólidos diarios (Ver Tabla 18), ambas FDP tuvieron mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

### 3.5.3 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala mensual.

Del mismo modo que ha sido explicado para las estaciones sedimentológicas anteriores, el método gráfico corresponde al método con menor exactitud por la misma razón ya explicada.

Cabe mencionar que de los resultados obtenidos asociados a una probabilidad de excedencia del 99% de igual manera que en las estaciones anteriores existen meses en que se presentan valores negativos, la interpretación de estos valores negativos no es más que la probabilidad del 99% de exceder un valor de concentración de sedimentos igual a cero.

Del método analítico para el caso de concentraciones de sedimentos y gastos sólidos a escala mensual se logra apreciar que la FDP normal es la que menos se ajusta a la serie hidrológica estudiada, esto debido a lo ya mencionado en las estaciones anteriores.

Las FDP que mejor se ajustan a los meses estudiados son las distribuciones Log Normal y Exponencial para el caso de gastos sólidos (Ver Tabla 18) y Log Normal y Gamma para el caso de las concentraciones de sedimentos (Ver Tabla 19), dichas FDP son muy útiles para describir variables hidrológicas asimétricas.

### 3.5.4 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala anual.

Para el caso del método analítico para las variables hidrológicas estudiadas a escala anual, se aprecia, que dicho método es el que se ajusta de mejor manera, siendo la FDP Exponencial la escogida para describir gastos sólidos (Ver Tabla 18) y la FDP Log normal la escogida para describir concentraciones de sedimentos (Ver Tabla 19), dichas FDP no fueron rechazadas por ninguno de los dos test de bondad de ajuste (Ver Tabla 18 y Tabla 19) y fueron las FDP que tuvieron mejor comportamiento al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

**Tabla 18:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO														
DISTR	Log Normal	Exponencial	Gamma	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Gamma	Gamma	Exponencial	Exponencial	Log Normal	Gamma	Exponencial	Exponencial
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	655446	57495	387524	2397102	2165349	1815729	272468	165887	95707	62987	49877	79914	52342	320711
5%	192853	37401	209282	967797	894410	755308	174356	106237	62259	40974	29430	49374	34049	208627
10%	100459	28747	139324	596756	558255	473209	132439	80743	47854	31494	22215	36549	26171	160355
20%	45604	20094	76731	332291	315465	268627	90888	55460	33448	22013	15803	24079	18293	112084
50%	10066	8654	15106	108408	105861	90933	37099	22698	14405	9481	8238	8687	7878	48272
70%	3927	4453	3364	53946	53612	46302	18121	11115	7413	4878	5489	3749	4054	24839
90%	1009	1315	149	19694	20074	17474	4780	2949	2190	1441	3055	752	1198	7337
95%	525	640	21	12143	12530	10947	2161	1338	1066	702	2306	284	583	3572
99%	155	125	0	4903	5175	4554	354	221	209	137	1361	30	114	700
MEDIA ANUAL														696414

**Tabla 19:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO														
DISTR	Gamma	Exponencial	Log Normal	Log Normal	Exponencial	Log Normal	Gumbel	Gamma	Gumbel	Gamma	Exponencial	Exponencial	Gamma	Log Normal
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	114	28	63	71	78	65	25	24	25	24	33	36	33	25
5%	52	18	34	44	50	39	18	18	18	17	22	23	24	19
10%	29	14	24	34	39	30	15	15	15	14	17	18	20	16
20%	12	10	16	25	27	22	12	12	12	11	12	13	16	13
50%	1	4	8	14	12	12	8	7	7	6	5	5	9	9
70%	0	2	5	9	6	8	5	5	5	4	3	3	6	7
90%	0	1	2	5	2	5	3	3	2	2	1	1	3	5
95%	0	0	2	4	1	4	2	2	1	1	0	0	2	5
99%	0	0	1	3	0	2	0	1	0	1	0	0	1	3
MEDIA ANUAL														10.1

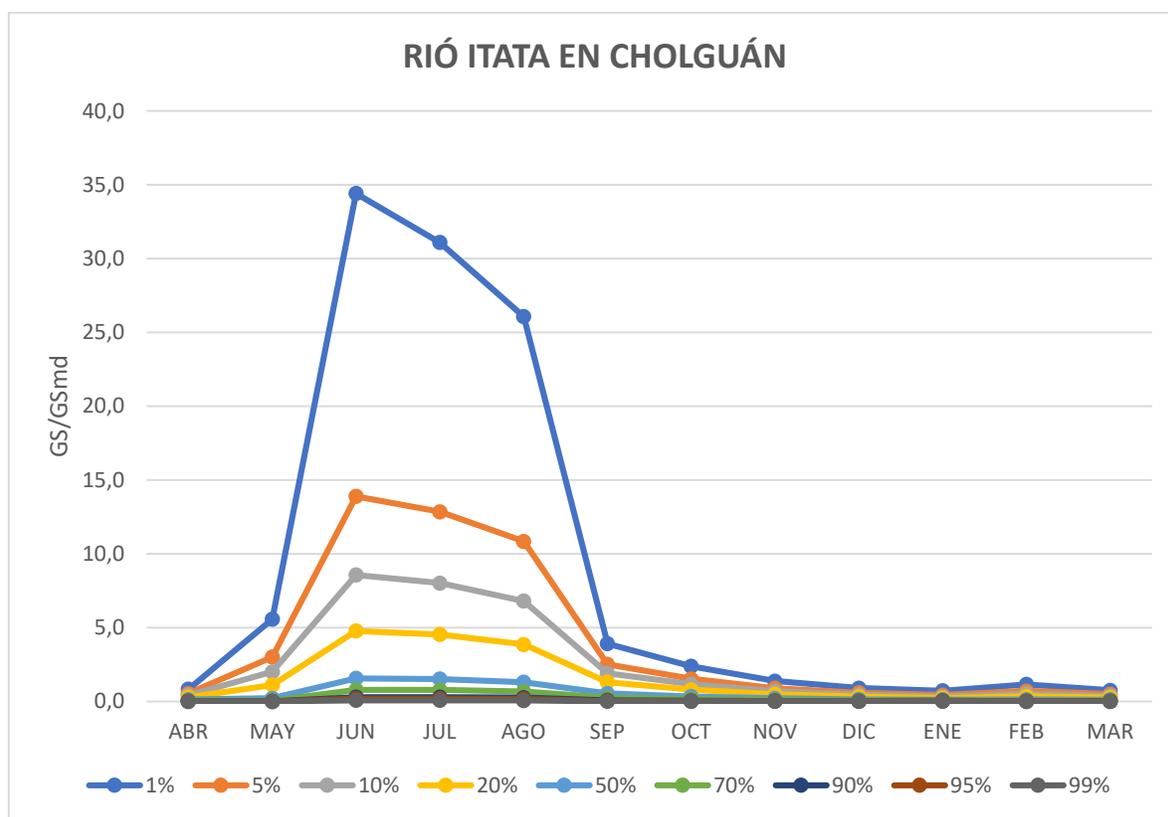
### 3.5.5 Adimensionalización de los resultados.

Para el caso del método analítico, dentro del análisis de concentraciones medias diarias, se puede apreciar que, entre el periodo de junio y agosto, el 50% de las concentraciones medias son mayores que la concentración promedio anual, en comparación a estos, el resto del año se concentran medias menores al promedio anual. Esto se puede explicar nuevamente debido a que en meses de invierno existe un aumento de precipitaciones, y a su vez un aumento en el caudal, lo que provocaría un mayor transporte de sedimentos.

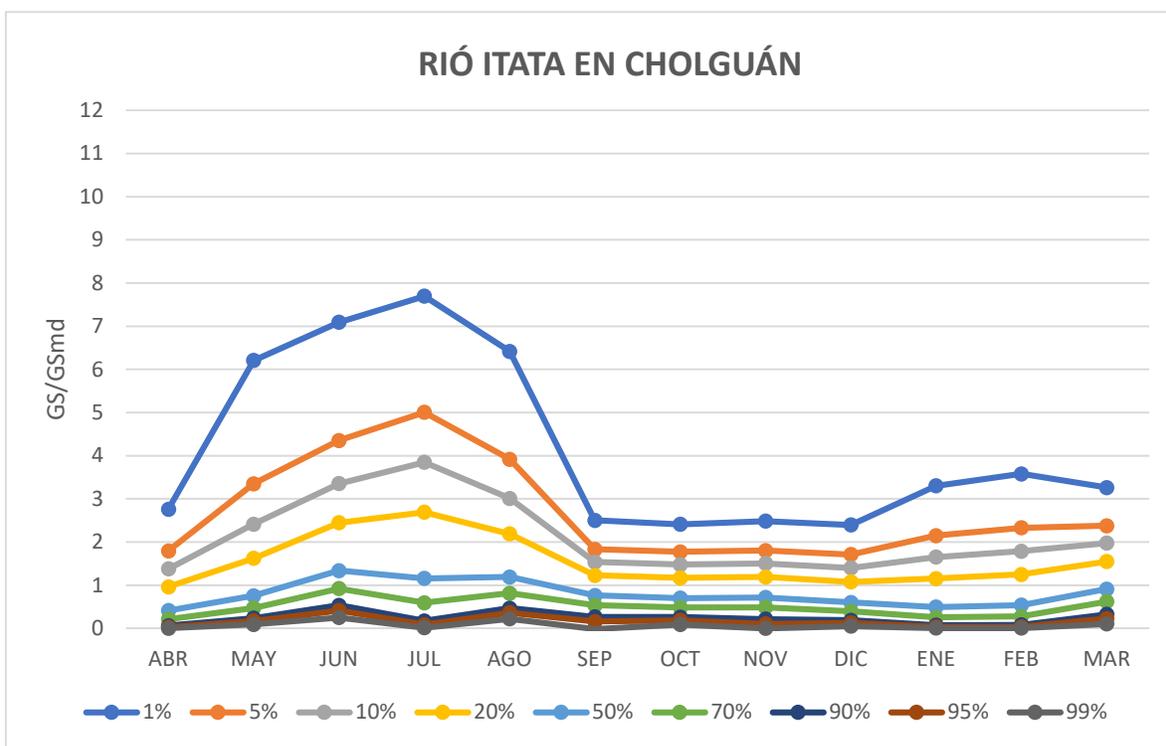
El peak de concentraciones medias se alcanza en el mes de julio, siendo esta 1.3 veces mayor que el promedio anual. (Figura 8).

Para el análisis de gastos sólidos medios diarios, se puede apreciar que, de igual manera entre el periodo de junio y agosto, el 50% de los gastos sólidos medios son mayores que el gasto sólido promedio anual, y que, en el periodo de verano, los gastos sólidos son inferiores a media anual.

El peak de gastos sólidos medios se alcanza en el mes de junio, siendo este 1.6 veces mayor que el promedio anual. (Figura 7).



**Figura 7:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método analítico.



**Figura 8:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método analítico.



### 3.6.2 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala diaria.

Para el estudio de ambas variables hidrológicas se utilizó un total de 6914 datos y se aplicaron ambos métodos estudiados para realizar el análisis de frecuencia.

Se observa que el método gráfico tuvo un ajuste adecuado, arrojando un coeficiente de determinación  $R^2$  para la  $P_{exc} \leq 50$  de 0.75 y para  $P_{noexc} > 50$  de 0.83 para las concentraciones. Sin embargo, un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.4 para gastos sólidos, por lo cual se utilizó nuevamente el método analítico para describir las variables estudiadas.

La FDP Gumbel no fue utilizada el estudio a escala a diaria, debido a que esta función se caracteriza por entregar buenos resultados en muestras pequeñas y en este caso se está trabajando con una gran cantidad de datos.

Si bien, el test de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov es uno de los más utilizados dentro del análisis de datos, en este caso no se utilizará, debido a que solo es aplicable cuando la muestra es pequeña.

Finalmente, la FDP Gamma es la escogida para describir las concentraciones diarias (Ver Tabla 23) y la FDP Exponencial para describir los gastos sólidos diarios (Ver Tabla 22), ambas FDP tuvieron mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

### 3.6.3 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala mensual.

Del mismo modo que ha sido explicado para las estaciones sedimentológicas anteriores, el método gráfico corresponde al método con menor exactitud por la misma razón ya explicada.

Cabe mencionar que de los resultados obtenidos asociados a una probabilidad de excedencia del 99% de igual manera que en las estaciones anteriores existen meses en que se presentan valores negativos, la interpretación de estos valores negativos no es más que la probabilidad del 99% de exceder un valor de concentración de sedimentos igual a cero.

Del método analítico para el caso de concentraciones de sedimentos y gastos sólidos a escala mensual se logra apreciar que la FDP normal es la que menos se ajusta a la serie hidrológica estudiada, esto debido a lo ya mencionado en las estaciones anteriores.

Las FDP que mejor se ajustan a los meses estudiados fue la FDP Gamma para el caso de gastos sólidos (Ver Tabla 22) y Gamma para el caso de las concentraciones de sedimentos (Ver Tabla 23), dicha FDP es muy útil para describir variables hidrológicas asimétricas y con valores extremos.

### 3.6.4 Análisis de concentraciones de sedimentos y gasto sólido a escala anual.

Para el caso del método analítico para las variables hidrológicas estudiadas a escala anual, se aprecia, que dicho método es el que se ajusta de mejor manera, siendo la FDP Gamma la escogida para describir gastos sólidos (Ver Tabla 22) y la FDP Gumbel la escogida para describir concentraciones de sedimentos (Ver Tabla 23), dichas FDP no fueron rechazadas por ninguno de los dos test de bondad de ajuste y fueron las FDP que tuvieron mejor ajuste al momento de evaluar el test de los mínimos cuadrados.

**Tabla 22:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO ANALÍTICO														
DISTR	Exponencial	Gamma	Log Normal	Gamma	Gamma	Log Normal	Gamma	Log Normal	Log Normal	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Gamma
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	6200097	2296969	35612589	22818775	13101463	36205945	19722915	2993327	2145910	461314	175364	127979	277439	6101676
5%	4033256	1045236	9804008	14133624	8172192	14564124	10255061	1720122	1141745	300092	114077	83252	180478	3912869
10%	3100049	597771	4929049	10481816	6092427	8962872	6611979	1280262	815602	230657	87682	63990	138720	2976759
20%	2166841	247462	2143547	6925989	4059361	4978974	3438133	895336	542717	161222	61287	44727	96961	2047742
50%	933208	15750	435819	2521707	1516307	1617026	546576	451710	248966	69435	26395	19263	41759	841795
70%	480204	940	161525	1098689	678029	802396	95131	294934	153204	35729	13582	9912	21488	414044
90%	141850	2	38534	225018	147152	291734	2421	159375	75998	10554	4012	2928	6347	110886
95%	69058	0	19374	86122	58511	179535	240	118621	54289	5138	1953	1425	3090	50627
99%	13531	0	5333	9490	7061	72219	1	68166	28885	1007	383	279	605	8503
MEDIA ANUAL														1263241.5

**Tabla 23:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método analítico a escala diaria, mensual y anual.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	219	110	236	180	129	195	175	45	58	43	69	33	43	54
5%	120	65	143	124	89	124	107	34	38	28	42	24	28	42
10%	77	46	102	99	71	94	78	29	29	22	30	20	22	37
20%	34	27	62	75	54	63	48	24	21	16	18	16	16	31
50%	8	2	9	43	31	23	17	17	10	8	8	10	8	24
70%	7	7	12	21	24	16	14	12	11	7	7	9	6	15
90%	4	5	8	10	14	10	8	9	7	6	6	6	4	11
95%	3	3	6	3	7	6	4	6	5	5	5	4	3	8
99%	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	0	0	1
MEDIA ANUAL														25.1

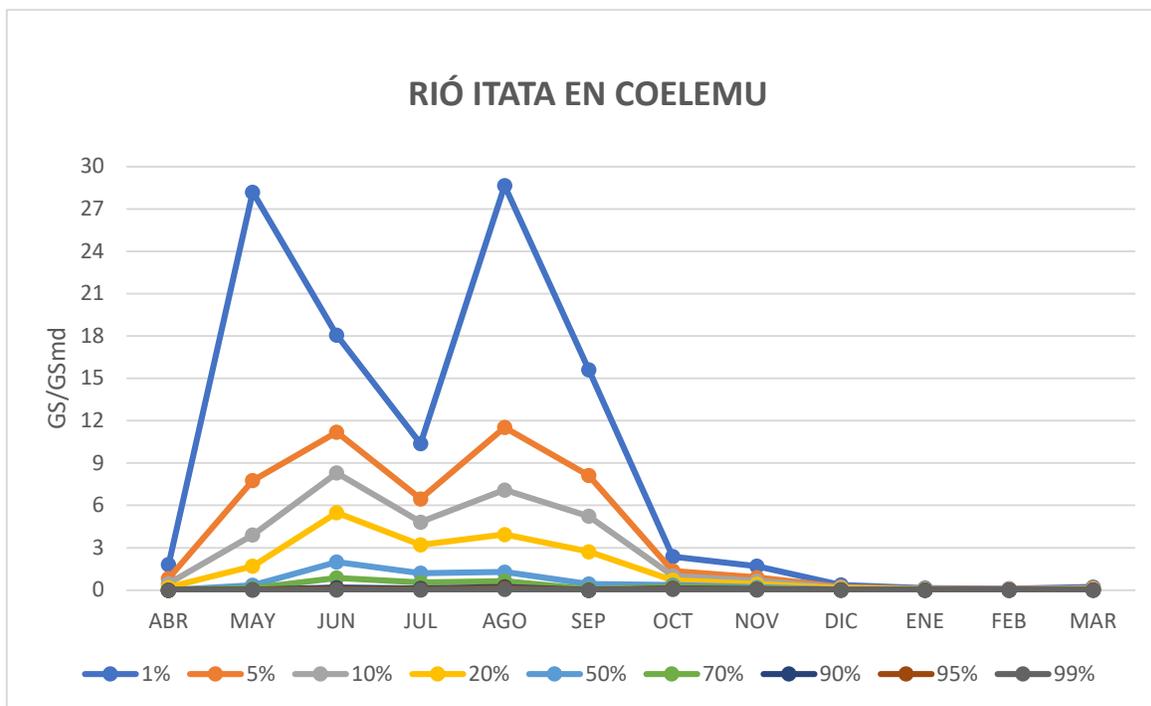
### 3.5.5 Adimensionalización de los resultados.

Para el caso del método analítico, dentro del análisis de concentraciones medias diarias, se puede apreciar que, entre el periodo de junio, julio y agosto el 50% de las concentraciones medias son mayores que la concentración promedio anual, en comparación a estos, el resto del año las concentraciones de sedimentos medias fueron menores al promedio anual. Esto se puede explicar nuevamente debido a que en meses de invierno existe un aumento de precipitaciones, y a su vez un aumento en el caudal, lo que provocaría un mayor transporte de sedimentos.

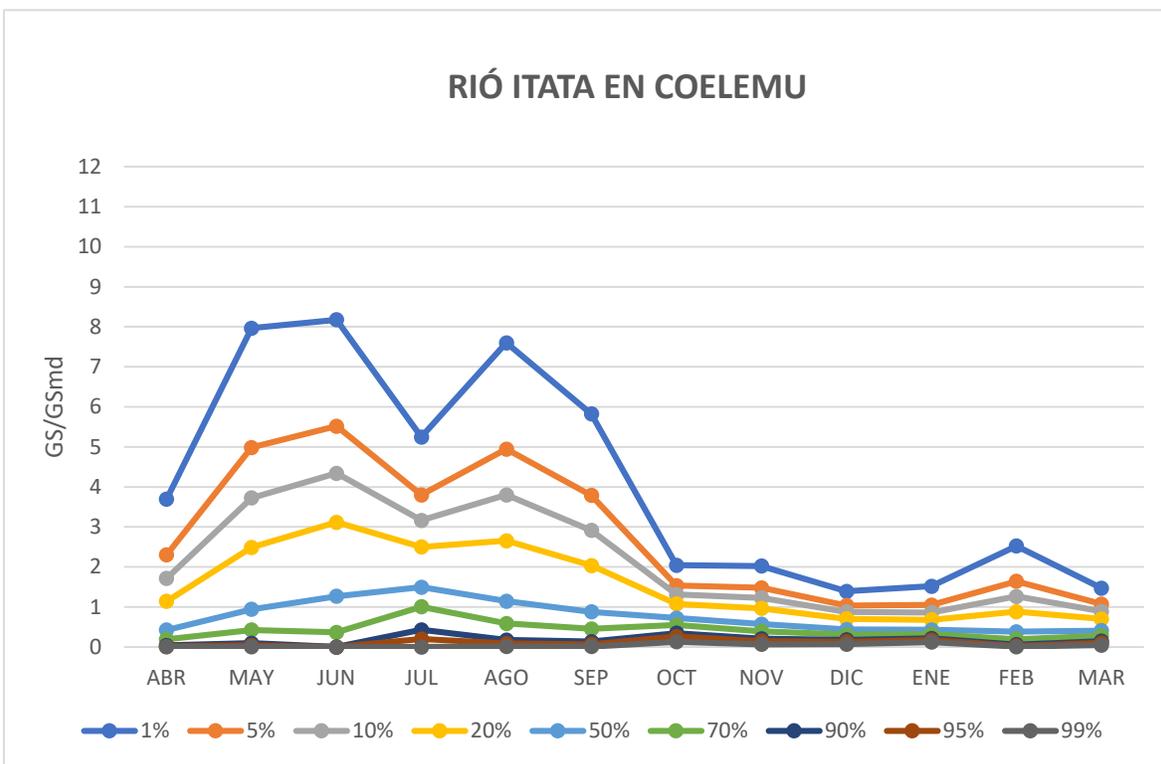
El peak de concentraciones medias se alcanza en el mes de junio, siendo esta 1.5 veces mayor que el promedio anual. (Figura 10).

Para el análisis de gastos sólidos medios diarios, se puede apreciar que, de igual manera entre el periodo de junio y agosto, el 50% de los gastos sólidos medios son mayores que el gasto sólido promedio anual, y que, en el periodo de verano, los gastos sólidos son inferiores a media anual.

El peak de gastos sólidos medios se alcanza en el mes de junio, siendo este el doble que el promedio anual. (Figura 9).



**Figura 9:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método analítico.



**Figura 10:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método analítico.

### 3.6 MÉTODO GRÁFICO

Utilizando el método gráfico, uno de los factores importantes a tener en cuenta al momento de analizar los resultados es el coeficiente de determinación  $R^2$ , el cual indica la variación total de la variable estudiada ya sea para concentraciones o gastos sólidos. Un  $R^2$  lo más cercano a 1 indica un ajuste lineal perfecto y por lo tanto nos asegura un resultado confiable, por el contrario, un valor de  $R^2$  cercano a 0. Esto indica una baja representatividad de la variable hidrológica, por lo que es un resultado poco confiable.

En lo general en un 80% de los casos estudiados a nivel global se obtuvo un coeficiente de determinación mayor a 0.8, lo que indica un ajuste con una exactitud y precisión aceptable de la serie hidrológica estudiada. Sin embargo, existe un 20% de los casos en donde el coeficiente de determinación fue menor a 0.8, lo que implica un ajuste de datos menos exacto. Esto sucede debido a que existen series en donde se presenta mucha dispersión entre los datos o existen datos dudosos en los extremos de la serie, lo que termina provocando que, al aplicar el método gráfico, este no se ajuste de manera correcta (Ver Anexo para resultados utilizando método gráfico).

### 3.7 MÉTODO ANÁLITICO

En cuanto a los resultados obtenidos a nivel global la FDP Normal fue la que menos se ajustó a la serie de datos hidrológicos. Esto sucede debido a que tanto los datos de concentraciones como de gastos sólidos son series de datos extremos, por lo cual se ajustan de mejor manera a FDP tales como Gumbel, Gamma, Log normal o Exponencial.

Mediante los test de bondad aplicados no se pudo dirigir una tendencia clara hacia la función representativa de la serie hidrológica, ya que en general, en conjunto de ambos test, solo se concluyó sobre el rechazo de una o dos funciones de probabilidad, por lo que en general se puso especial atención al método de suma de cuadrados al momento de tomar una decisión.

Cabe destacar que, si bien existen muchos casos en que una función de densidad no es rechazada. Esto no necesariamente indica que es la FDP que mejor se ajusta al fenómeno estudiado.

Al observar las gráficas adimensionales mostradas anteriormente existe una estimación más conservadora en los resultados utilizando el método analítico, mientras que utilizando el método gráfico (Ver Anexo para resultados utilizando método gráfico) los resultados son menos conservadores. Por lo tanto, es el método analítico el que se escogería al momento de tener que tomar decisiones asociadas a la ingeniería, ya que la intención de este informe no está ligada a encontrar el punto donde las demandas sean mayores a lo que se pretende satisfacer. Con esto se evitará sobredimensionar las variables hidrológicas estudiadas ligadas al cálculo de una posible obra y/o estudio hidráulico.

Es decir, que en caso de elegir el método gráfico al momento de la toma de decisiones, se podría estar cometiendo el error de sobreestimar el recurso hídrico instantáneo.

### 3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 CONCLUSIONES

Se utilizó información de las 5 estaciones sedimentológicas activas con mayor cantidad de datos consecutivos en un periodo de 20 años.

La información obtenida en la Dirección General de Aguas presenta consistencia para ambas variables hidrológicas estudiadas ya que solo un 4.2% de los datos resultaron dudosos para la escala mensual y un 4.3% para la escala anual. Cabe destacar que de este porcentaje se decidió no eliminar ningún dato, ya que se corroboró mediante procedimiento señalado en el informe que alrededor de un 90% de la información dudosa presentaba homogeneidad y congruencia entre sus estaciones sedimentológicas vecinas y para el porcentaje restante no se contó con un método que permitiera detectar errores en la medición de estos.

Dado que el objetivo busca evaluar el recurso hídrico de la cuenca del Río Itata, se consideró para este estudio en específico seleccionar el método analítico por sobre el método gráfico al momento de tomar una decisión. Esto debido a que este último se emplea de manera comparativa, utilizando distintos sistemas para desenvolver la evaluación de datos, además de utilizar todos los datos probabilísticos entregados.

Los resultados obtenidos indican que todas las estaciones sedimentológicas estudiadas logran ajustarse a alguna FDP. Se decidió seleccionar aquella que se ajustara de mejor manera al caso que le correspondiera y no necesariamente una FDP que representara a la escala completa, ya que para este estudio se buscó ser lo más preciso posible y escoger una FDP en común no reflejaría el mejor ajuste para todos los casos estudiados.

Con respecto al volumen de sólidos, se puede observar la Región de Ñuble presenta zonas con material sedimentológico muy diferentes entre sí. Se tiene que la estación más cercana a la costa Río Itata en Coelemu presenta un gasto sólido 18 veces mayor que la estación más cercana a la cordillera Río Itata en Cholguán. Esto resalta la importancia de generar este tipo de estudios para la ayuda al momento de tomar desafíos en el desarrollo de obras ingenieriles en la zona.

### **3.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda repetir el estudio en el tiempo, en un plazo no menor a 10 años, para poder asegurar una mayor longitud de los registros sedimentológicos.

#### 4 BIBLIOGRAFÍA

- Dirección General de Aguas (DGA). (2021) <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/default.aspx>
- Maggio, J. (2002). Análisis Estadístico de Valores Extremos, Aplicaciones en hidrología, NOLDOR S.R.L
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2021) <https://snia.mop.cl/BNAConsultas>
- Santana Oyarzo, Luis y Sergio Quijada Vera. (2007). Apunte: Hidrología. Universidad del Bío Bío, Concepción: Departamento de Ingeniería Civil.
- Ven Te Chow (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill Interamericana S.A, Primera Edición, 1994.
- Water Resources Council (1981), como se citó Ven te Chow (1994).

## 5 ANEXOS

### A. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

**Tabla 1:** Valores de  $K_n$  para la prueba de datos dudosos, con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Valores $K_n$ para la prueba de datos dudosos							
Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

(Fuente: Water Resources Council 1981)

**Tabla 2:**  $\chi^2$  v/s grados de libertad para distintos niveles de confianza.

$$P(X \leq x_{1-\alpha, v}) = F(x_{1-\alpha, v}) = \frac{1}{\Gamma(v/2) 2^{v/2}} \int_0^{x_{1-\alpha, v}} t^{v/2-1} \exp(-t/2) dt = 1 - \alpha$$

$\nu$	$\chi_{0,005}$	$\chi_{0,010}$	$\chi_{0,025}$	$\chi_{0,050}$	$\chi_{0,100}$	$\chi_{0,900}$	$\chi_{0,950}$	$\chi_{0,975}$	$\chi_{0,980}$	$\chi_{0,995}$
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	2.71	3.84	5.02	6.64	7.90
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	4.60	5.99	7.38	9.22	10.59
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	6.25	7.82	9.36	11.32	12.82
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	7.78	9.49	11.15	13.28	14.82
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	9.24	11.07	12.84	15.09	16.76
6	0.67	0.87	1.24	1.63	2.20	10.65	12.60	14.46	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07	16.02	18.47	20.27
8	1.34	1.64	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51	17.55	20.08	21.94
9	1.73	2.09	2.70	3.32	4.17	14.69	16.93	19.03	21.65	23.56
10	2.15	2.55	3.24	3.94	4.86	15.99	18.31	20.50	23.19	25.15
11	2.60	3.05	3.81	4.57	5.58	17.28	19.68	21.93	24.75	26.71
12	3.06	3.57	4.40	5.22	6.30	18.55	21.03	23.35	26.25	28.25
13	3.56	4.10	5.01	5.89	7.04	19.81	22.37	24.75	27.72	29.88
14	4.07	4.65	5.62	6.57	7.79	21.07	23.69	26.13	29.17	31.38
15	4.59	5.23	6.26	7.26	8.55	22.31	25.00	27.50	30.61	32.86
16	5.14	5.81	6.90	7.96	9.31	23.55	26.30	28.86	32.03	34.32
17	5.69	6.40	7.56	8.67	10.08	24.77	27.59	30.20	33.43	35.77
18	6.25	7.00	8.23	9.39	10.86	25.99	28.88	31.54	34.83	37.21
19	6.82	7.63	8.90	10.11	11.65	27.21	30.15	32.87	36.22	38.63
20	7.42	8.25	9.59	10.85	12.44	28.42	31.42	34.18	37.59	40.05

(Fuente: Santana y Quijada, 2007)

**Tabla 3:** Ks v/s N° de datos para distintos niveles de confianza.

<i>n</i>	<i>1 - α</i>				
	0.80	0.85	0.90	0.95	0.99
1	.900	.925	.950	.975	.995
2	.684	.726	.776	.842	.929
3	.565	.597	.642	.708	.828
4	.494	.525	.564	.624	.733
5	.446	.474	.510	.565	.669
6	.410	.436	.470	.521	.618
7	.381	.405	.438	.486	.577
8	.358	.381	.411	.457	.543
9	.339	.360	.388	.432	.514
10	.322	.342	.368	.410	.490
11	.307	.326	.352	.391	.468
12	.295	.313	.338	.375	.450
13	.284	.302	.325	.361	.433
14	.274	.292	.314	.349	.418
15	.266	.283	.304	.338	.404
16	.258	.274	.295	.328	.392
17	.250	.266	.286	.318	.381
18	.244	.259	.278	.309	.371
19	.237	.252	.272	.301	.363
20	.231	.246	.264	.294	.356
25	.21	.22	.24	.27	.32
30	.19	.20	.22	.24	.29
35	.18	.19	.21	.23	.27
<b>Fórmula para una <i>n</i> mayor</b>	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

(Fuente: Santana y Quijada, 2007)

**Tabla 4:** Valores para obtener los parámetros de la distribución Gumbel en función de  $n$

n	$Y_n$	$S_n$	n	$Y_n$	$S_n$	N	$Y_n$	$S_n$
2	0.4043	0.4984	37	0.5418	1.1339	84	0.5576	1.1967
3	0.4286	0.6435	38	0.5424	1.1363	86	0.5580	1.1980
4	0.4458	0.7315	39	0.5430	1.1388	88	0.5583	1.1994
5	0.4588	0.7928	40	0.5436	1.1413	90	0.5586	1.2007
6	0.4690	0.8388	41	0.5442	1.1436	92	0.5589	1.2020
7	0.4774	0.8749	42	0.5448	1.1458	94	0.5592	1.2032
8	0.4843	0.9043	43	0.5453	1.1480	96	0.5595	1.2044
9	0.4902	0.9288	44	0.5458	1.1499	98	0.5598	1.2055
10	0.4952	0.9497	45	0.5463	1.1519	100	0.5600	1.2065
11	0.4996	0.9676	46	0.5468	1.1538	150	0.5646	1.2253
12	0.5035	0.9833	47	0.5473	1.1557	200	0.5672	1.2360
13	0.5070	0.9972	48	0.5477	1.1574	250	0.5688	1.2429
14	0.5100	1.0095	49	0.5481	1.1590	300	0.5699	1.2479
15	0.5128	1.0206	50	0.5485	1.1607	400	0.5714	1.2545
16	0.5157	1.0316	51	0.5489	1.1623	500	0.5724	1.2588
17	0.5181	1.0411	52	0.5493	1.1638	750	0.5738	1.2651
18	0.5202	1.0493	53	0.5497	1.1653	1000	0.5745	1.2685
19	0.5220	1.0566	54	0.5501	1.1667			
20	0.5236	1.0628	55	0.5504	1.1681			
21	0.5252	1.0696	56	0.5508	1.1696			
22	0.5368	1.0754	57	0.5511	1.1708			
23	0.5283	1.0811	58	0.5515	1.1721			
24	0.5296	1.0864	59	0.5518	1.1734			
25	0.5309	1.0915	60	0.5521	1.1747			
26	0.5320	1.0961	62	0.5527	1.1770			
27	0.5332	1.1004	64	0.5533	1.1793			
28	0.5343	1.1047	66	0.5538	1.1814			
29	0.5353	1.1086	68	0.5543	1.1834			
30	0.5262	1.1124	70	0.5548	1.1854			
31	0.5371	1.1159	72	0.5552	1.1873			
32	0.5380	1.1193	74	0.5557	1.1890			
33	0.5388	1.1226	76	0.5561	1.1906			
34	0.5396	1.1255	78	0.5565	1.1923			
35	0.5403	1.1285	80	0.5569	1.1938			
36	0.5410	1.1313	82	0.5572	1.1953			

(Fuente: Maggio J. 2002)

## B. TABLAS DE CÁLCULOS Y RESULTADOS DETALLADOS

Se presentan datos de concentraciones y gastos sólidos obtenidos mediante la Dirección General de Aguas los cuales fueron trabajos según metodología expuesta anteriormente.

**Tabla 1:** Concentración de sedimentos media diaria Río Itata Chillan en camino a confluencia periodo 1998 - 2017

RÍO ITATA CHILLÁN EN CAMINO A CONFLUENCIA - E01C													
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS (mg/l)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	12.77	11.35	8.01	13.57	20.12	18.92	17.75	13.75	21.11	8.54	16.51	11.36	14.48
1999	16.9	14.78		6.17	18.54	63.26	11.59	20.82	28.55	18.04	14.75	14.44	20.71
2000	14.83	16.16	7.83	4.51	8.89	45.66	20.36	21.25	26.24	32.35	10.93	19.41	19.04
2001	8.87	8.63	9.01	8.06	40.07	21.44	101.01	66.92	9.07	15.11	8.39	7.6	25.35
2002	10.77	16.03	24.92								12.58	13.82	15.62
2003	6.46	8.29	12.13	6.05	22.25	116.08	44.76	15.5	16.92	16.53	8.83	7.03	23.40
2004	9.75	15.64	6.66	11.82	18.91	47.56	75.99	12.39	13.05	6.69	7.2	14.39	20.00
2005	11.58	12.13	16.15	7.49	21.54	37.96	31.09	45.48	6.1	7.09	8.36	19.83	18.73
2006	10.94	10.14	8.37	16.61	22.07	39.79	128.41	23.45	17.59	30.01	7.29	15.52	27.52
2007	6.93	8.99	6.75	10.13	5.22	51.68	88.89	37.68	60.95	10.18	16.02	13.83	26.44
2008	18.01	11.42	16.59	12.64	61.52	16.86	109.83	147.19	7.67	8.63	19.71	8.61	36.56
2009	11.54	18.79	8.24	4.12	136.98	49	24.59	37.37	30.14	11.62	55.76	8.26	33.03
2010	7.34	15.56	8.78	4.56	5.45	17.98	14.25	12.85	11.89	11.56	7.8	8.57	10.55
2011	10.02	9.35	10.92	10.18	11.35	32.2	19.79	38.33	16.98	10.96	12.52	6.48	15.76
2012	7.1	16.7	8.82	5.09	22.14	28.16	10.11	18.15	12.7	13.39	11.87	15.38	14.13
2013	4.67	8.99	4.85	5.94	15.19	23.27	14.05	19.13	35.1	10.52	6.73	10.54	13.25
2014	14.25	9.38	7.77	8.27	12.78	19.59	23.64	27.96	21.86	15.23	10.69	12.12	15.30
2015	20.77	24.28	18.66	10.92	14.64	16.33	93.82	50.15	25.93	34.91	16.5	23.36	29.19
2016	18.05	13.74	8.22	20.05	10.13		62.37	13.49	7.24	25.12	10.58	6.04	17.73
2017	8.18	9.27	6.36	10.6	54.71	31.86	36.19	60.79	26.41	106.3	43.83	15.7	34.18
<b>̄</b>	<b>11.49</b>	<b>12.98</b>	<b>10.48</b>	<b>9.30</b>	<b>27.50</b>	<b>37.64</b>	<b>48.87</b>	<b>35.93</b>	<b>20.82</b>	<b>20.67</b>	<b>15.34</b>	<b>12.61</b>	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 2:** Gasto sólido medio diario Río Itata Chillan en camino a confluencia periodo 1998 - 2017 2017

RÍO ITATA CHILLÁN EN CAMINO A CONFLUENCIA - E01G													
GASTO SÓLIDO (kg)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	3247.36	1815.03	1631.52	7616.78	26889.1	30872.1	39006.87	23478.26	35503	4433.59	2525.2	882.62	14825.12
1999	1037.67	762.42		780.15	13947.23	341659.23	34713.62	142449.19	240008.11	24101.61	7507.38	967.51	73448.56
2000	690.67	6671.71	1167.33	486.44	4836.67	399104.27	210813.22	117755.35	202829.5	107780.73	8986.91	5465.16	88882.33
2001	2611.17	1899.06	1412.59	2753.27	514483.21	118401.06	1846177.21	550617.02	36053.77	21899.52	5325.77	1010.49	258553.68
2002	787.79	12533.89	38466.96								34835.98	10381.81	19401.29
2003	2167.52	1363.76	1685.46	1380.61	31010.8	781429.79	236630.72	22078.08	37745.38	40674.02	10592.62	1644.51	97366.94
2004	740.22	1078.25	685.3	18920.91	11962.69	286231.67	503794.4	47237.92	43931.78	10147.18	11693.27	4680.33	78425.33
2005	792.4	777.62	1061.63	537.77	55539.33	357418.71	431340.99	433166	26924.29	11178.36	3564.92	9059.98	110946.83
2006	3005.95	1133.19	1083.63	18672.05	73950.54	513688.47	3571301.85	159039.08	67005.07	93874.3	7772.94	9667.46	376682.88
2007	1196.38	1722.89	984.41	5173.98	3800.94	67174.32	311514.45	122703.12	148905.13	13341.91	6975.9	2060.22	57129.47
2008	900.74	476.57	821	1901.33	1130134.5	78361.63	606200.85	1205027.44	31076.8	9877.16	7165.55	1097.76	256086.78
2009	384.99	446.48	320.92	396.26	625054.55	489627.9	292700.95	398974.7	211607.25	24315.06	117765.59	5042.54	180553.10
2010	1402.56	3638.88	2366.26	1307.65	2875	43515.39	38169.53	32793.89	16113.48	11161.32	6470.33	2777.82	13549.34
2011	1102.32	729.41	1019.25	5697.06	6472.92	98933.79	76296.55	311677.25	52388.25	15898.83	7802.62	1647.66	48305.49
2012	557.08	17025.28	1294.9	713.67	109244.41	134789.04	18907.12	34956.7	10160.6	7233.21	4937.08	16838.81	29721.49
2013	1261.38	1438.55	470.11	712.34	22187.96	171618.32	97622.38	93741.36	121684.31	15036.04	3602.49	2274.79	44304.17
2014	1249.3	558.55	1513.87	1653.04	17800.97	125952.7	180530.88	313835.33	86843.27	24333.05	6581.3	3811.42	63721.97
2015	3096.6	2241.67	2074.07	1861.32	7359.87	40325.47	299041.52	448896.68	98853.59	103136.86	18240.5	6403.14	85960.94
2016	2362.67	1261.62	471.43	16159.31	6781.1		123249.67	21393.4	8268.77	42643.31	10592.45	1660.17	21349.45
2017	397.13	617.1	503.53	1879.72	50555.03	187112.08	117497.97	290415.97	48681.62	595749.96	121858.92	11694.76	118913.65
<b>X̄</b>	1449.60	2909.60	3107.06	4663.35	142888.78	237012.00	475553.20	251065.09	80241.26	61937.69	20239.89	4953.45	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 3:** Concentración de sedimentos media diarias Río Diguillín en longitudinal periodo 1998 - 2017

RÍO DIGUILLÍN EN LONGITUDINAL - E02C													
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS (mg/lt)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	14.48	11.63	8.82	18.46	27.95	16.95	13.49	10.27	83.49	169.65	15.72	15.73	33.89
1999	7.69	8.34	5.94	6.13	15	22.47	15.5	11	31.46	13.42	6.73	9.56	12.77
2000	3.91	54.44	3.65	3.25	21.37	80.73	6.72	6.86	14.03	4.01	2.59	14.43	18.00
2001	8.64	3.42	2.31	6.47	13.66	14.99	36.43	3.68	9.93	3.41	1.81	10.1	9.57
2002	3.57	6.6	2.07								1.27	1.37	2.98
2003	4.59	3.44	4.96	4.69	14.98	37.12	9.33	5.26	7.12	12.00	5.36	3.39	9.35
2004	2.98	3.84	9.33	7.43	5.91	42.01	11.61	5.02	11.86	8.45	8.52	7.21	10.35
2005	5.56	2.87	5.48	5.01	23.08	42.47	33.25	21.84	9.30	10.03	4.57	6.23	14.14
2006	7.95	6.00	11.78	21.14	20.86	33.43	77.37	11.18	11.64	7.27	5.19	10.14	18.66
2007	3.07	7.27	7.19	7.44	7.54	6.07	24.94	5.79	5.25	5.91	5.78	7.58	7.82
2008	6.69	9.67	10.35	7.11	44.05	7.93	6.42	37.55	5.71	3.16	5.40	3.57	12.30
2009	8.92	11.19	12.11	9.14	30.68	23.62	15.61	24.57	11.74	7.60	6.05	8.41	14.14
2010	10.22	13.10	28.56	4.92	9.42	15.59	9.88	7.78	2.06	3.87	3.67	3.36	9.37
2011	5.83	5.95	10.17	8.54	4.62	20.43	17.27	18.42	9.39	5.07	4.15	5.43	9.61
2012	7.45	27.15	5.71	11.65	18.65	16.95	4.64	8.11	4.64	5.32	6.41	7.47	10.35
2013	3.24	5.61	6.08	7.88	11.19	14.00	3.78	8.37	6.33	4.13	6.07	7.94	7.05
2014	9.78	6.61	9.58	12.17	9.82	45.13	5.16	20.71	13.80	31.69	4.02	3.86	14.36
2015	7.50	10.34	6.73	6.97	5.62	7.29	24.49	24.89	15.22	12.90	13.83	10.81	12.22
2016	8.46	13.07	8.09	5.47	4.52		11.40	12.74	5.82	10.25	7.39	5.35	8.41
2017	6.37	7.02	17.35	8.09	5.65	10.57							9.18
<b>X̄</b>	6.85	10.88	8.81	8.52	15.50	25.43	18.18	13.56	14.38	17.67	6.03	7.47	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 4:** Gasto sólido medio diario Río Diguillín en longitudinal periodo 1998 - 2017

RÍO DIGUILLÍN EN LONGITUDINAL - E02G													
GASTO SÓLIDO (kg)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	2778.05	1165.56	1038.66	9534.28	36762.35	42905.26	43677.18	34841.82	96311.42	86787.01	1662.99	1430.99	29907.96
1999	460.59	328.14	315.39	324.97	72160.41	210557.04	80572.86	138352.64	813925.21	41823.7	4310.81	917.73	113670.79
2000	1148.25	224068.36	1122.93	1067.82	10514.38	409137.53	24094.37	79012.88	39297.03	8213.66	3573.36	13611.32	67905.16
2001	3868.4	1969.66	984.19	2226.05	201373.05	74009.94	646770.67	13912.68	16336.98	3008.84	1267.42	6127	80987.91
2002	1565.27	12846.4	2252.75								2467.86	1483.54	4123.16
2003	4506.48	1498.12	2707.67	3655.27	26941.56	878111.42	93400.67	25129.98	36749.34	67135.46	12170.93	3337.36	96278.69
2004	1463.62	1726.98	4588.63	33687.75	9446.84	787258.46	126324.29	40026.78	109607.18	36454.54	35195.71	6279.56	99338.36
2005	1566.14	363.66	1788.56	2657.07	141336.05	1687287.34	1174029.05	388114.91	80716.8	27538.14	6427.99	6188.23	293167.83
2006	6642.32	2181.6	4515.22	131603.94	278909.56	718922.35	4747041.67	193999.55	150164.05	56350.02	18041.45	13532.94	526825.39
2007	1999.28	4162.3	4467.45	6557.15	10029.04	15272.3	475503.82	47951.31	30216.65	16319.79	6480.9	6389.78	52112.48
2008	2105.79	3225.6	3827.4	2924.41	1396431.28	62574.23	44876.73	754909.53	60520.15	6664.77	2809.15	1222.81	195174.32
2009	1672.46	2152.09	2379.28	1991.35	386095.18	474004.13	136235.28	319379.54	95261.52	36419.62	12810.93	2857.65	122604.92
2010	1499.36	2147.08	4824.86	875.81	2651.19	55657.24	47665.06	54437.07	6276.76	5614.6	2474.23	944.01	15422.27
2011	1492.19	1530.45	2601.83	7772.95	2679.02	142674.23	94530.04	221863.64	68856.43	19022.62	3368.09	1531.02	47326.88
2012	2011.78	12567.83	1727.46	3320.5	143485.62	125072.38	20887.74	24285.62	10519.89	3200.59	2152.02	8507.57	29811.58
2013	633.18	1808.07	1933.53	1836.81	15000.35	79414.34	32294	62018.68	41413.23	6974.99	3982.97	2537.01	20820.60
2014	2014.55	1359.49	1961.77	2472.09	6869.46	369198.39	1168.87	144738.5	116570.13	93486.2	951.45	1105.53	61824.70
2015	1604.76	1806.72	921.75	939.54	1715.58	36707.9	179853.53	217197.39	94980.99	46068.79	18926.3	2339.94	50255.27
2016	1726.2	2106.92	1030.94	3390.39	1924.73		29701.96	59724.51	7779.29	25495.39	1459.72	919.36	12296.31
2017	956.59	978.77	2896.89	1340.54	4455.78	91902.03							17088.43
<b>̄</b>	2085.76	13999.69	2394.36	11483.09	144672.71	347814.81	444368.21	156660.95	104194.61	32587.71	7396.54	4277.02	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 5:** Concentración de sedimentos media diaria Río Itata en balsa a Nueva Aldea periodo 1998 - 2017

RÍO ITATA EN BALSA NUEVA ALDEA - E03C													
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS (mg/lt)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	11.42	21.75	11.78	10.61	17.4	34.08	7.41	48.4	15.59	6.31	10.41	29.22	18.70
1999	26.26	17.58	15.97	17.95	9.18	27.99	12.03	18.7	28.6	6.02	3.85	9.25	16.12
2000	6.98	19.08	5.3	4.74	17.96	31.26	30.33	33.08	68.83	14.29	20.12	8.8	21.73
2001	11.26	19.25	19.06	11.44	61.24	17.72	72.16	50.46	10.26	11.61	24.3	8.08	26.40
2002	13.03	20.92	20.54								18.31	7.87	16.13
2003	24.86	9.45	20.99	38.05	16.9	139.58	56.96	15.96	27.11	36.92	34.15	36.14	38.09
2004	44.28	22.47	13.01	21.47	20.1	42.63	209.76	16.1	21.26	15.53	19.55	17.65	38.65
2005	24.73	10.18	15.07	15.2	30.17	62.95	20.18	48.82	15.58	12.67	19.84	28.08	25.29
2006	27.53	30.67	35.78	52.8	39.55	41.42	52.86	40.4	36.81	56.33	34.9	55.21	42.02
2007	23.98	87.66	19.5	22.42	16.24	46.7	48.87	26.4	12.07	19.58	33.4	32.15	32.41
2008	24.95	31.54	20.28	57.72	58.48	159.81	23.94	32.2	24.24	13.47	15.2	8.39	39.19
2009	10.13	6.5	13.07	4.3	36.13	39.85	17.02	39.08	30.1	20.31	35.49	16.44	22.37
2010	11.04	16.5	12.38	8.93	10.25	21.38	71.04	61.76	20.09	22.47	14.03	21.14	24.25
2011	23.2	13.38	21.25	13.45	26.4	36.45	18.58	120.06	23.39	35.99	16.28	7.03	29.62
2012	11.61	24.69	10.58	6.14	21.31	25.59	16.93	21.05	8.51	16.63	22.64	14.47	16.68
2013	11.55	11.29	21.69	21.89	11.58	24.34	23.71	38.24	8.21	15.31	8.85	14.44	17.59
2014	14.07	32.76	16.42	14.75	20.66	36.52	30.21	28.48	34.97	22.04	21.53	10.29	23.56
2015	12.7	11.83	12.66	14.28	10.7	8.58	34.63	63.26	37.9	31.6	24.68	26.64	24.12
2016	14.9	12.75	12.41	7.59	8.37		21.24	13.03	11.57	10.71	16.95	10.27	12.71
2017	11.76	10.07	19.81	7.59	10.35	31.14	13.88	12.12	32.71	30.67	9.52	10.21	16.65
<b>̄</b>	18.01	21.52	16.88	18.49	23.31	46.00	41.14	38.29	24.62	20.97	20.20	18.59	25.11

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 6:** Gasto sólido medio diario Río Itata en balsa a Nueva Aldea periodo 1998 – 2017.

RÍO ITATA EN Balsa NUEVA ALDEA - E03G													
GASTO SÓLIDO (kg)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	12537.88	16928.82	12609.96	20139.08	63914.59	204072	62351.93	549298.76	105465.97	10204.55	7781.84	0	88775.45
1999	0	0	0	0	74989.99	764021.76	193615.21	543160.69	1465015.1	67958.25	19436.87	16510.68	262059.05
2000	8103.51	65922.49	9501.7	7697.49	50139.88	1312334.01	1906817.76	937688.83	3090774.84	213350.11	75043.97	14470.97	640987.13
2001	8158.14	25141.69	21424.77	194.6334	999694.53	558561.54	4087643.98	1836016.5	164535.51	48224.79	212805.74	39142.99	727395.47
2002	7393.92	192191.28	141694.76								234835.9	38165.39	122856.25
2003	67437.62	17027.57	40312.14	122252.48	58344.61	3914755.93	1038803.59	192890.79	332887.08	390935.54	259705.99	101715.11	544755.70
2004	64336.59	26856.75	23998.57	264643.75	75227.7	815634.26	5523810.43	275922.66	389548.7	150685.89	149053.87	41453.02	650097.68
2005	19658.87	6360.11	15995.05	27323.19	430274.87	3775454.01	722239.65	1521570.1	259408.11	99677.94	108716.82	103040.45	590809.93
2006	61885.95	36392.59	7998.73	279061.26	405109.76	1578295.09	2258142.48	1652654.55	848183.76	674381.68	202288.22	257588.46	688498.54
2007	37556.9	236445.71	35188.42	70538.56	45585.36	250564.87	671644.73	353126.62	116217.09	129570.89	105523.49	45449.39	174784.34
2008	18059.08	27227.67	25486.11	158386.55	2881597.69	3427587.2	435598.89	1218863.78	503331.75	80953.98	41395.43	11538.66	735835.57
2009	10252.22	6834.18	16042.67	9387.8	503005.65	1119866.45	449802.06	1162529.52	521409.17	164619.2	287847.82	43686.92	357940.31
2010	15853.48	29766.64	19788.61	16775.64	25561.22	177133.88	845432.26	804855.19	200364.27	121776.13	42846.93	44862.55	195418.07
2011	38739.65	18353.64	51308.61	56709.14	80267.8	424608.38	289566.62	2465036.04	347594.2	357573.98	71497.3	10405.09	350971.70
2012	14509.24	49311.75	25885.04	11163.48	165682.09	555096.59	152102.07	185375.22	46545.65	59394.33	72489.84	71607.16	117430.21
2013	16010.64	12316.12	20811.57	30368.07	63486.97	313547.37	597606.8	1059650.1	116275.09	108454.58	25227.52	20394.29	198679.09
2014	15944.05	40965.06	28349.23	36959.11	135871.62	836860.73	945276.17	1073093.46	969282.89	301471.38	71397.18	17768.98	372769.99
2015	16751.97	9514.49	12257.28	21738.07	19629.35	112379.49	806444.1	2355001.07	795225.51	503401.1	138886.04	44131.17	402946.64
2016	19454.09	11919.76	9819	20891.68	19926.55	161056		151544.02	60715.71	65565.87	27860.62	12129.82	50989.37
2017	10377.24	8081.86	19331.26	8526.96	56547.2	864576.54	218441.91	331104.68	493657.32	800186.19	86221.17	17744.63	242899.75
Σ	23151.05	41877.91	26890.17	64586.80	323939.86	1114021.37	1178074.48	982599.08	569812.51	228862.44	112043.13	47590.29	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 7:** Concentración de sedimentos media diarias Río Itata en Cholguán periodo 1998 – 2017

RÍO ITATA EN CHOLGUAN - E04C													
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS (mg/l)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	11.77	6.31	27.59	11.59	10.98	9.24	14.71	8.29	10.15	11.25	8.49	10.96	11.78
1999	8.27	11	6.16	6.45	13.56	20.76	8.23	18.84	17.65	5.81	6.28	6.15	10.76
2000	15.27	19.62	10.99	4.13	11.45	51.09	26.86	19.64	19.9	9.78	15.65	11.39	17.98
2001	17.42	4.8	8.92	19.9	12.22		67.45	37.84	7.07	11.16	19.52	18.14	20.40
2002	25.79	33.79	25.72								6.13	3.84	19.05
2003	2.6	2.55	2.61	4.51	5.31	26.77	7.04	3.36	5.87	9.09	4	3.98	6.47
2004	4.13	3.05	3.34	8.56	1.41	18.17	6.74	5.53	8.42	5.5	3.84	7.35	6.34
2005	4.48	4.29	1.34	3.08	9.19	16.07	12.73	13.63	4.5	2.71	6.25	3.19	6.79
2006	1.97	4.46	4.36	10.63	11.63	10.9	27.47	7.95	8.2	7.43	5.24	8.37	9.05
2007	5.22	2.99	2.65	4.52	1.32	2.16	9.69	3.13	3.29	4.88	3.35	3.78	3.92
2008	4.15	5.09	4.6	3.42	36.18	6.54	7.45	17.86	5.73	3.58	6.03	3.15	8.65
2009	3.57	4.69	4.96	2.3	14.95	5.45	18.64	13.38	8.47	8.66	5.27	4.17	7.88
2010	3.67	6.39	5.24	3.34	4.52	12.84	5.98	14.27	5.63	2.95	12.01	3.8	6.72
2011	5.96	4.68	3.81	7.3	4.76	11.38	8.33	11.04	7.67	3.66	6.82	5.08	6.71
2012	4.8	11.96	7.36	3.3	13.42	13.32	5.32	5.63	5.06	5.35	6.83	13.03	7.95
2013	3.37	5.78	4.79	3.18	4.66	14.88	17.66	10.91	8.36	6.26	3.4	4.61	7.32
2014	6.46	5.33	6.54	4.63	8.11	17.05	28.93	38.19	8.77	7.08	6.08	5.11	11.86
2015	4.8	3.71	5.36	4.11	4.15	18.17	23.41	34.67	12.4	23.66	11.89	21.08	13.95
2016	5.3	6.86	10.57	5.43	3.06		9.21	14.3	2.69	8.64		3.71	6.98
2017	5.51	9.3	9.73	4.38	7.45	28.82	14.08	10.03	8.43	16.43	12.69	4.25	10.93
Σ	7.23	7.83	7.83	6.04	9.39	16.68	16.84	15.18	8.33	8.10	7.88	7.26	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 8:** Gasto sólido medio diario Río Itata en Cholguán periodo 1998 – 2017.

RÍO ITATA EN CHOLGUAN - E04G													
GASTO SÓLIDO (kg)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	14994.82	8461.67	37150.01	7761.58	10451.72	12916.68	40562.02	29740.68	18638.42	16735.53	11484.98	12083.35	18415.12
1999	8716	9787.33	5050.35	4752.03	58473.68	186369.05	42049.56	189595.71	243536.43	19842.68	10980.86	9280.05	65702.81
2000	23122.91	71376.54	13462.3	4021.91	10287.22	973597.8	419152.82	317671.27	176484.83	52987.4	37696.6	17444.17	176442.15
2001	26316.65	6319.64	9325.66	19477.99	23431.51		2243049.64	334143.64	27298.27	25188.3	36610.52	21929.82	252099.24
2002	31207.05	50347.87	45347.52								31379.5	9273.21	33511.03
2003	4665.9	4295.95	4156.65	7304.81	7475.1	517354.26	43413.07	11368.89	22938.43	35152.55	12110.22	7357.62	56466.12
2004	5171.3	4286.46	4460.75	90595.77	1655.03	242092.5	47211.78	21146.55	51924.29	26245.87	16307.55	12346.86	43620.39
2005	6241.23	5271.54	1521.01	3288.36	100339.28	276506.24	273097.2	146706.73	22733.3	6699.07	14882.51	6940.08	72018.88
2006	2505.32	5637.61	6658.19	32722.51	15697.15	111600.47	630278.5	61866.22	62788.11	40010.88	12495.14	21977.61	83686.48
2007	6982.46	4982.01	2994.61	4897.03	1356.48	3233.15	97317.61	11269.64	12497.39	17902.27	6970.14	4186.33	14549.09
2008	5769.6	6171.59	5460.11	5808.6	233209.01	42382.34	29938.36	262151.15	42792.47	11008.54	12842.52	5896.16	55285.87
2009	6760.89	8524.64	5250.33	5938.86	286598.34	51598.44	273554.7	101732.09	47045.95	20491.32	0	5610.21	67758.81
2010	8219.7	13181.65	8139.8	2536.02	2045.02	90619.55	68201.46	92427.85	22093.22	9167.23	26923.14	7390.18	29245.40
2011	12726.95	9466.96	8408.37	16954.32	8691.65	117771.18	36258.69	132957.33	54411.82	16486.08	22039.66	10260.61	37202.80
2012	1064.64	31251.39	15358.78	2408.11	104744.73	90165.68	20570.87	13534.78	10419.91	9069.48	10833.59	44310.78	29477.73
2013	7239.11	9892.16	6525.13	3966.81	10844.68	111098.78	119266.55	75284.2	58940.61	20031.77	8239.4	10445.78	36814.58
2014	12391.18	10456.36	11749	6455.22	20412.75	134890.89	486943.93	876987.9	60992.18	29676.83	14706.89	9119.85	139565.25
2015	8963.55	5553.67	6869.86	4914.98	1990.33	223672.82	164366.91	572849.2	81194.95	106398.92	38104.59	39554.61	104536.20
2016	9622.7	10459.73	14965.86	7715.83	2804.41		22575.74	101064.02	6213.31	36078.11		6948.17	21844.79
2017	9420.56	17552.18	14465.28	5691.32	18121.37	190972.51	59703.99	65840.25	41322.2	150479.45	70259.92	11195.78	54585.40
̄	10605.13	14663.85	11365.98	12484.85	48348.92	198637.78	269342.81	179912.53	56014.00	34192.23	20782.51	13677.56	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 9:** Concentración de sedimentos media diarias Río Itata en Coelemu periodo 1998 – 2017

RÍO ITATA EN COELEMU - E05C													
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS (mg/l)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	15.6	19.38	26.18	69.07	36.31	23.47	23.41	14.88	20.1	10.6	17.04	24.34	25.03
1999	12.49	22.25	18.64	15.72	25.21	35.85	30.58	21	119.67	20.94	8.36	5.33	28.00
2000	12.3	69.91	5.99	9.44	14.22	90.32	36.46	40.91	77.47	13.12	16.73	7.94	32.90
2001	8.9	20.04	3.25	5.56	47.55	55.2		48.81	20.93	8.97	12.75	7.18	21.74
2002	7.85	6.72	22.5								16.66		13.43
2003	6.12	17.29	3.87	4.81	77.26	53.68	83.64	13.62	18.34	20.43	51.62	8.24	29.91
2004	8.24	20.61	5.95	21.39	10.68	101.8	47.97	26.11	31.95	16.08	13.99	6.23	25.92
2005	5.75	8.11	12.57	6.37	83.23	102.98	73.15	56.25	24.95	17.35	14.76	13.23	34.89
2006	10.14	10.93	11	59.67	28.08	103.92	65.52	44.49	50.43	26.02	15.23	13.09	36.54
2007	6.31	12.53	10.07	11.16	12.58	11.65	31.9	23.87	9.62	17.05	9.74	14.55	14.25
2008	59.52	11.72	24.66	17.53	163.36	39.06	31.23	92.49	33.86	7.65	17.46	8.69	42.27
2009	7.95	6.16	5.75	4.24	45.81	64.04	18.52	82.25	10.36	25.68	18.95	14.99	25.39
2010	5.34	7.13	10.45	9.35	14.63	30.95	16.43	10.92	19.58	12.65	10.17	5.15	12.73
2011	16.03	11.58	9.02	9.14	13.15	4.87	11.99	15.44	16.01	7.69	7	6.57	10.71
2012	6.23	10.72	5.85	4.8	26.46	21.13	18.24	10.8	6.03	10.86	11.73	12.77	12.14
2013	5.67	8.75	5.54	7.16	7.16	16.85	12.36	8.26	6.2	12.62	7.24	6.62	8.70
2014	7.98	11.44	4.93	9.96	10.82	22.97	43.03	35.65	18.16	14.54	9.87	8.45	16.48
2015	12.52	9.75	8.65	11.7	9.01	16.5	34.74	125.39	32.19	33.54	12.5	29.08	27.96
2016	9.33	8.25	10	6.83	6.82		26.94	8.82	9.94	26.56	6.34	9.87	11.79
2017	10.13	9.33	7.89	11.35	13.86	13.97	49.79	21.01	11.42	24.47	16.55	6.32	16.34
̄	11.72	15.13	10.64	15.54	34.01	44.96	36.44	36.89	28.27	17.20	14.73	10.98	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 10:** Gasto sólido medio diario Río Itata en Coelemu periodo 1998 – 2017.

RÍO ITATA EN COELEMU - E05G													
GASTO SÓLIDO (kg)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmm
1998	68385.49	44365.95	0	727359.25	259919.85	303657.29	794891.04	239098.34	315405.1	68742.93	33046.63	0	237905.99
1999	0	0	0	0	341065.47	1529696.48	1381011.89	1559454.31	17370177.52	718968	204201.82	65979.42	1930879.58
2000	20869.92	759035.87	141712.3	21572.95	151052.1	13875180.36	5234450.66	3157442.04	8107549.83	686167.14	394836.08	120937.45	2722567.23
2001	72851.79	71346.8	0	0	5040760.98	5879755.01		5832243.31	993278.68	260163	214231.88	59672.96	1674936.76
2002	18132.08	9199.82	655482.12								778834.86		365412.22
2003	50257.1	33018.86	14239.79	30362.73	1840888.1	5625198.72	4437247.1	464786.49	628798.09	751530.95	1375081.23	54451.59	1275488.40
2004	11418.13	26182.48	11098.51	611289.73	129610.59	6570202.22	2828794.25	1489761.62	1461031.23	492352.91	404755.9	71778.66	1175689.69
2005	26219.82	29511.05	50985.59	32798.68	5892134.7	14436800.88	12485857.45	6880322.96	1402750.89	481408.09	416670.6	223959.42	3529951.68
2006	71966.42	34628.27	45198.46	1922883.03	1709635.29	13121707.25	1117479.82	2491858.97	3023631.79	1285330.16	438217.95	198442.99	2121748.37
2007	48078.06	82034.37	48838.81	100672.35	131846.82	160327.29	2096951.75	1032239.08	294393	448488.72	142932.01	68657.75	387955.00
2008	127732.69	25303.75	54202.62	66916.72	41987693.01	3387904.91	1662520.34	9150742.17	2668587	164821.24	261580.16	37118.21	4966260.24
2009	13566.49	8001.88	6885.31	6916.75	1598963.47	5648779.08	2138307.27	8797765.54	493225.23	812609.56	572728.29	239559.46	1694775.69
2010	20088.04	19829.57	48870.33	25182.35	64223.17	760162.49	518296.29	379750.83	577281	270483.64	185254.19	35438.89	242071.73
2011	56016.27	23954.75	21834.25	71810.46	131956.54	122752.57	555849.58	958653.57	836878.55	300138.94	167632.3	79032.25	277209.17
2012	30578.19	69393.8	40836.25	18769.4	1647153.43	1009292.53	649151.24	310498.13	141221.69	188081.18	140062.19	171740.96	29477.73
2013	46918.63	16222.29	8080.93	16795.07	83987.44	590205.28	700143.01	389673.73	239112.92	224494.21	115254.06	44414.73	36814.58
2014	8094.54	0	5019.53	13178.2	184456.28	1762603.63	3230095.08	6032628.3	1289503.07	608640.36	199246.29	61428.98	139565.25
2015	26456.81	13547.46	23035.17	24255.34	34317.02	520749.35	2134588.59	13315571.26	2084823.04	1699742.82	327455.94	271509.94	1706337.73
2016	39905.82	17886.64	23524.53	45116.11	68682.07		742040.31	273708.57	185757.44	436955.98	37959.02	16718.78	171659.57
2017	4058.41	3588.78	5058.27	28186.7	191567.22	662197.74	1900834.89	1408024.07	481780.71	1472743.94	696996.84	82446.65	578123.69
̄	38079.74	64352.62	60245.14	198108.73	3236311.24	4220398.50	2478250.59	3377064.38	2241851.94	598519.15	355348.91	100173.11	

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 11:** Concentración de sedimentos escala anual por estación sedimentológica periodo 1998 – 2017.

PROMEDIOS ANUALES					
CONCENTRACIONES (mg/lit)					
AÑO	E01C	E02C	E03C	E04C	E05C
1998	14.48	33.89	18.70	11.78	25.03
1999	20.71	12.77	16.12	10.76	28.00
2000	19.04	18.00	21.73	17.98	32.90
2001	25.35	9.57	26.40	20.40	21.74
2002	15.62	2.98	16.13	19.05	13.43
2003	23.40	9.35	38.09	6.47	29.91
2004	20.00	10.35	38.65	6.34	25.92
2005	18.73	14.14	25.29	6.79	34.89
2006	27.52	18.66	42.02	9.05	36.54
2007	26.44	7.82	32.41	3.92	14.25
2008	36.56	12.30	39.19	8.65	42.27
2009	33.03	14.14	22.37	7.88	25.39
2010	10.55	9.37	24.25	6.72	12.73
2011	15.76	9.61	29.62	6.71	10.71
2012	14.13	10.35	16.68	7.95	12.14
2013	13.25	7.05	17.59	7.32	8.70
2014	15.30	14.36	23.56	11.86	16.48
2015	29.19	12.22	24.12	13.95	27.96
2016	17.73	8.41	12.71	6.98	11.79
2017	34.18	9.18	16.65	10.93	16.34
$\bar{X}$	21.5	12.2	22.4	10.1	25.1

**Tabla 12:** Gasto sólido medio a escala anual por estación sedimentológica periodo 1998 – 2017.

ESTACIONES SEDIMENTOLÓGICAS					
GASTO SOLIDO (kg)					
AÑO	E01G	E02G	E03G	E04G	E05G
1998	14825.1	29908.0	88775.4	18415.1	237906.0
1999	73448.6	113670.8	262059.0	65702.8	1930879.6
2000	88882.3	67905.2	640987.1	176442.1	2722567.2
2001	258553.7	80987.9	727395.5	252099.2	1674936.8
2002	19401.3	4123.2	122856.3	33511.0	365412.2
2003	97366.9	96278.7	544755.7	56466.1	1275488.4
2004	78425.3	99338.4	650097.7	43620.4	1175689.7
2005	110946.8	293167.8	590809.9	72018.9	3529951.7
2006	376682.9	526825.4	688498.5	83686.5	2121748.4
2007	57129.5	52112.5	174784.3	14549.1	387955.0
2008	256086.8	195174.3	735835.6	55285.9	4966260.2
2009	180553.1	122604.9	357940.3	67758.8	1694775.7
2010	13549.3	15422.3	195418.1	29245.4	242071.7
2011	48305.5	47326.9	350971.7	37202.8	277209.2
2012	29721.5	29811.6	117430.2	29477.7	29477.7
2013	44304.2	20820.6	198679.1	36814.6	36814.6
2014	63722.0	61824.7	372770.0	139565.2	139565.2
2015	85960.9	50255.3	402946.6	104536.2	1706337.7
2016	21349.4	12296.3	50989.4	21844.8	171659.6
2017	118913.6	17088.4	242899.7	54585.4	578123.7
$\bar{X}$	101906.4	96847.2	375845.0	69641.4	1263241.5

Se utilizará a modo de ejemplo el procedimiento realizado para el mes de enero en la estación Río Itata Chillán camino a confluencia.

4 Análisis de datos dudosos – Caso sin datos dudosos

**Tabla 13:** Planilla con concentraciones medias diarias para el mes de enero en la estación Río Chillan en camino a confluencia en el periodo 1998 – 2017 ordenadas de mayor a menor.

RÍO CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA - ENERO	
Orden	Concentración (mg/lt)
1	20.77
2	18.05
3	18.01
4	16.90
5	14.83
6	14.25
7	12.77
8	11.58
9	11.54
10	10.94
11	10.77
12	10.02
13	9.75
14	8.87
15	8.18
16	7.34
17	7.10
18	6.93
19	6.46
20	4.67

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

Se ordenada la serie de datos de mayor a menor y se procede a calcular parámetros.

**Tabla 14:** Planilla con parámetros estadísticos para verificar la existencia de datos dudosos en la serie de datos.

Kn	2.3850
Promedio	11.49
D. Est.	4.44
V.Max	20.77
V.Min	4.67
L_inf	0.9010
L_sup	22.0720

Según Ec (1) y para los siguientes casos:

Caso I: Si se cumple que:  $L_{inf} < V.Min$  → No hay datos dudosos

Caso II: Si se cumple que:  $L_{sup} > V.Max$  → No hay datos dudosos

Se concluye:

**Tabla 15:** Resultado de análisis de datos dudosos según condiciones expuestas en Caso I y Caso II.

<b>Caso I:</b>	NO HAY DATOS DUDOSOS
<b>Caso II:</b>	NO HAY DATOS DUDOSOS

5 Análisis de datos dudosos – Caso con datos dudosos

**Tabla 16:** Planilla con gastos sólidos medios diarios para el mes de marzo en la estación Río Itata Chillan en camino a confluencia en el periodo 1998 – 2017 ordenadas de mayor a menor.

RÍO CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA - MARZO	
Orden	Gasto Solido (kg)
1	38466.96
2	2366.26
3	2074.07
4	1685.46
5	1631.52
6	1513.87
7	1412.59
8	1294.90
9	1167.33
10	1083.63
11	1061.63
12	1019.25
13	984.41
14	821.00
15	685.30
16	503.53
17	471.43
18	470.11
19	320.92

Se ordenada la serie de datos de mayor a menor y se procede a calcular parámetros.

**Tabla 17:** Planilla con parámetros estadísticos para verificar la existencia de datos dudosos en la serie de datos.

Kn	2.3610
Promedio	3107.06
D. Est.	8580.56
V.Max	38466.96
V.Min	320.92
L_inf	-17151.6326
L_sup	23365.7558

Según Ec (1) y para los siguientes casos:

*Caso I:* Si se cumple que:  $L_{inf} < V.Min$  → No hay datos dudosos

*Caso II:* Si se cumple que:  $L_{sup} > V.Max$  → Si hay datos dudosos

Se concluye:

**Tabla 18:** Resultado de análisis de datos dudosos según condiciones expuestas en Caso I y Caso II.

<i>Caso I:</i>	NO HAY DATOS DUDOSOS
<i>Caso II:</i>	SI HAY DATOS DUDOSOS

Debido a que el resultado arroja la existencia de uno o más datos dudosos, es muy importante realizar una reevaluación de los datos hidrológicos y compararlos con datos de una estación cercana para verificar que los datos sean homogéneos y representativos

**Tabla 19:** Planilla con gastos sólidos diarios para el mes de marzo en la estación Río Itata Chillan en camino a confluencia en el año 2002.

<b>RÍO ITATA CHILLÁN EN CAMINO A CONFLUENCIA</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Altura Lm (mts)</b>	<b>Concentración (mg/l)</b>	<b>Caudal (m3/seg)</b>	<b>Gasto (Kg)</b>
01/03/2002	2.37	14.94	15.00	19368.35
02/03/2002	2.23	8.65	9.20	6878.77
03/03/2002	2.18	17.42	7.35	11065.09
04/03/2002	2.15	7.02	6.38	3870.64
05/03/2002	2.14	6.99	5.99	3619.13
06/03/2002	2.12	7.92	5.52	3777.65
07/03/2002	2.11	6.81	5.22	3072.56
08/03/2002	2.10	5.60	4.92	2378.84
09/03/2002	2.09	7.28	4.57	2873.31
10/03/2002	2.08	5.28	4.47	2037.34
11/03/2002	2.07	5.53	4.14	1977.65
12/03/2002	2.06	6.99	3.98	2402.96
13/03/2002	2.06	5.30	3.88	1777.13
14/03/2002	2.16	10.44	6.53	5888.41
15/03/2002	2.60	57.63	28.00	139418.25
16/03/2002	2.75	57.36	39.80	197240.84
17/03/2002	2.55	145.23	24.70	309942.37
18/03/2002	2.42	112.98	17.30	168877.46
19/03/2002	2.49	14.15	21.20	25918.59
20/03/2002	2.40	8.22	16.30	11570.70
21/03/2002	2.34	126.81	13.30	145715.92
22/03/2002	2.31	18.81	12.00	19501.71
23/03/2002	2.29	13.33	11.20	12902.40
24/03/2002	2.27	9.11	10.70	8422.17
25/03/2002	2.25	9.09	9.86	7744.58
26/03/2002	2.23	7.36	9.19	5841.04
27/03/2002	2.22	14.08	8.71	10594.07
28/03/2002	2.21	11.68	8.44	8516.39
29/03/2002	2.30	18.12	11.60	18158.23
30/03/2002	2.31	12.73	12.00	13200.00
31/03/2002	2.27	19.57	10.60	17923.36

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

**Tabla 20:** Planilla con gastos sólidos diarios para el mes de marzo en la estación Río Itata en balsa nueva aldea en el año 2002.

RÍO ITATA EN Balsa NUEVA ALDEA				
Fecha	Altura Lm (mts)	Concentración (mg/lt)	Caudal (m3/seg)	Gasto (Kg)
01/03/2002	2.74	13.21	129.00	147253.94
02/03/2002	2.60	15.84	92.50	126570.14
03/03/2002	2.49	12.84	65.40	72550.40
04/03/2002	2.45	14.15	57.80	70679.61
05/03/2002	2.44	10.65	55.80	51341.80
06/03/2002	2.42	10.49	51.40	46567.61
07/03/2002	2.41	10.41	49.00	44080.87
08/03/2002	2.38	13.43	44.70	51864.86
09/03/2002	2.36	12.04	41.00	42632.82
10/03/2002	2.35	10.27	39.20	34779.70
11/03/2002	2.34	26.91	37.50	87174.89
12/03/2002	2.32	37.69	34.00	110720.00
13/03/2002	2.33	53.07	35.40	162312.16
14/03/2002	2.46	83.54	59.80	431644.14
15/03/2002	2.86	126.41	165.00	1802112.87
16/03/2002	2.99	10.70	206.00	190401.49
17/03/2002	2.83	7.46	154.00	99304.82
18/03/2002	2.68	4.38	112.00	42363.87
19/03/2002	2.68	5.66	113.00	55263.40
20/03/2002	2.63	1.52	98.40	12937.46
21/03/2002	2.53	15.40	74.10	98612.70
22/03/2002	2.44	5.28	56.70	25842.72
23/03/2002	2.42	13.11	52.00	58903.03
24/03/2002	2.41	16.38	50.10	70909.26
25/03/2002	2.40	14.22	47.30	58118.14
26/03/2002	2.38	16.63	44.60	64066.97
27/03/2002	2.37	12.10	42.40	44322.13
28/03/2002	2.36	14.12	40.90	49907.32
29/03/2002	2.48	14.65	63.60	80508.73
30/03/2002	2.45	14.49	57.30	71732.52
31/03/2002	2.42	19.72	51.10	87057.13

Fuente: Dirección General de Aguas (2021)

Como se puede notar, durante los días 15-03-2002 y 21-03-2002 en ambas estaciones sedimentológicas vecinas hubo un notable aumento en el caudal, lo que provoco datos hidrológicos atípicos en ambas series.

Por lo tanto, existe congruencia entre los datos hidrológicos.

**Tabla 21:** Planilla con detalle de datos dudosos en estación sedimentológica Río Itata en Chillán en camino a Confluencia.

ESTACIÓN RÍO ITATA EN CHILLÁN EN CAMINO A CONFLUENCIA							
N° DATO	VARIABLE	ESCALA / MES	VALOR	LIMITE	EXTREMO	ESTADO	OBSERVACIÓN
1	CONCENTRACIÓN	ABRIL	20.1	19.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
2	CONCENTRACIÓN	MAYO	137.0	99.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
3	CONCENTRACIÓN	JUNIO	116.1	93.9	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
4	CONCENTRACIÓN	AGOSTO	147.2	109.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
5	CONCENTRACIÓN	SEPTIEMBRE	61.0	51.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
6	CONCENTRACIÓN	OCTUBRE	106.3	73.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
7	CONCENTRACIÓN	NOVIEMBRE	55.8	45.1	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
8	CONCENTRACIÓN	FEBRERO	24.3	23.1	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
9	CONCENTRACIÓN	MARZO	24.9	22.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
10	GASTO SÓLIDO	ANUAL	376682.9	331272.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
11	GASTO SÓLIDO	MAYO	1130134.5	840333.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
12	GASTO SÓLIDO	JUNIO	781429.8	719622.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
13	GASTO SÓLIDO	JULIO	3571301.9	2491802.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	NO EXISTE EVIDENCIA SUFICIENTE PARA ELIMINAR DATO
14	GASTO SÓLIDO	AGOSTO	1205027.4	926980.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
15	GASTO SÓLIDO	OCTUBRE	595750.0	376733.0	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
16	GASTO SÓLIDO	NOVIEMBRE	121858.9	102315.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
17	GASTO SÓLIDO	NOVIEMBRE	117765.6	102315.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
18	GASTO SÓLIDO	DICIEMBRE	16838.8	15547.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
19	GASTO SÓLIDO	FEBRERO	17025.3	13307.0	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
20	GASTO SÓLIDO	MARZO	38467.0	23365.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 22:** Planilla con detalle de datos dudosos en estación sedimentológica Río Diguillín en Longitudinal.

ESTACIÓN RÍO DIGUILLÍN EN LONGITUDINAL							
N° DATO	VARIABLE	ESCALA / MES	VALOR	LIMITE	EXTREMO	ESTADO	OBSERVACIÓN
1	CONCENTRACIÓN	ANUAL	33.9	27.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
2	CONCENTRACIÓN	ABRIL	21.1	19.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
3	CONCENTRACIÓN	MAYO	44.1	40.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
4	CONCENTRACIÓN	JUNIO	80.7	69.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
5	CONCENTRACIÓN	JULIO	77.4	59.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
6	CONCENTRACIÓN	AGOSTO	37.6	34.9	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
7	CONCENTRACIÓN	SEPTIEMBRE	83.5	57.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
8	CONCENTRACIÓN	OCTUBRE	169.7	107.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
9	CONCENTRACIÓN	NOVIEMBRE	14.6	15.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
10	CONCENTRACIÓN	ENERO	13.7	14.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
11	CONCENTRACIÓN	FEBRERO	54.4	38.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
12	CONCENTRACIÓN	MARZO	28.6	22.9	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
13	GASTO SÓLIDO	ANUAL	526825.4	389704.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
14	GASTO SÓLIDO	ABRIL	131603.9	82352.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
15	GASTO SÓLIDO	MAYO	1396431.3	905303.1	SUPERIOR	SE MANTIENE	NO EXISTE EVIDENCIA SUFICIENTE PARA ELIMINAR DATO
16	GASTO SÓLIDO	JUNIO	1687287.3	1363483.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
17	GASTO SÓLIDO	JULIO	4747041.7	3045931.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
18	GASTO SÓLIDO	AGOSTO	754909.5	587225.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
19	GASTO SÓLIDO	SEPTIEMBRE	813925.2	529312.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
20	GASTO SÓLIDO	NOVIEMBRE	35195.7	27988.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
21	GASTO SÓLIDO	ENERO	6642.3	5518.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
22	GASTO SÓLIDO	FEBRERO	224068.4	132213.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 23:** Planilla con detalle de datos dudosos en estación sedimentológica Río Itata en Balsa Nueva Aldea.

ESTACIÓN RÍO ITATA EN Balsa Nueva Aldea							
N° DATO	VARIABLE	ESCALA / MES	VALOR	LIMITE	EXTREMO	ESTADO	OBSERVACIÓN
1	CONCENTRACIÓN	ABRIL	57.7	54.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
2	CONCENTRACIÓN	MAYO	61.2	60.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
3	CONCENTRACIÓN	JUNIO	159.8	138.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
4	CONCENTRACIÓN	JUNIO	139.6	138.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
5	CONCENTRACIÓN	JULIO	209.8	148.0	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
6	CONCENTRACIÓN	AGOSTO	120.1	98.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
7	CONCENTRACIÓN	SEPTIEMBRE	68.8	58.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
8	CONCENTRACIÓN	OCTUBRE	56.3	50.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
9	CONCENTRACIÓN	DICIEMBRE	55.2	48.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
10	CONCENTRACIÓN	ENERO	44.3	39.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
11	CONCENTRACIÓN	FEBRERO	87.7	62.9	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
12	CONCENTRACIÓN	MARZO	35.8	31.9	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
13	GASTO SÓLIDO	ABRIL	279061.3	261272.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
14	GASTO SÓLIDO	ABRIL	264643.8	261272.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
15	GASTO SÓLIDO	MAYO	2881597.7	1897530.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
16	GASTO SÓLIDO	JULIO	5523810.4	4586872.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
17	GASTO SÓLIDO	SEPTIEMBRE	3090774.8	2253351.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
18	GASTO SÓLIDO	OCTUBRE	800186.2	755318.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
19	GASTO SÓLIDO	DICIEMBRE	257588.5	183506.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
20	GASTO SÓLIDO	FEBRERO	236445.7	188674.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
21	GASTO SÓLIDO	FEBRERO	192191.3	188674.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
22	GASTO SÓLIDO	MARZO	141694.8	97261.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 24:** Planilla con detalle de datos dudosos en estación sedimentológica Río Itata en Cholgúan.

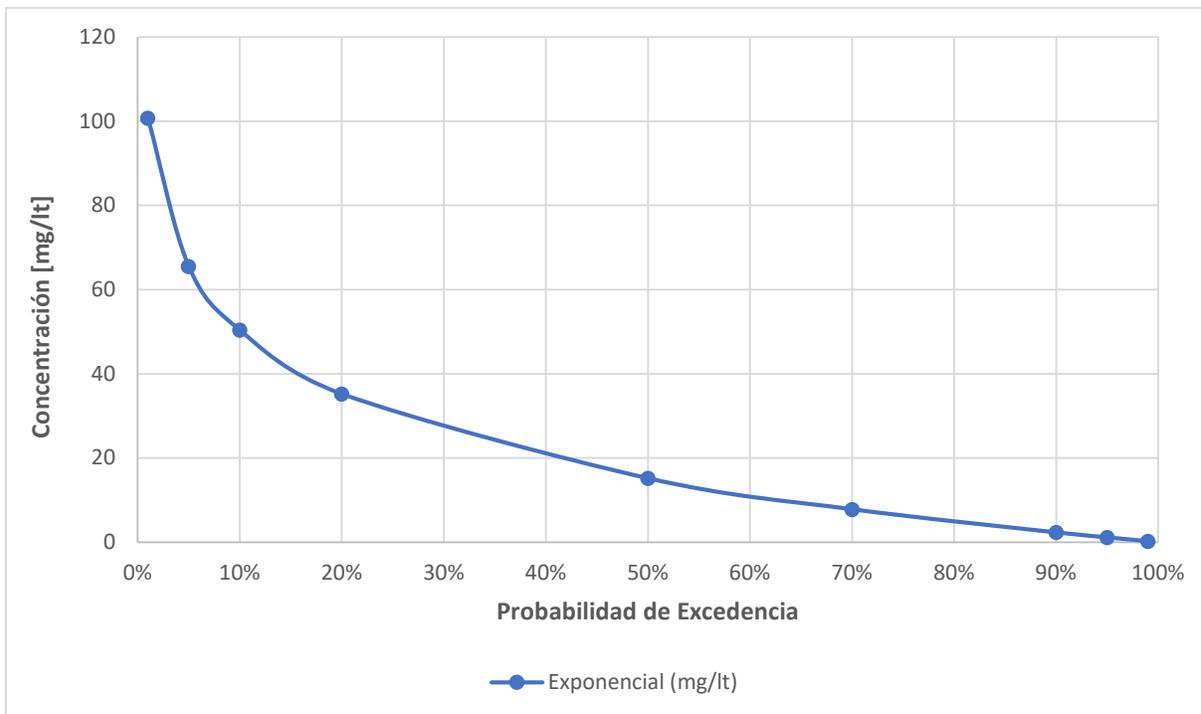
ESTACIÓN RÍO ITATA EN CHOLGUÁN							
Nº DATO	VARIABLE	ESCALA / MES	VALOR	LIMITE	EXTREMO	ESTADO	OBSERVACIÓN
1	CONCENTRACIÓN	ABRIL	19.9	16.0	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
2	CONCENTRACIÓN	MAYO	36.3	34.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
3	CONCENTRACIÓN	MAYO	36.2	34.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
4	CONCENTRACIÓN	JUNIO	51.1	42.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
5	CONCENTRACIÓN	JULIO	67.5	51.1	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
6	CONCENTRACIÓN	SEPTIEMBRE	19.9	18.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
7	CONCENTRACIÓN	OCTUBRE	23.7	20.1	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
8	CONCENTRACIÓN	NOVIEMBRE	19.5	18.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
9	CONCENTRACIÓN	DICIEMBRE	21.1	19.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
10	CONCENTRACIÓN	ENERO	25.8	21.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
11	CONCENTRACIÓN	FEBRERO	33.8	25.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
12	GASTO SÓLIDO	ANUAL	252099.2	211199.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
13	GASTO SÓLIDO	ABRIL	90595.8	60438.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
14	GASTO SÓLIDO	MAYO	286598.3	239991.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
15	GASTO SÓLIDO	JUNIO	973597.8	739813.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
16	GASTO SÓLIDO	JULIO	2243049.6	1473475.1	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
17	GASTO SÓLIDO	AGOSTO	876987.9	702958.8	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
18	GASTO SÓLIDO	SEPTIEMBRE	243536.4	195590.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
19	GASTO SÓLIDO	OCTUBRE	150479.5	119175.9	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
20	GASTO SÓLIDO	NOVIEMBRE	70259.9	59323.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
21	GASTO SÓLIDO	DICIEMBRE	44310.8	39557.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
22	GASTO SÓLIDO	ENERO	31207.1	29339.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
23	GASTO SÓLIDO	FEBRERO	71376.5	55841.9	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
24	GASTO SÓLIDO	MARZO	45347.5	37780.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA

(Fuente: Elaboración propia)

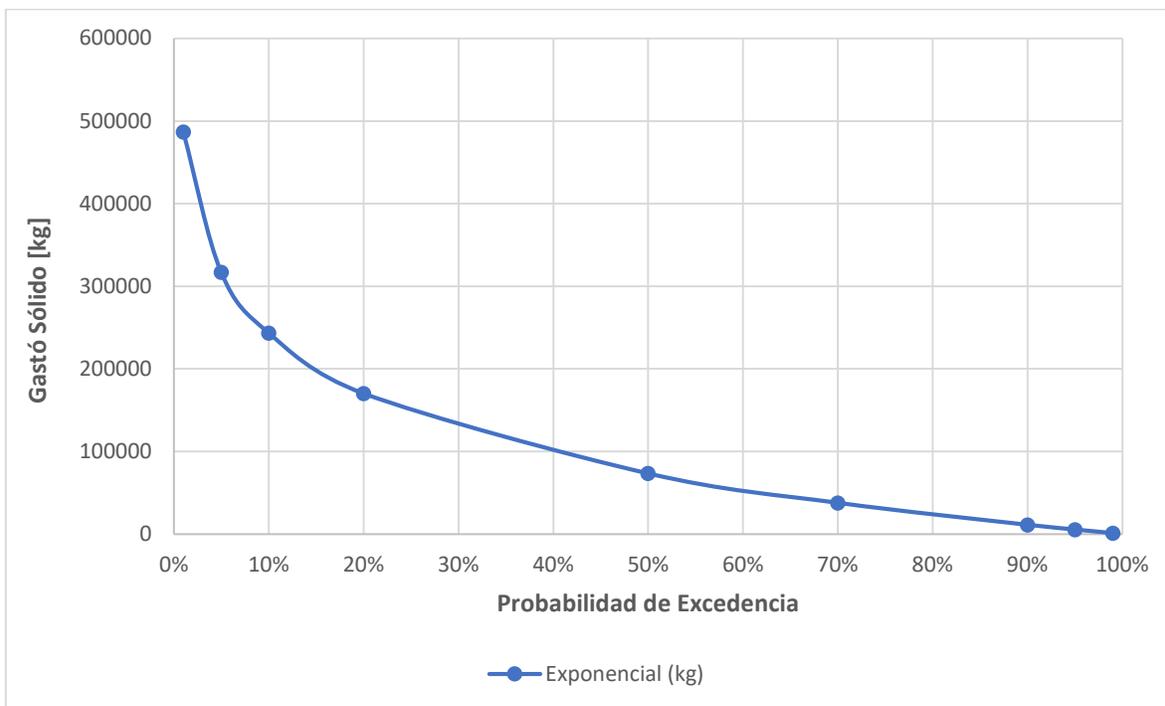
**Tabla 25:** Planilla con detalle de datos dudosos en estación sedimentológica Río Itata en Coelemu.

ESTACIÓN RÍO ITATA EN COELEMU							
N° DATO	VARIABLE	ESCALA / MES	VALOR	LIMITE	EXTREMO	ESTADO	OBSERVACIÓN
1	CONCENTRACIÓN	ABRIL	69.1	57.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
2	CONCENTRACIÓN	ABRIL	59.7	57.7	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
3	CONCENTRACIÓN	MAYO	163.4	125.0	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
4	CONCENTRACIÓN	AGOSTO	125.4	113.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
5	CONCENTRACIÓN	SEPTIEMBRE	119.7	94.5	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
6	CONCENTRACIÓN	NOVIEMBRE	51.6	37.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
7	CONCENTRACIÓN	DICIEMBRE	29.1	26.1	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
8	CONCENTRACIÓN	ENERO	59.5	39.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
9	CONCENTRACIÓN	FEBRERO	22.3	22.1	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
10	GASTO SÓLIDO	ANUAL	4966260.2	4421195.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
11	GASTO SÓLIDO	ABRIL	1922883.0	1294506.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
12	GASTO SÓLIDO	MAYO	41987693.0	25745199.2	SUPERIOR	SE MANTIENE	NO EXISTE EVIDENCIA SUFICIENTE PARA ELIMINAR DATO
13	GASTO SÓLIDO	JULIO	12485857.5	9097195.0	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
14	GASTO SÓLIDO	AGOSTO	13315571.3	12528870.3	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
15	GASTO SÓLIDO	SEPTIEMBRE	17370177.5	11905100.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
16	GASTO SÓLIDO	OCTUBRE	1699742.8	1669250.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
17	GASTO SÓLIDO	NOVIEMBRE	1375081.2	1108041.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
18	GASTO SÓLIDO	ENERO	127732.7	111759.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	CONGRUENCIA CON ESTACIÓN VECINA
19	GASTO SÓLIDO	FEBRERO	82034.4	81780.4	SUPERIOR	SE MANTIENE	DATO MUY CERCANO AL LIMITE
20	GASTO SÓLIDO	MARZO	655482.1	403352.6	SUPERIOR	SE MANTIENE	NO EXISTE EVIDENCIA SUFICIENTE PARA ELIMINAR DATO

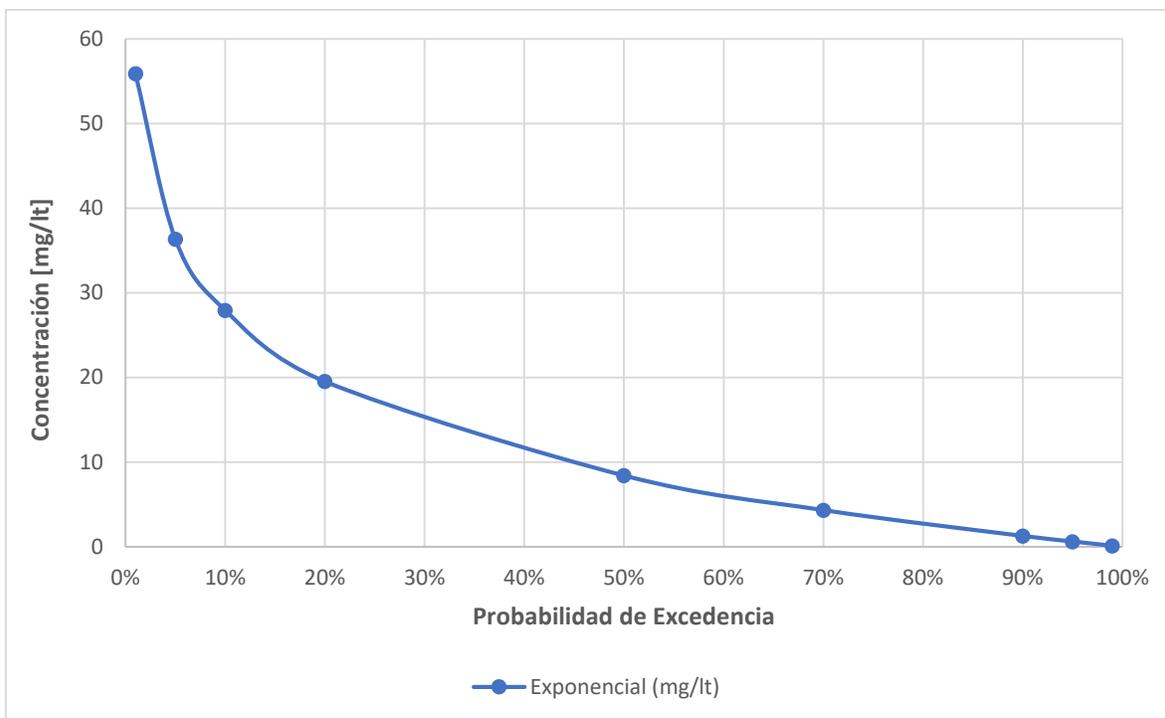
(Fuente: Elaboración propia)



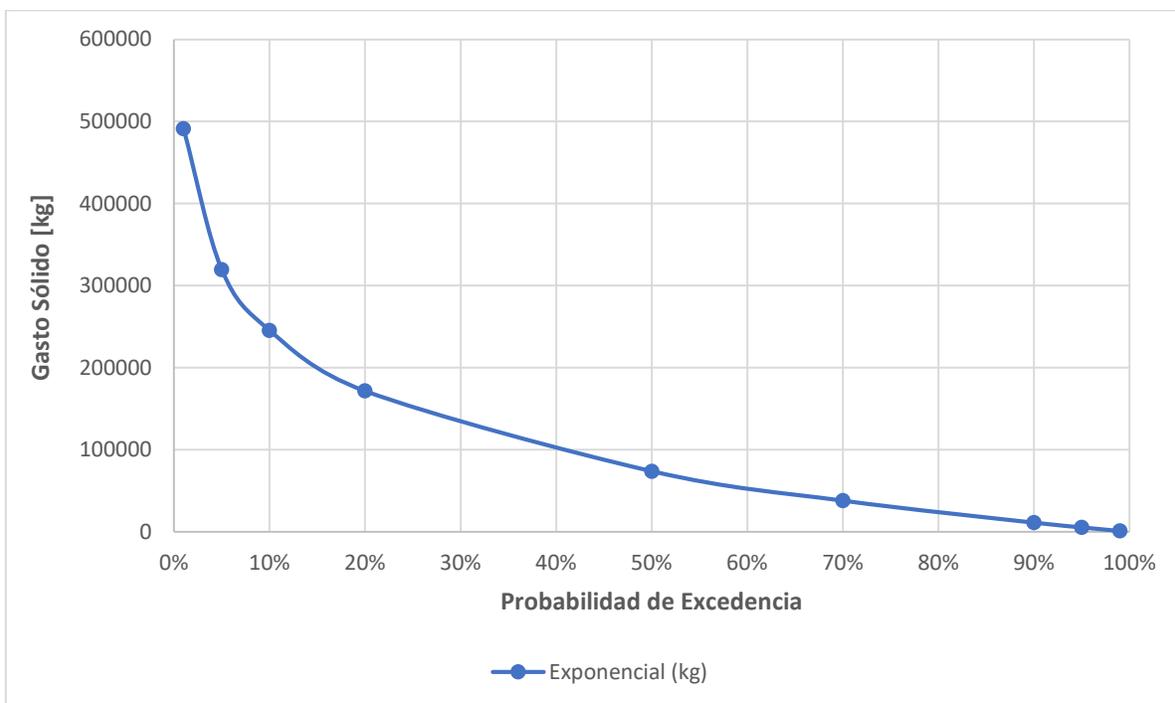
**Figura 1:** Curva de duración a escala diaria para concentración de sedimentos en Estación Río Itata Chillán camino a confluencia.



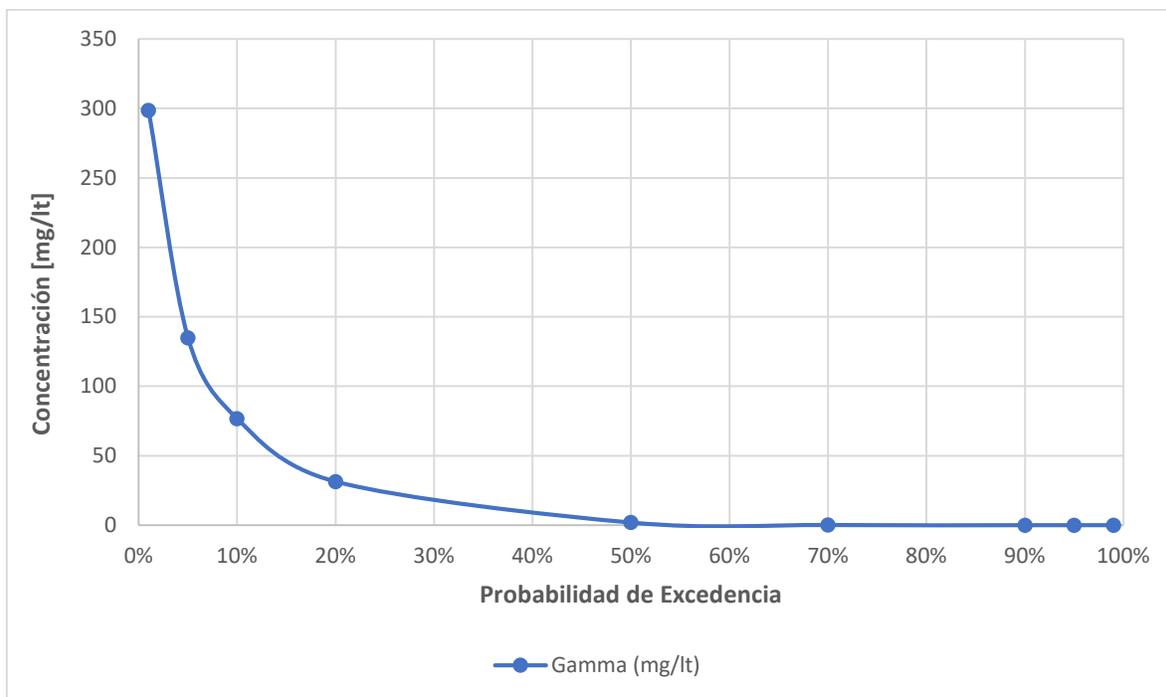
**Figura 2:** Curva de duración a escala diaria para gasto sólido en Estación Río Itata Chillán camino a confluencia.



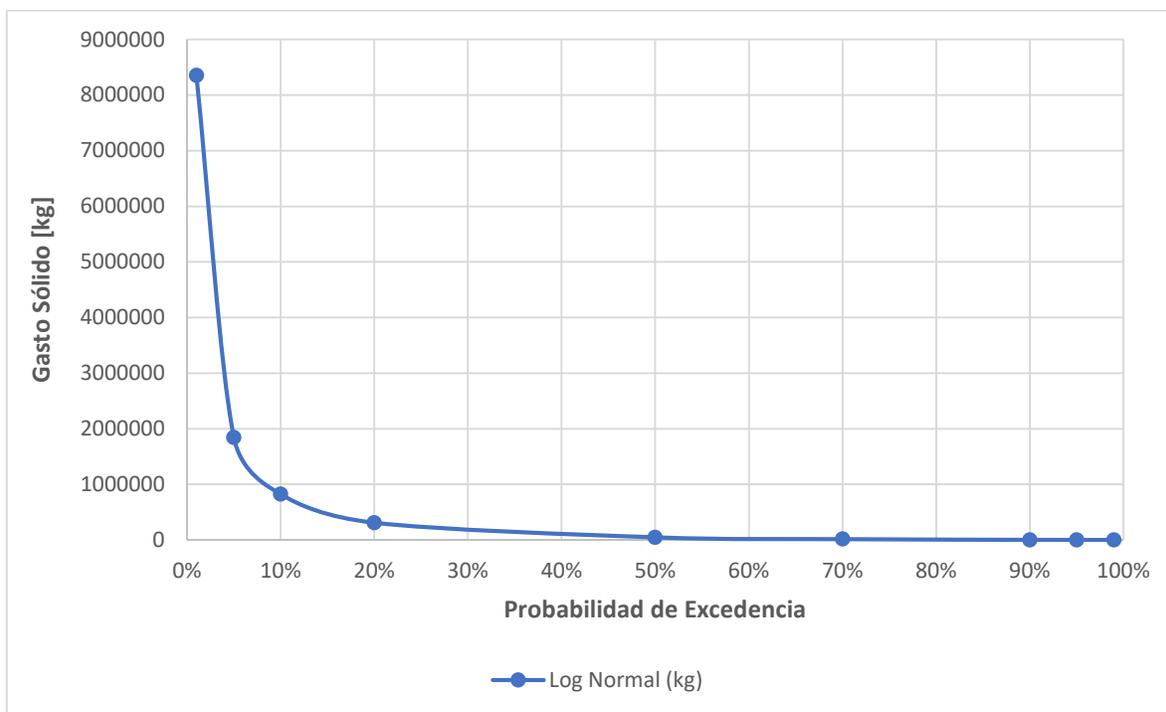
**Figura 3:** Curva de duración a escala diaria para concentración de sedimentos en Estación Río Diguillín en Longitudinal.



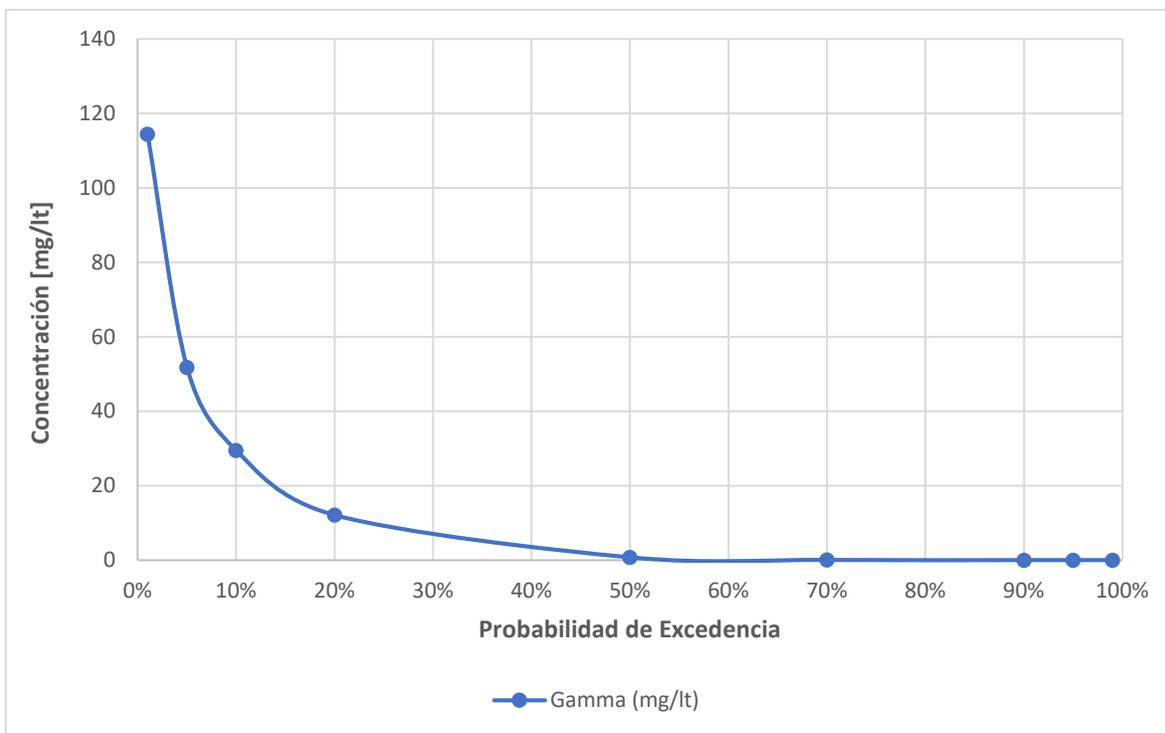
**Figura 4:** Curva de duración a escala diaria para gasto sólido en Estación Río Diguillín en Longitudinal



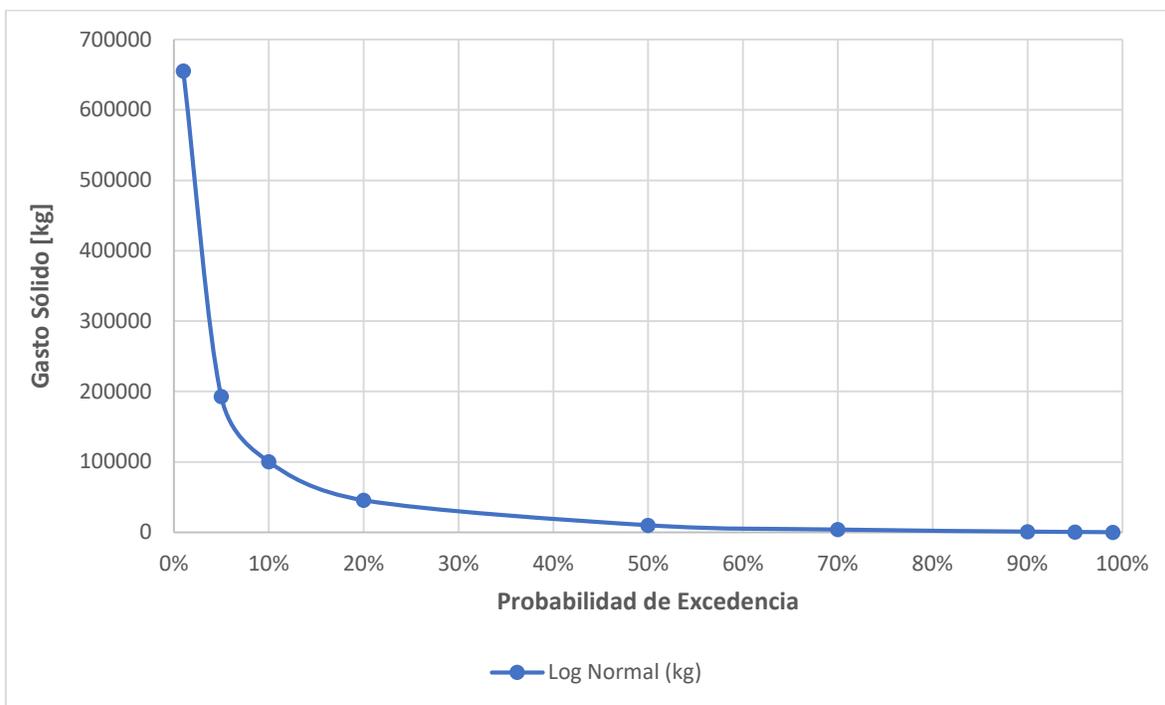
**Figura 5:** Curva de duración a escala diaria para concentración de sedimentos en Estación Río Itata en balsa Nueva Aldea.



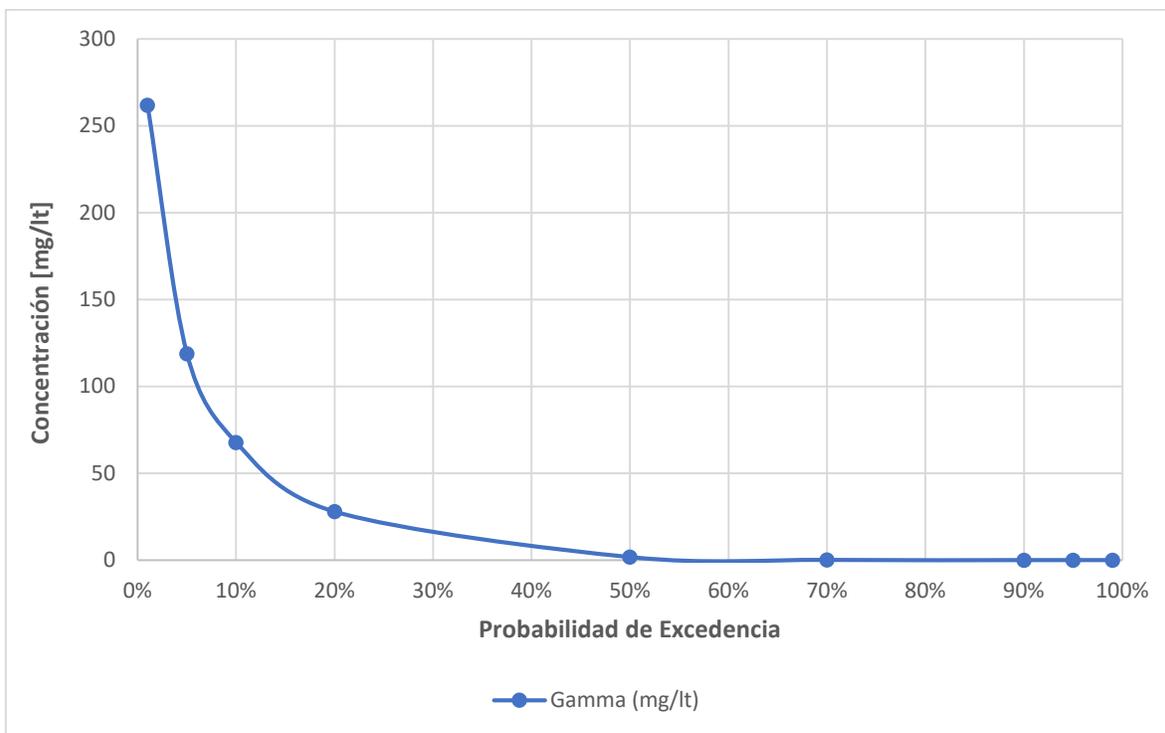
**Figura 6:** Curva de duración a escala diaria para gasto solido en Estación Río Itata en balsa Nueva Aldea.



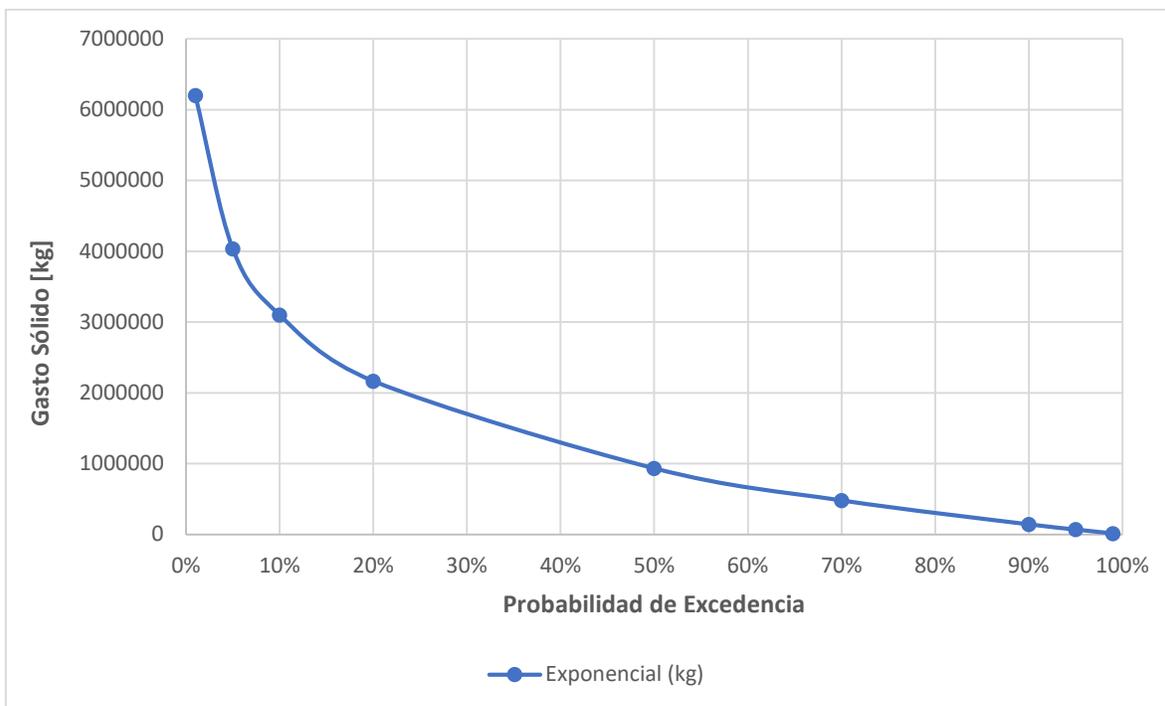
**Figura 7:** Curva de duración a escala diaria para concentración de sedimentos en Estación Río Itata en Cholguán.



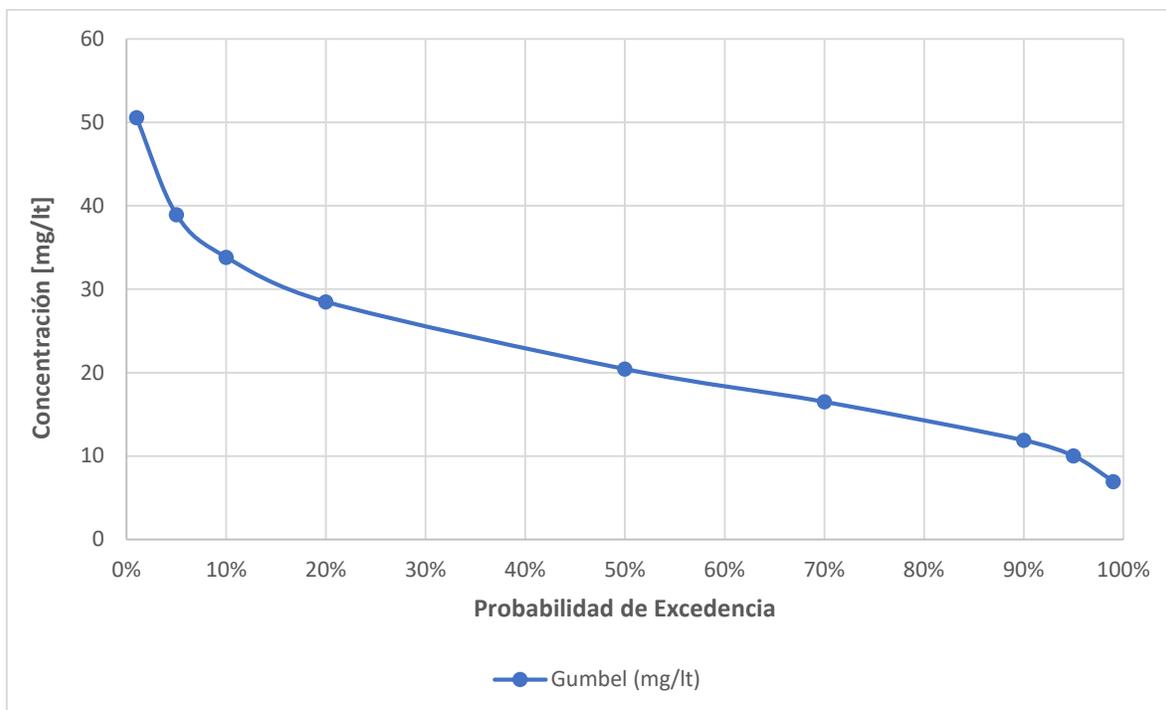
**Figura 8:** Curva de duración a escala diaria para gasto sólido en Estación Río Itata en Cholguán.



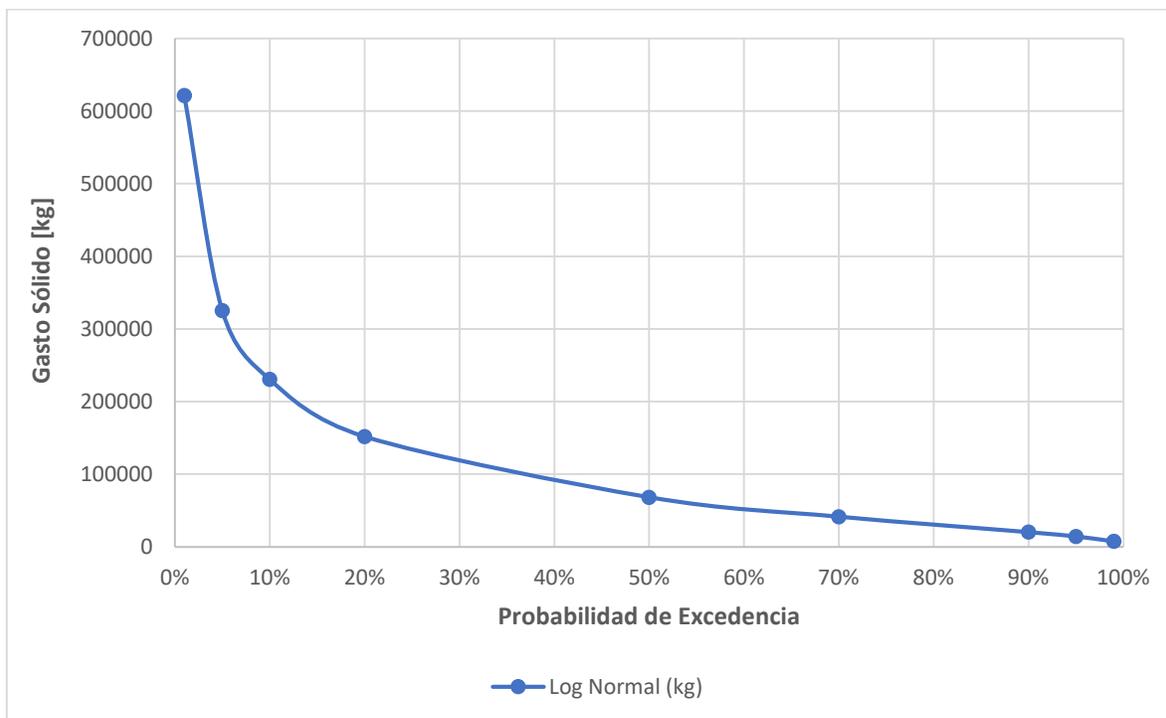
**Figura 9:** Curva de duración a escala diaria para concentración de sedimentos en Estación Río Itata en Coelemu.



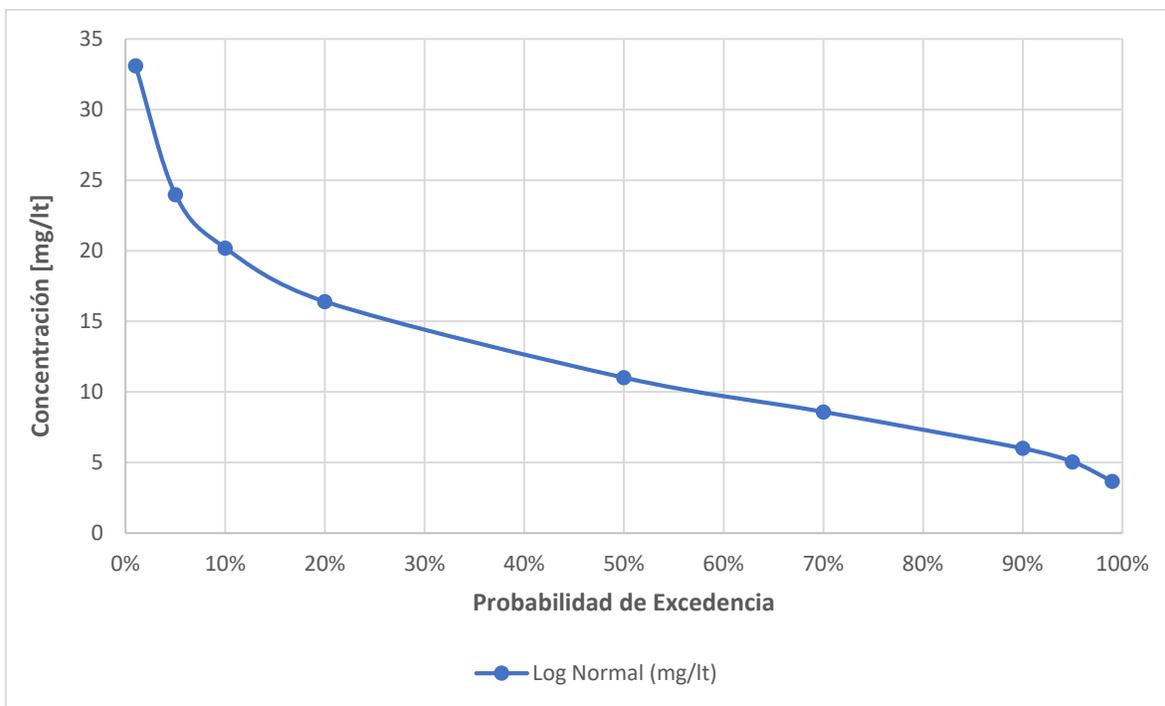
**Figura 10:** Curva de duración a escala diaria para gasto sólido en Estación Río Itata en Coelemu.



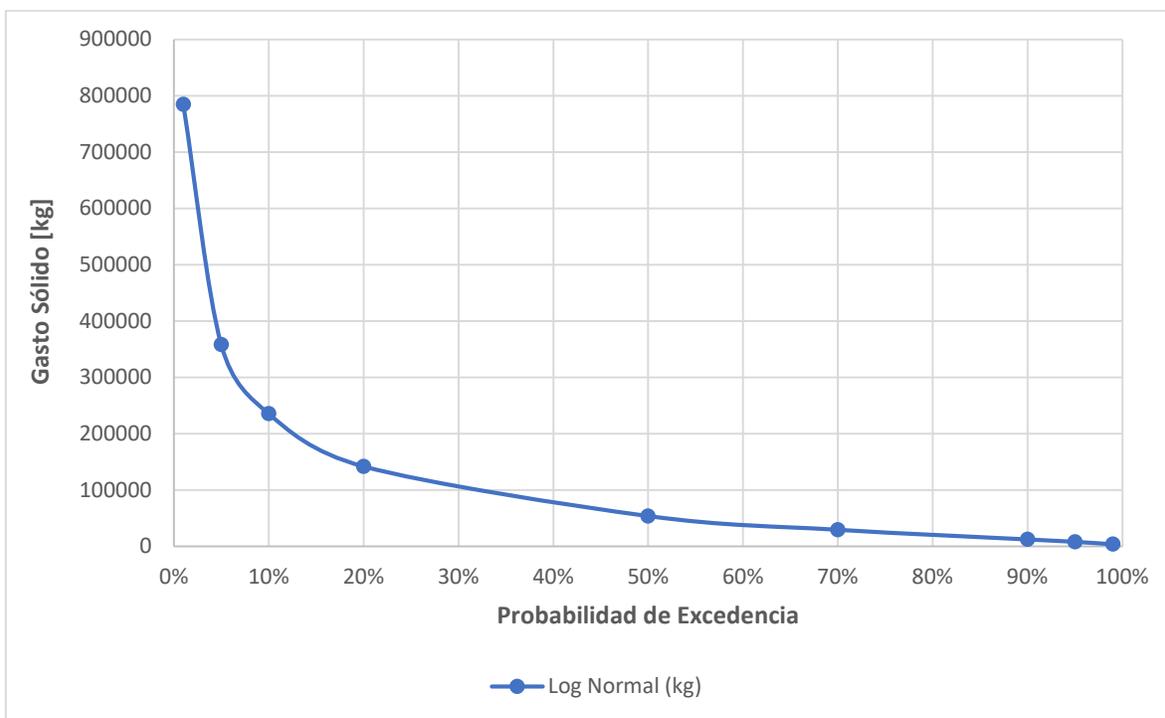
**Figura 11:** Curva de duración a escala anual para concentración de sedimentos en Estación Río Itata Chillán camino a confluencia.



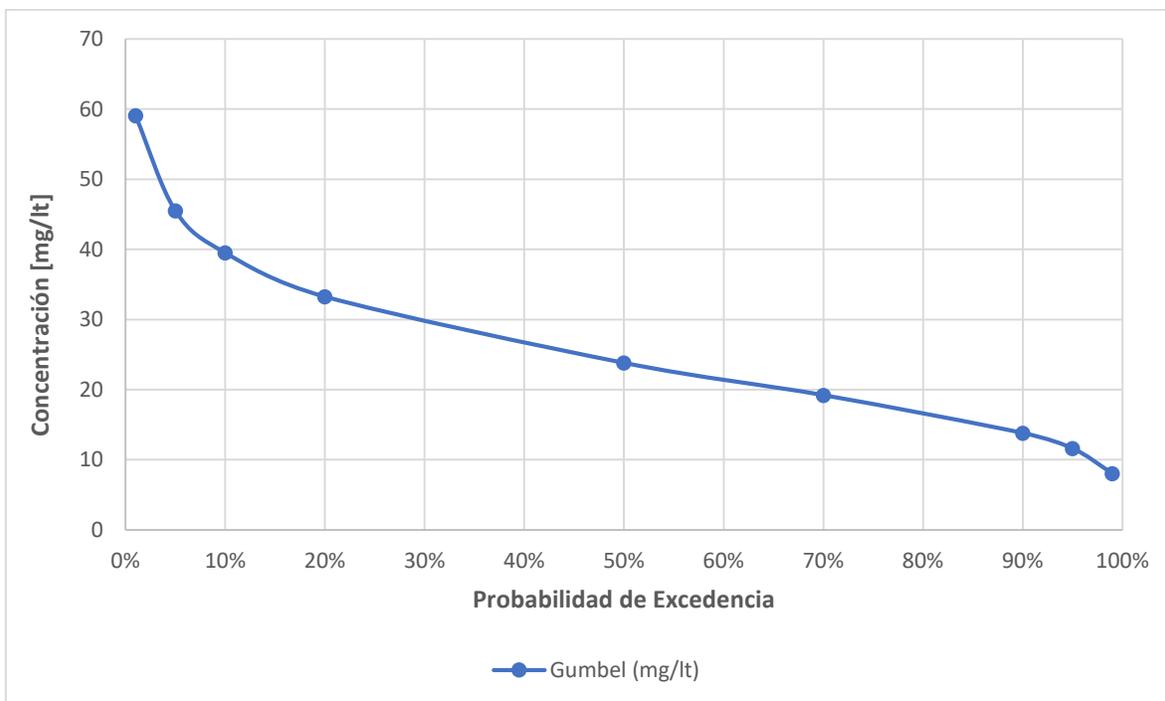
**Figura 12:** Curva de duración a escala anual para gasto sólido en Estación Río Itata Chillán camino a confluencia.



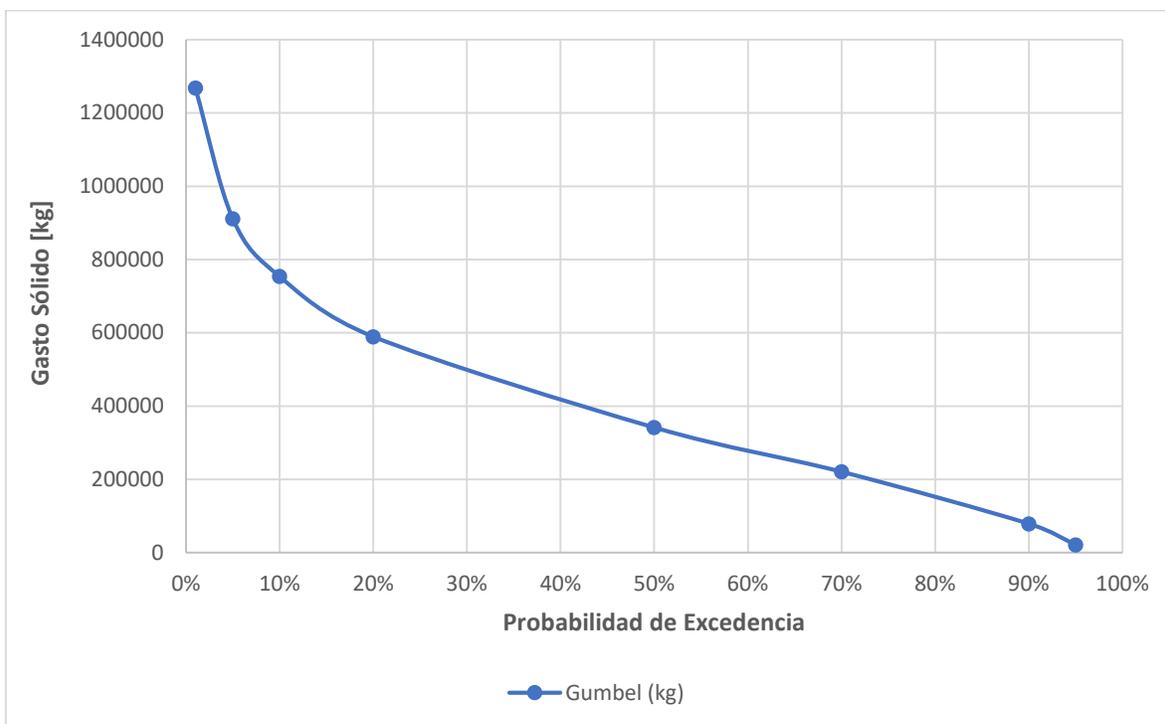
**Figura 13:** Curva de duración a escala anual para concentración de sedimentos en Estación Río Diguillín en Longitudinal.



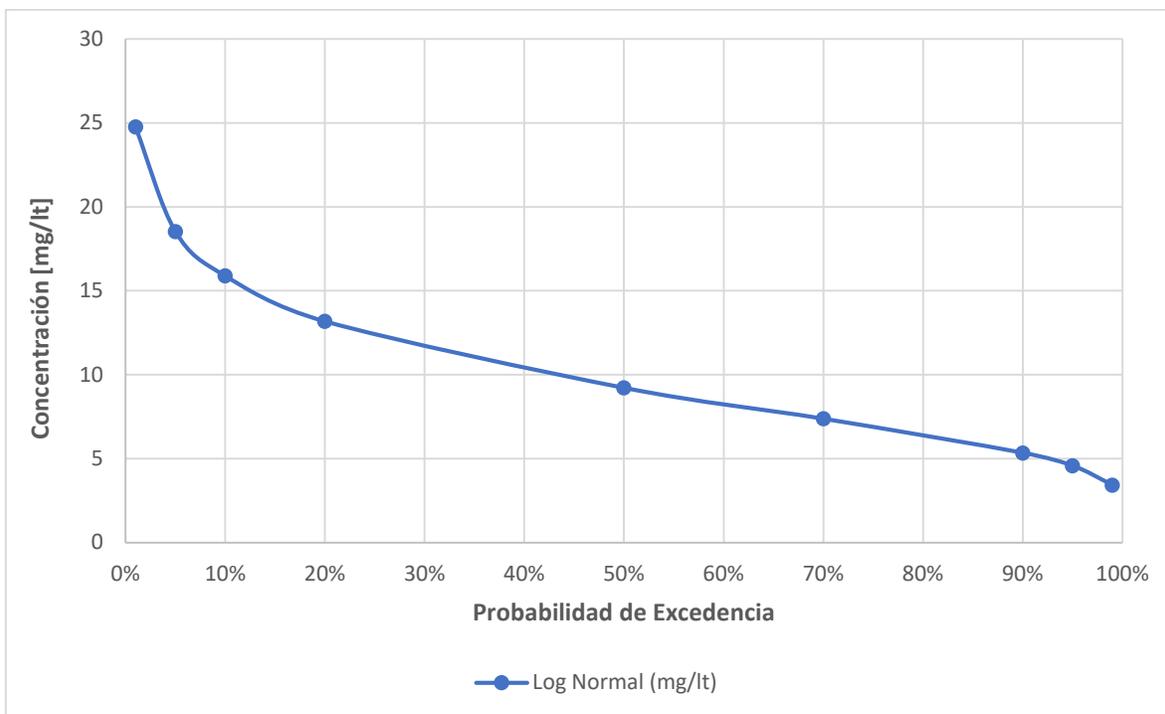
**Figura 14:** Curva de duración a escala anual para gasto sólido en Estación Río Diguillín en Longitudinal



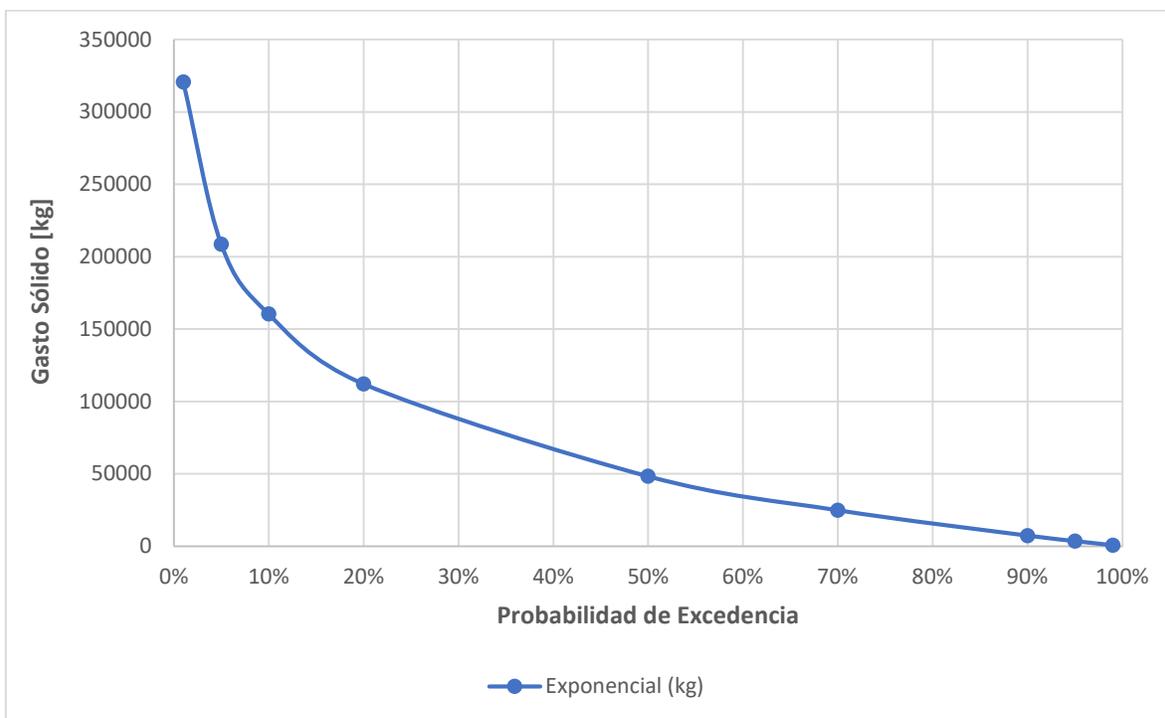
**Figura 15:** Curva de duración a escala anual para concentración de sedimentos en Estación Río Itata en balsa Nueva Aldea.



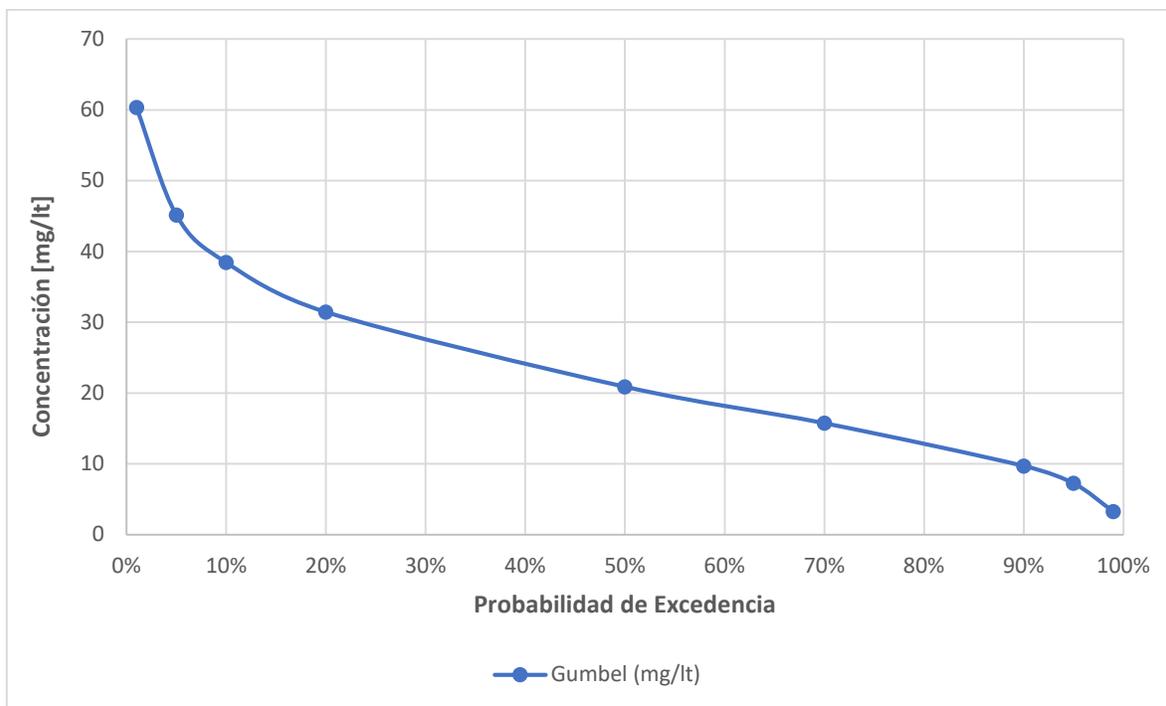
**Figura 16:** Curva de duración a escala anual para gasto sólido en Estación Río Itata en balsa Nueva Aldea.



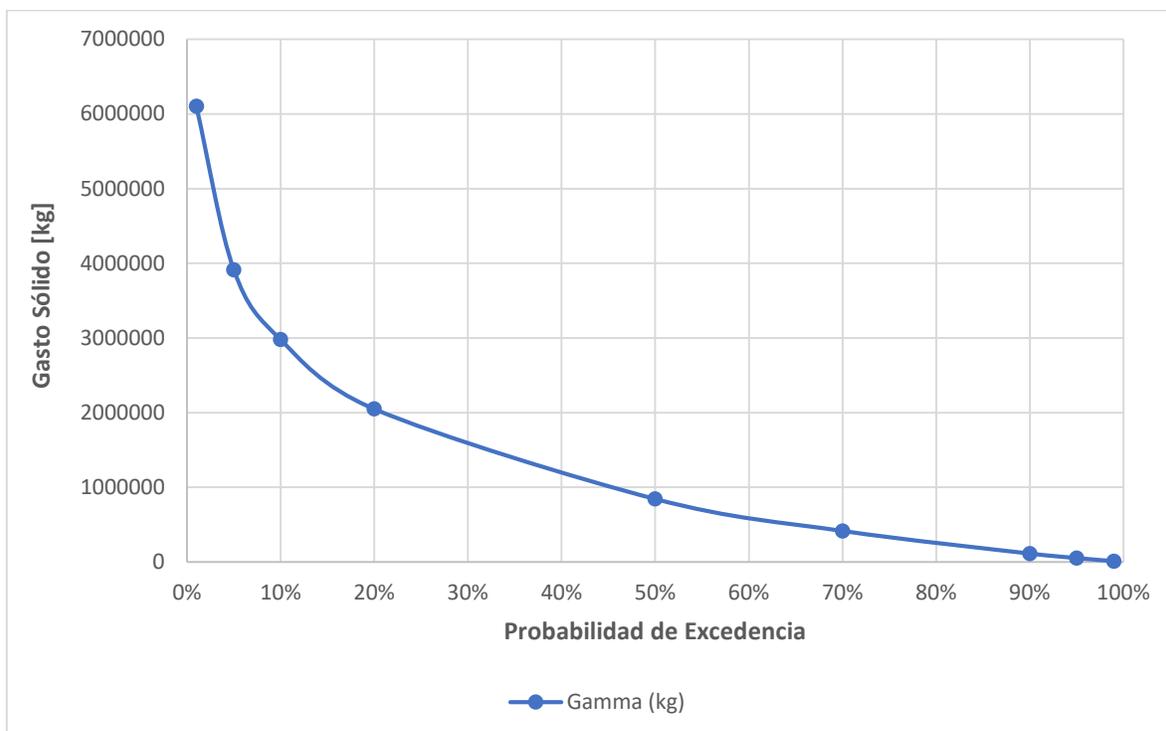
**Figura 17:** Curva de duración a escala anual para concentración de sedimentos en Estación Río Itata en Cholguán.



**Figura 18:** Curva de duración a escala anual para gasto sólido en Estación Río Itata en Cholguán.



**Figura 19:** Curva de duración a escala anual para concentración de sedimentos en Estación Río Itata en Coelemu.



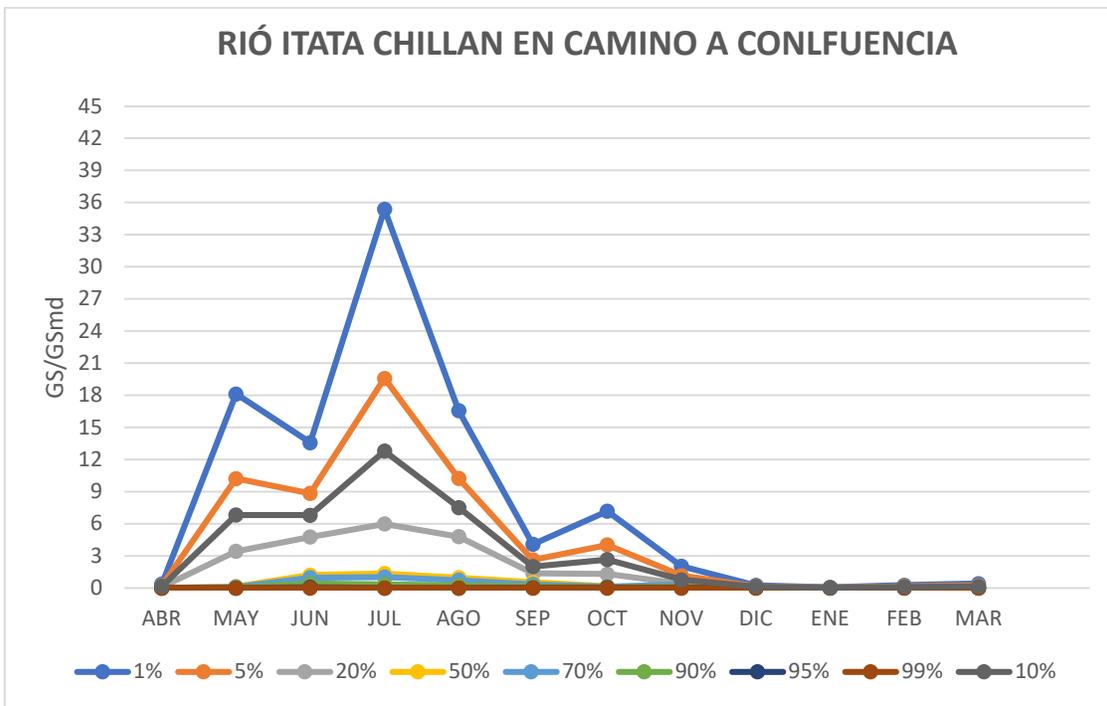
**Figura 20:** Curva de duración a escala anual para gasto sólido en Estación Río Itata en Coelemu.

**Tabla 26:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

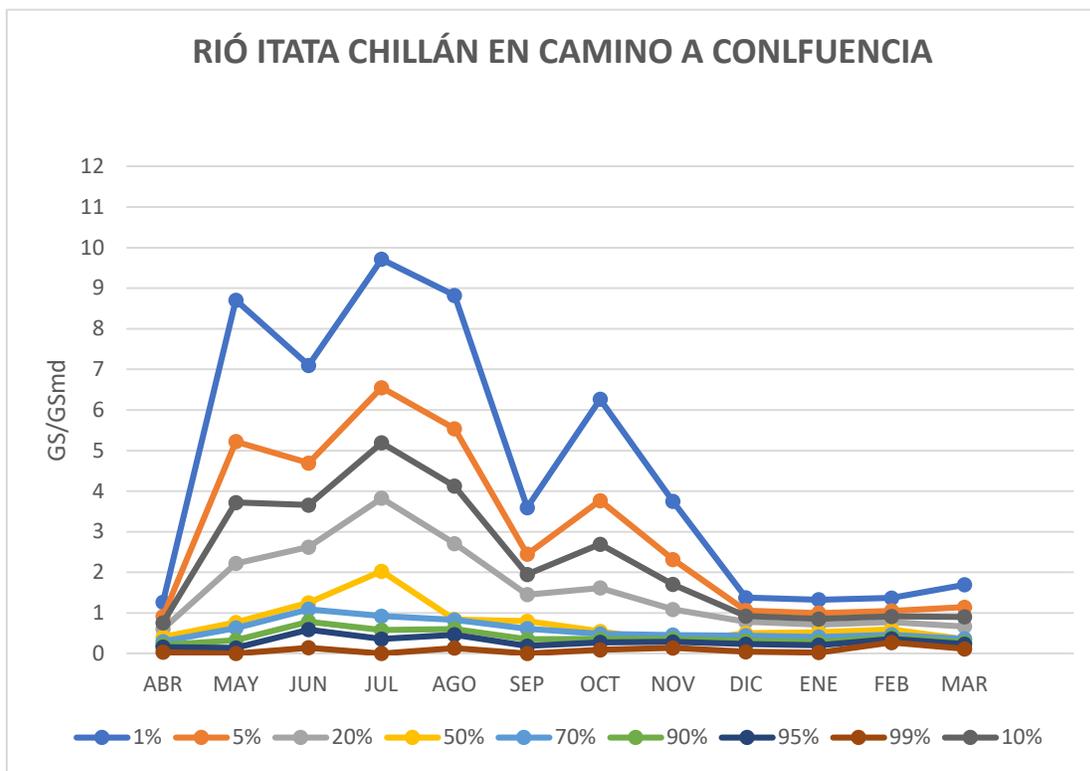
GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	2223619.1	36692	1846361	1383596	3605170	1687299	416351	731555	207459	24999	5357	26984	42364	501805
5%	1097012.6	21923	1041642	900765	1995732	1043524	267539	409667	117087	16250	3686	15481	23228	340861
10%	611809.6	15563	695069	692821	1302585	766265	203449	271038	78166	12482	2967	10527	14987	271547
20%	126606.5	9203	348495	484876	609438	489006	139359	132409	50560	8715	2247	5573	6745	202232
50%	2449.0	795	13646	124198	137385	97793	54637	15229	42466	2230	1296	1070	1016	110603
70%	2007.7	1079	10616	98214	104467	74320	33669	12730	33669	1849	843	897	834	47290
90%	1058.5	502	4101	42330	33670	23839	14750	7354	14750	1029	498	523	444	18285
95%	459.7	138	0	7072	0	0	2813	3963	2813	512	281	287	198	0
99%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEDIA ANUAL														101906.4

**Tabla 27:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	261	27	188	153	209	190	78	135	81	30	29	30	37	53
5%	138	20	112	101	141	119	53	81	50	23	21	23	25	40
10%	85	16	80	79	112	89	42	58	37	20	18	20	19	34
20%	32	13	48	56	82	58	31	35	23	17	15	17	14	28
50%	8	9	16	27	44	18	17	12	6	11	11	13	8	21
70%	7	6	14	24	20	18	13	10	10	9	9	10	8	17
90%	4	5	7	17	12	13	8	8	8	7	6	9	6	13
95%	3	3	3	13	8	10	4	6	6	5	4	8	5	11
99%	0	1	0	3	0	3	0	2	3	1	1	6	3	5
MEDIA ANUAL														21.5



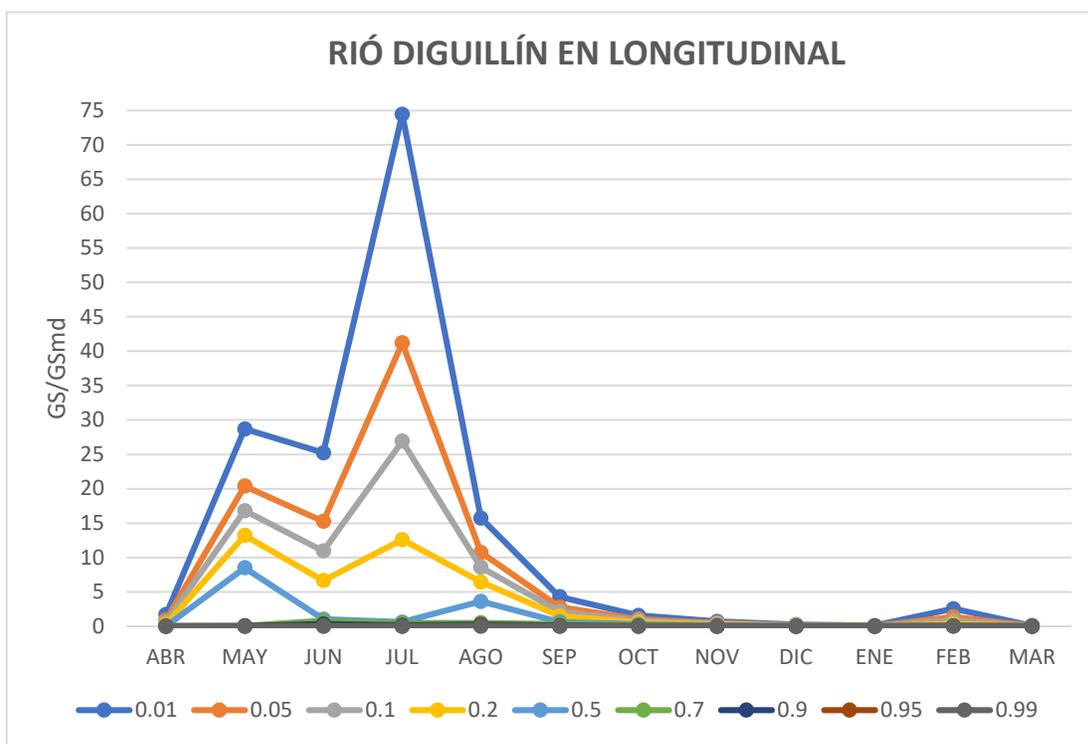
**Figura 21:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método gráfico.



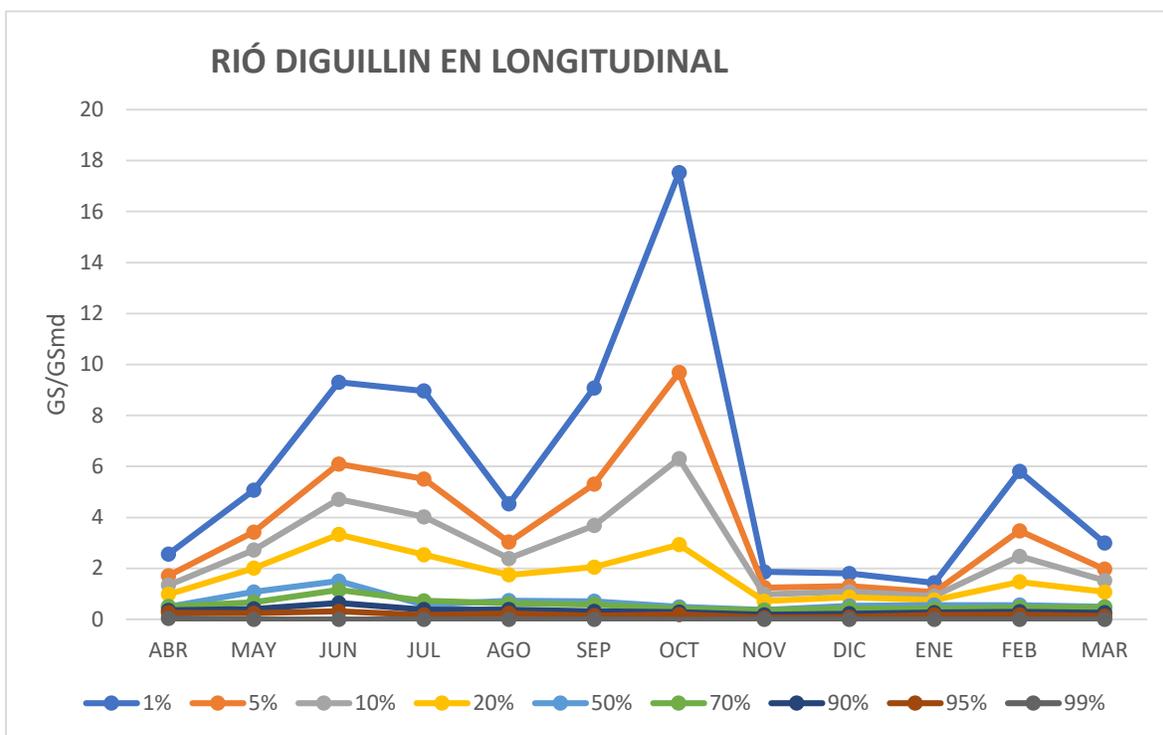
**Figura 22:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método gráfico.

**Tabla 28:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
0.01	2684136	163762	2778450	2441863	7210340	1523357	416070	152737	68165	23076	9507	248082	7431	798730
0.05	1396586	89863	1973731	1476200	3991465	1040526	270097	101547	46930	14751	6062	132086	5374	476842
0.1	842068	58036	1627158	1060312	2605170	832582	207230	79501	37785	11165	4578	82130	4488	338213
0.2	287550	26210	1280584	644424	1218876	624637	144363	57455	28639	7580	3094	32173	3603	199584
0.5	2430	2283	822439	99582	58862	349750	61257	28311	16550	1754	1709	1872	2432	45557
0.7	1982	1801	7216	78167	44837	47489	35001	13303	2448	1503	1424	1498	1508	34841
0.9	1017	765	2371	32112	14672	22513	9705	3625	1319	964	809	694	757	11794
0.95	409	110	0	3055	0	6755	0	0	606	624	421	187	283	0
0.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-990	0	0
MEDIA ANUAL														96847.2



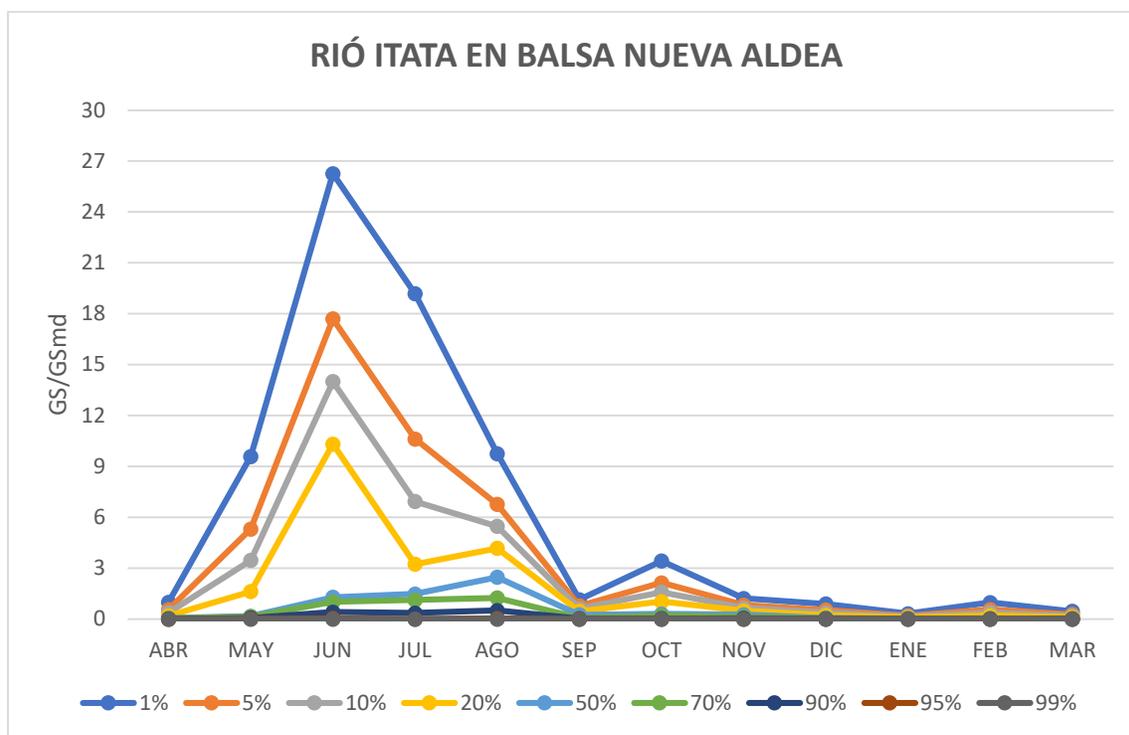
**Figura 23:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método gráfico.



**Figura 24:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método gráfico.

**Tabla 29:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

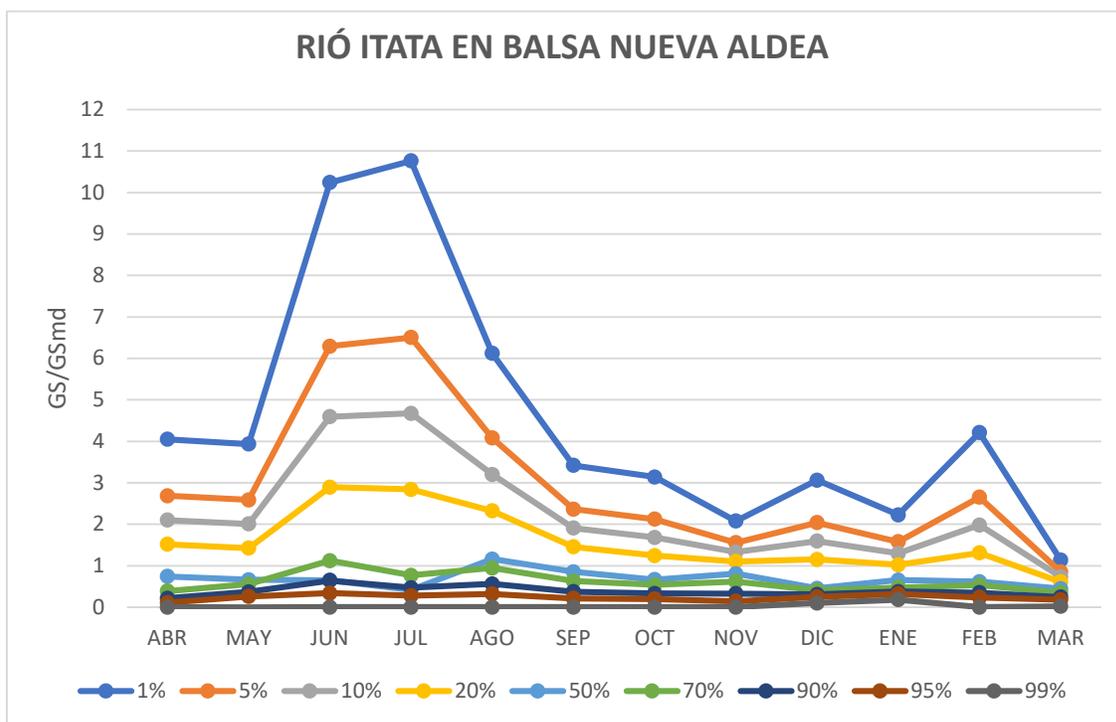
GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	7210340	375075	3605502	9870477	7210340	3668117	429933	1288621	461252	335445	120172	369198	175370	1227522
5%	3991465	214131	1996064	6651602	3991465	2541511	293063	805790	313119	201192	76055	213983	105186	905634
10%	2605170	144817	1302917	5265307	2605170	2056308	234116	597846	249322	143372	57055	147136	74959	767005
20%	1218876	75502	609770	3879013	1218876	1571105	175170	389901	185525	85553	38056	80289	44732	628376
50%	26841	21095	65987	485056	560154	929701	97247	115014	101189	25197	12939	17082	4775	445117
70%	21970	16259	53686	381331	425210	468994	25221	80574	56124	19557	12414	13226	14937	217472
90%	11493	5860	27232	158253	134989	193459	11064	12863	20760	7427	5423	4932	6273	94382
95%	4883	0	10541	17507	0	19615	2132	0	0	0	1012	0	807	16721
99%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEDIA ANUAL														375845.0



**Figura 25:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método gráfico.

**Tabla 30:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

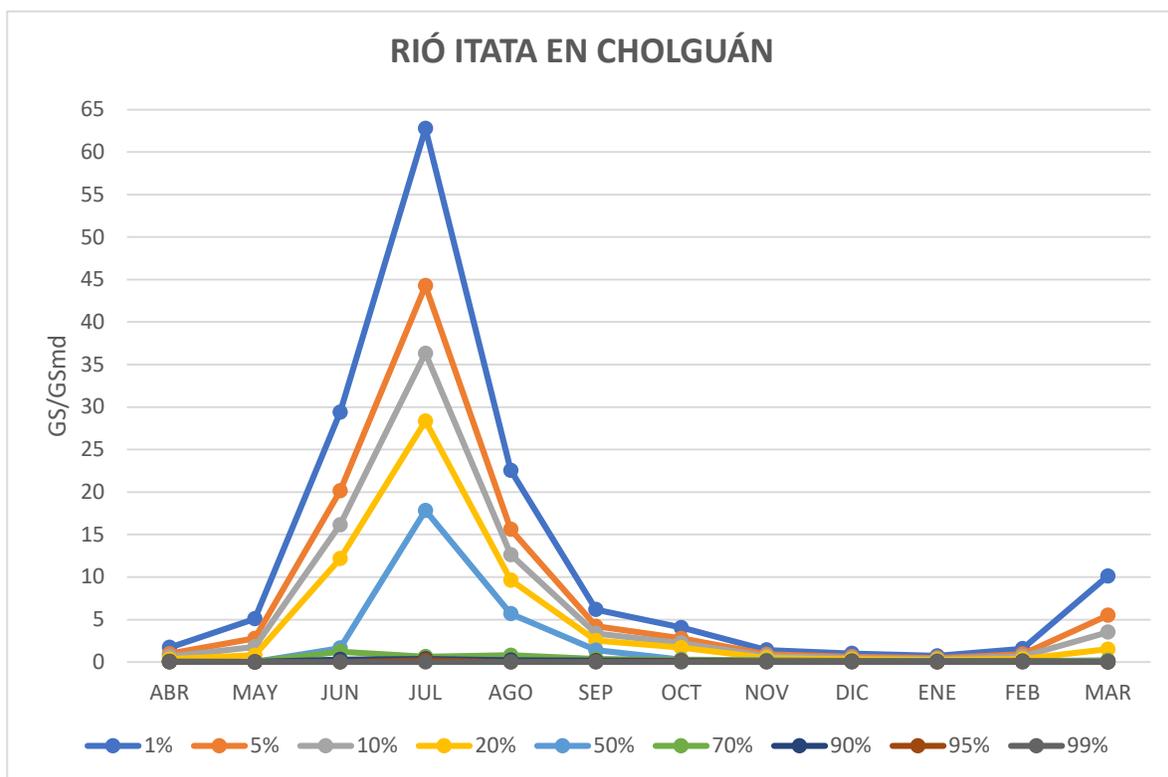
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	214	102	99	257	270	154	86	79	52	77	56	106	29	59
5%	120	67	65	158	163	102	59	53	39	51	40	67	21	45
10%	79	53	50	115	117	80	48	42	33	40	33	50	18	39
20%	39	38	36	73	71	58	37	31	28	29	26	33	15	33
50%	10	19	17	16	10	29	21	17	20	11	16	15	11	25
70%	9	10	14	28	19	24	16	14	15	10	12	13	9	20
90%	6	5	9	16	12	14	9	8	8	8	9	9	6	15
95%	4	3	6	8	7	8	5	5	4	6	8	6	4	12
99%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	1	5
MEDIA ANUAL														25.1



**Figura 26:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método gráfico.

**Tabla 31:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

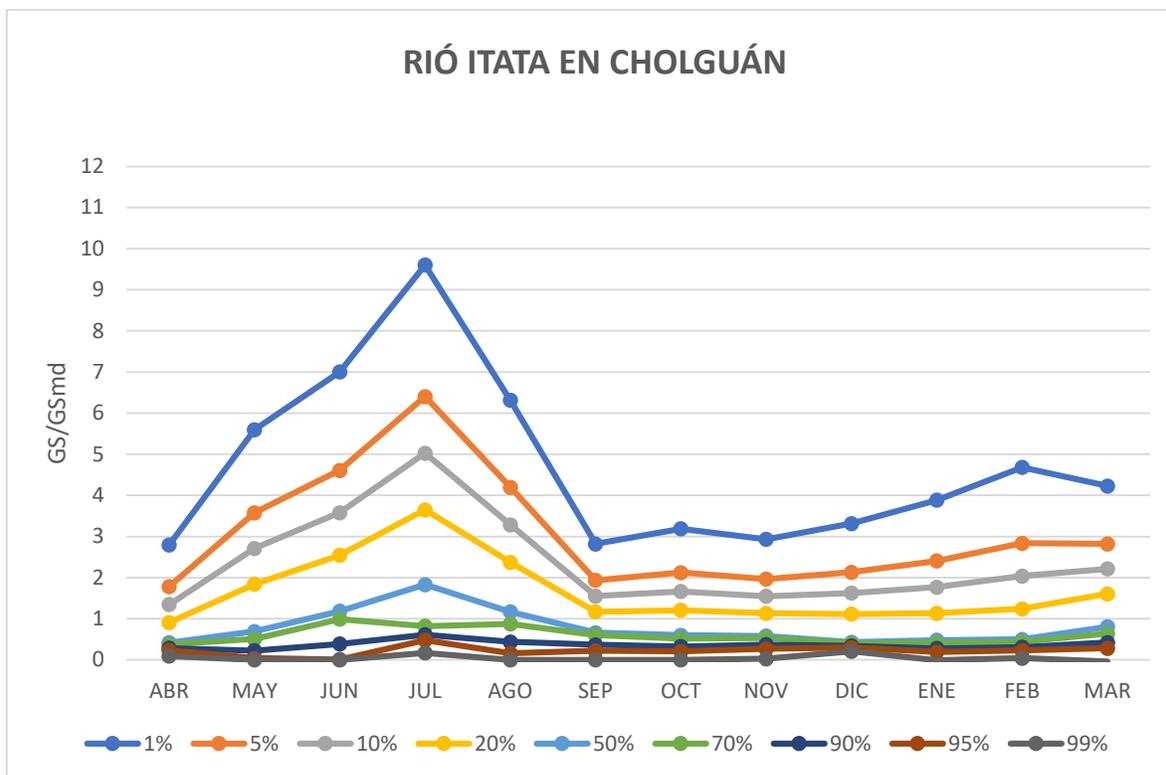
GASTO SOLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	1236387	120225	354781	2045553	4371119	1569729	429933	282973	99216	70260	51120	109337	704818	372450
5%	592612	68560	193837	1401778	3083569	1086898	293063	194383	63969	44002	33590	64289	382930	233525
10%	315353	46309	124523	1124519	2529051	878954	234116	156229	48790	32694	26041	44887	244301	173693
20%	38094	24059	55208	847260	1974533	671009	175170	118076	33610	21385	18491	25486	105672	113861
50%	6765	5377	1017	115029	1241501	396122	97247	19993	13543	9058	8511	7392	13956	44637
70%	5638	4609	835	85242	43957	56284	25221	16576	11572	7929	6452	6516	9865	36916
90%	3213	2956	445	21182	26334	15276	11064	9227	5559	5502	3156	4633	1068	20312
95%	1683	1913	199	0	15215	0	2132	4591	1766	3970	1077	3444	0	9836
99%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	413	0	685	0	0
MEDIA ANUAL														69641.4



**Figura 27:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método gráfico

**Tabla 32:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

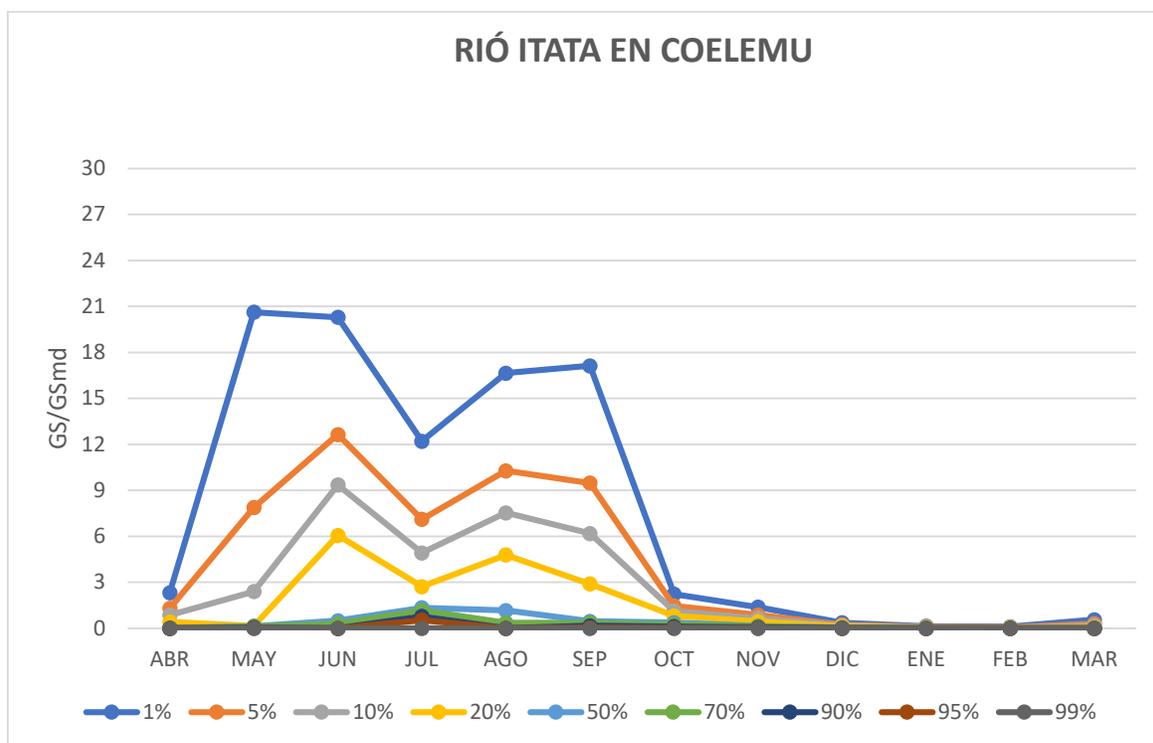
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	91	28	56	71	97	64	28	32	30	33	39	47	43	28
5%	50	18	36	46	65	42	19	21	20	21	24	29	28	20
10%	32	14	27	36	51	33	16	17	16	16	18	21	22	16
20%	15	9	19	26	37	24	12	12	11	11	11	13	16	13
50%	4	4	7	12	18	12	7	6	6	4	5	5	8	8
70%	3	4	5	10	8	9	6	5	5	4	4	4	6	7
90%	2	3	2	4	6	4	4	3	4	3	3	3	4	6
95%	2	2	0	0	5	2	2	2	3	3	2	2	3	5
99%	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2
MEDIA ANUAL														10.1



**Figura 28:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método gráfico.

**Tabla 33:** Gasto sólido para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

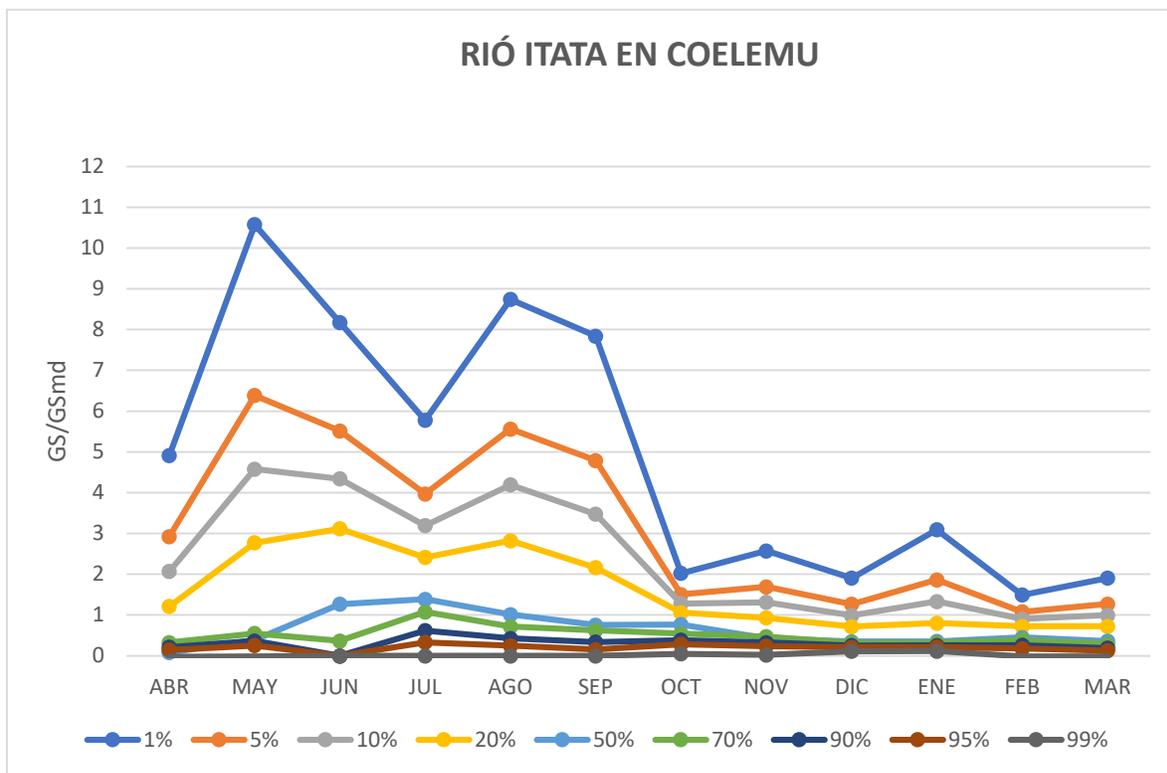
GASTO SÓLIDO [KG/DIA] UTILIZANDO EL MÉTODO GRÁFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	26841361	2925076	26051702	25631021	15420681	21025851	21631021	2816327	1749573	463692	170280	133964	704818	9341829
5%	13965858	1637526	9957323	15974394	8982929	12978661	11974394	1850664	1105798	302749	113152	87542	382930	6122954
10%	8420681	1083008	3025851	11815511	6210340	9512925	7815511	1434776	828539	233434	88548	67548	244301	4736659
20%	2875503	528490	194783	7656627	3437752	6047190	3656627	1018888	551280	164119	63944	47555	105672	3350365
50%	51735	25579	164888	632795	1692726	1465736	572304	469113	184764	68514	31419	18512	13956	1517783
70%	41245	18902	132396	362177	1466276	458467	456631	320781	172618	52947	18847	13467	9865	314286
90%	18685	4542	62518	0	979259	0	207856	147377	77315	19467	5679	2615	1068	89088
95%	4452	0	18429	0	671986	0	50897	37972	17186	0	0	0	0	0
99%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEDIA ANUAL														1263241.5



**Figura 29:** Análisis adimensional de gasto sólido utilizando el método gráfico.

**Tabla 34:** Concentración para cada probabilidad de excedencia utilizando el método gráfico a escala diaria, mensual y anual.

CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS [MG/LT] UTILIZANDO EL MÉTODO GRAFICO														
P EXC	DIARIO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1%	219	110	236	180	129	195	175	45	58	43	69	33	43	54
5%	120	65	143	124	89	124	107	34	38	28	42	24	28	42
10%	77	46	102	99	71	94	78	29	29	22	30	20	22	37
20%	34	27	62	75	54	63	48	24	21	16	18	16	16	31
50%	8	2	9	43	31	23	17	17	10	8	8	10	8	24
70%	7	7	12	21	24	16	14	12	11	7	7	9	6	15
90%	4	5	8	10	14	10	8	9	7	6	6	6	4	11
95%	3	3	6	3	7	6	4	6	5	5	5	4	3	8
99%	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	0	0	1
MEDIA ANUAL														22.4



**Figura 30:** Análisis adimensional de concentraciones utilizando método gráfico.