Estudio de Impacto Ambiental

Parque Eólico Viento Pacífico Verde

APÉNDICE 3.6.3 MEMORIA DE CÁLCULO ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Región del Maule
2026

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1
1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO 1
2 METODOLOGÍA 4
2.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 4
2.1.1 Fotointerpretación 4
2.1.2 Análisis geomorfológico 4
2.1.3 Tiempo de concentración 5
2.1.4 Método directo para caudal máximo 5
2.1.5 Métodos indirectos para caudal máximo 6
3 RESULTADOS 11
3.1 HIDROGRAFÍA REGIONAL 11
3.2 HIDROGRAFÍA LOCAL 13
3.2.1 Red hidrográfica 13
3.2.2 Características de las áreas aportantes a la zona de estudio 15
3.3 PLUVIOMETRÍA DEL SECTOR 19
3.3.1 Registros de precipitaciones 20
3.3.2 Análisis de frecuencia precipitaciones máximas 21
3.3.3 Precipitaciones máximas de diseño 22
3.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 22
3.4.1 Registros de caudales máximos instantáneos 24
3.4.2 Caudales afluentes a la zona del Proyecto 25
3.4.3 Análisis estadístico para caudales máximos instantáneos 27
3.5 RESULTADOS DE CAUDALES MÁXIMOS 42
3.5.1 Método directo para caudal máximo 42
3.5.2 Métodos indirectos para caudal máximo 42
3.5.3 Caudales máximos 43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.Coeficiente de escorrentía (C) 6
Tabla 2-2. Curva de frecuencia Regional Q(T)/Q(10) para Cuenca Río Maule 8
Tabla 2-3.Factor de conversión de Caudal medio diario máximo a Caudal instantáneo máximo 9
Tabla 2-4. Coeficiente C(T=10) – Verni y King Modificada 9
Tabla 2-5. Coeficiente de fórmulas empíricas C(T)/C(T=10) – Verni y King Modificada 9
Tabla 2-6. Coeficiente C(T=10) – Método Racional 10
Tabla 3-1. Datos de cuencas donde se ubica el Proyecto 12
Tabla 3-2. Datos morfométricos microcuencas aportantes 18
Tabla 3-3. Tiempos de concentración resultantes 18
Tabla 3-4. Datos estación meteorológica 20
Tabla 3-5. Registro de precipitaciones máximas en 24 horas, estación La Estrella – periodo 1992 - 2025 20

Tabla 3-6. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, estación La Estrella 22
Tabla 3-7. Precipitaciones máximas diarias para distintos periodos de retorno 22
Tabla 3-8. Datos estaciones fluviométricas de la DGA 23
Tabla 3-9. Registro de caudales máximos instantáneos estación Río Lonaco en Desembocadura de la DGA 24
Tabla 3-10. Caudales máximos instantáneos (1 de 2) 25
Tabla 3-11. Caudales máximos instantáneos (2 de 2) 26
Tabla 3-12. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 1 27
Tabla 3-13. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 2 29
Tabla 3-14. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 3 30
Tabla 3-15. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 4 31
Tabla 3-16. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 5 32
Tabla 3-17. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 6 33
Tabla 3-18. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 7 35
Tabla 3-19. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 8 36
Tabla 3-20. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 9 37
Tabla 3-21. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 10 38
Tabla 3-22. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 11 40
Tabla 3-23. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 12 41
Tabla 3-24. Resultados de caudal máximo, Transposición de caudales 42
Tabla 3-25. Resultados de caudal máximo, Método Racional para cuencas pequeñas 42
Tabla 3-26. Resultados de caudal máximo para área aportante 7 43
Tabla 3.27. Resultados de caudal máximo 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación general del Proyecto 2
Figura 1-2. Ubicación local del Proyecto 3
Figura 3-1. Hidrografía de la zona de estudio 12
Figura 3-2. Red hidrográfica identificada 14
Figura 3-3. Microcuencas aportantes al área de Proyecto 15
Figura 3-4. Microcuencas aportantes en la zona norte del área de Proyecto 16
Figura 3-5. Microcuencas aportantes en la zona sur del área de Proyecto 17
Figura 3-6. Estaciones meteorológicas cercanas al entorno del Proyecto 19
Figura 3-7. Análisis de frecuencia de precipitaciones, estación La Estrella 21
Figura 3-8. Estaciones fluviométricas de la DGA 23

Figura 3-9. Análisis de frecuencia, Área aportante 1 27
Figura 3-10. Análisis de frecuencia, Área aportante 2 28
Figura 3-11. Análisis de frecuencia, Área aportante 3 30
Figura 3-12. Análisis de frecuencia, Área aportante 4 31
Figura 3-13. Análisis de frecuencia, Área aportante 5 32
Figura 3-14. Análisis de frecuencia, Área aportante 6 33
Figura 3-15. Análisis de frecuencia, Área aportante 7 35
Figura 3-16. Análisis de frecuencia, Área aportante 8 36
Figura 3-17. Análisis de frecuencia, Área aportante 9 37
Figura 3-18. Análisis de frecuencia, Área aportante 10 38
Figura 3-19. Análisis de frecuencia, Área aportante 11 39
Figura 3-20. Análisis de frecuencia, Área aportante 12 41

1 INTRODUCCIÓN

El Proyecto “Parque Eólico Viento Pacífico Verde” (en adelante, el “Proyecto”) corresponde a un proyecto nuevo que se emplazará en dos zonas separadas geográficamente a 10 km en la zona rural de la región del Maule, específicamente en el sector costero de las comunas de Constitución y Chanco pertenecientes a las provincias de Talca y Cauquenes, respectivamente.

La finalidad de este estudio considera la caracterización hidrológica del área de influencia asociada al Proyecto, disponiendo para ello de antecedentes públicos y bibliográficos, de acuerdo con lo indicado en la *Guía sobre el Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental* (SEA, 2017). Para posteriormente determinar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, de acuerdo con lo sugerido en la *Guía de Presentación y Aprobación de Proyectos de Modificación de Cauce* (DGA, 2016).

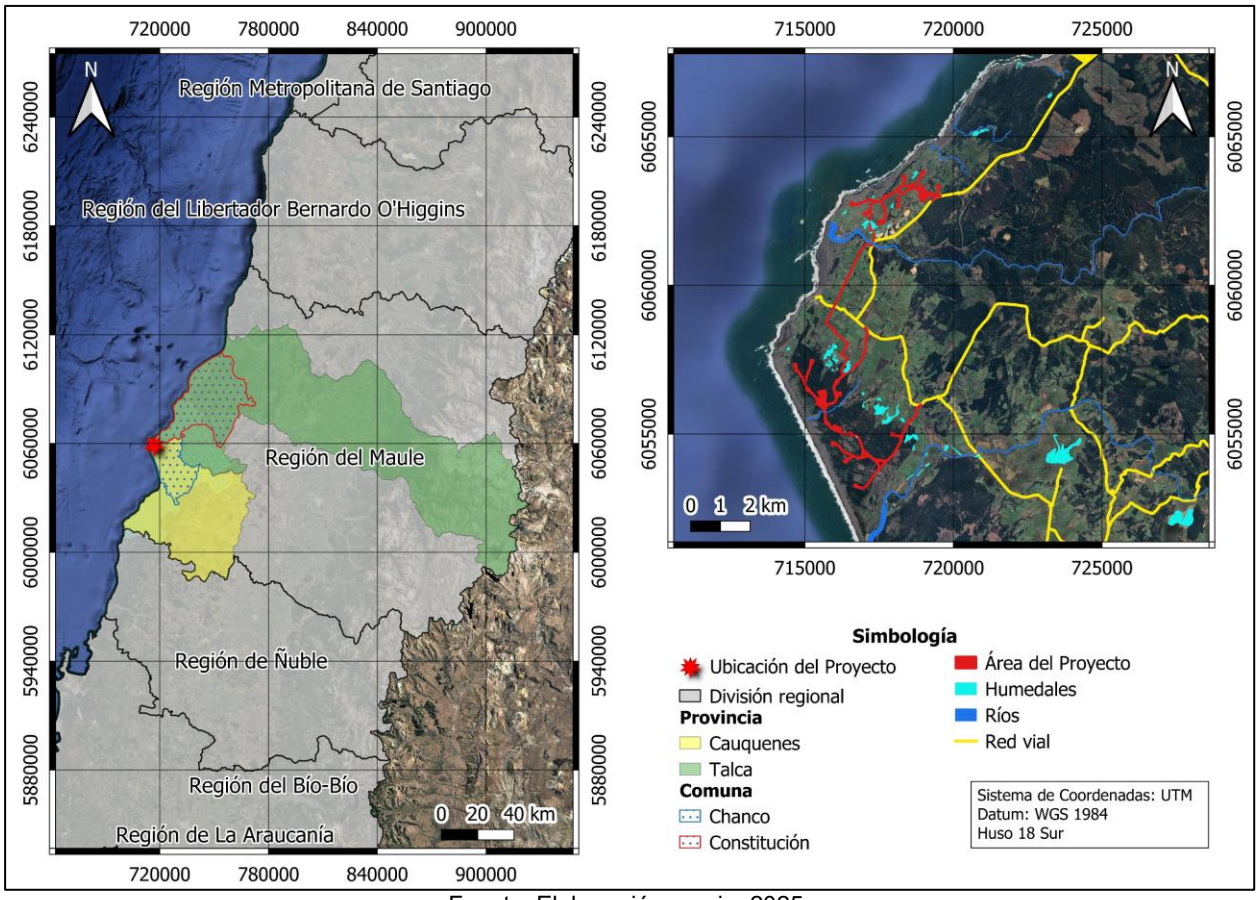
Para determinar los caudales máximos se compararon los resultados obtenidos con la metodología utilizada para una cuenca con información fluviométrica (metodología directa) y la metodología utilizada para una cuenca sin información fluviométrica (metodología indirecta). De acuerdo con lo indicado en la *Guía de Presentación y Aprobación de Proyectos de Modificación de Cauce* (DGA, 2016) la metodología directa corresponde a realizar una transposición de caudales y la metodología indirecta distingue entre áreas aportantes menores a 20 km^2 de las que poseen una superficie mayor, por lo que en el presente estudio se utilizó la metodología indicada en el *Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica* (MOP, 1995) y el *Manual de Carreteras Volumen N°3* (MOP, 2024). Así, considerando lo anterior, para cuencas con superficie menor a 20 km^2, se utilizó el Método Racional para cuencas pequeñas, y para cuencas con superficie mayor a 20 km^2 se utilizó el Método DGA-AC, Método Verni y King Modificado y Método Racional para cuencas mayores.

1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto se encuentra emplazado en el sector costero de la comuna de Chanco, provincia de Cauquenes y en la comuna de Constitución, provincia de Talca, ambas ubicadas en la región del Maule.

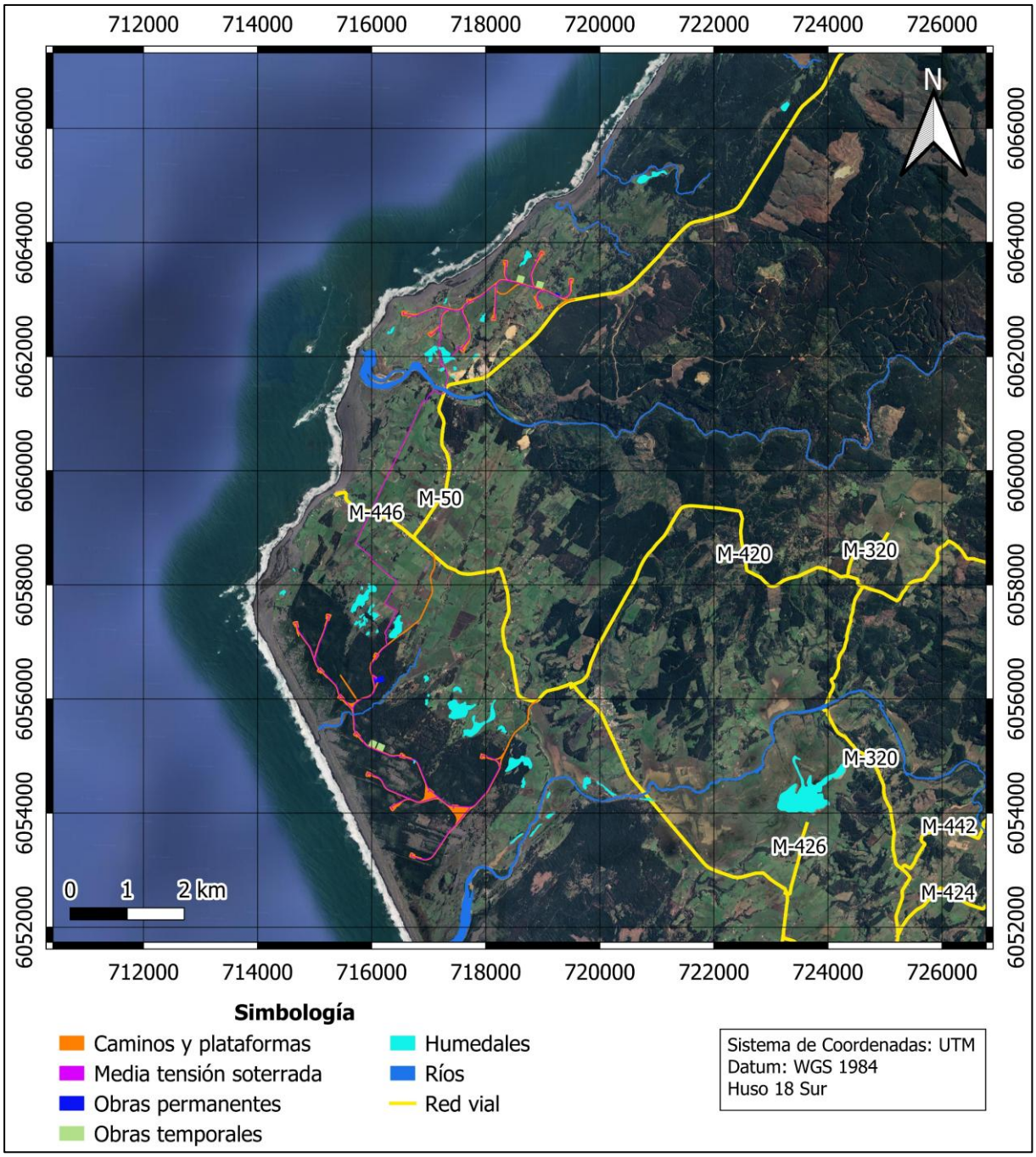
En la Figura 1-1 se muestra la ubicación general del Proyecto y en la Figura 1-2 se muestra la ubicación local del Proyecto.

Figura 1-1. Ubicación general del Proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 1-2. Ubicación local del Proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2025.

2 METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó una caracterización hidrográfica regional del área de estudio donde se identificaron sectores hidrológicos y la principal red hidrográfica asociada al área de estudio.

Luego, se realizó una caracterización hidrográfica local, con el fin de identificar la red de drenaje del sector.

Posteriormente, se realizó una caracterización de la hidrología del área donde se desarrollará el Proyecto, con el objetivo de establecer los valores de precipitaciones y caudales para distintos periodos de retorno.

Finalmente, se realizó el cálculo de caudales máximos, basado en la metodología sugerida por la *Guía de Presentación y Aprobación de Proyectos de Modificación de Cauce* (DGA, 2016).

Para la elaboración del presente informe, se consideraron principalmente las siguientes actividades:

2.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Se realiza una descripción hidrográfica regional y local en torno a la zona del Proyecto, identificando los principales cauces que interactúan con el área de influencia del Proyecto.

Basado en la red hidrográfica se definen cuencas aportantes y sus parámetros morfométricos, y de los registros históricos se obtienen los caudales máximos anuales para distintos períodos de retorno, con el fin de estimar caudales de crecida. Los escenarios analizados corresponden a periodos de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 150 años.

Para el análisis hidrológico se consideró la ejecución de las siguientes actividades:

2.1.1 Fotointerpretación

Se revisó la carta IGM asociada al sector, que corresponde a la carta Chanco (F-55), elaborada a escala 1:50.000, con el fin de identificar las posibles redes de escurrimiento permanentes o esporádicas, así como también quebradas naturales. Además, para complementar la información, se utilizó el mapa vectorial de la red hidrográfica, la que se encuentra en la mapoteca del Congreso Nacional de Chile.

2.1.2 Análisis geomorfológico

Consiste en la identificación y caracterización de la red de drenaje del sector, y de las áreas aportantes a los cauces que la componen. Para esto, se utilizan imágenes satelitales e información topográfica de la misión de la NASA “SRTM Worldwide Elevation Data”.

Los parámetros geomorfológicos de interés son los que se indican a continuación:

A_p : Área aportante pluvial (km^2).

L : Longitud del cauce principal (km).

H : Desnivel máximo de la cuenca (m), este se obtiene de la diferencia entre la cota máxima (H_{max}) y cota mínima (H_{min}) de la cuenca en estudio.

2.1.3 Tiempo de concentración

La determinación del tiempo de concentración de las áreas aportantes se calculó por medio de tres expresiones producto de resultados empíricos, por lo que se debe tener la consideración que el tiempo de concentración no puede ser inferior a 10 minutos, al menos que se posea mediciones en terreno que pueda corroborar un tiempo inferior de acuerdo con lo especificado en el *Manual de Carreteras Volumen N°3* (MOP, 2024). Las expresiones utilizadas se indican a continuación:

Kirpich : $$t_c = 0{,}066 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0{,}77}$$

California Culverts Practice : $$t_c = 0{,}95 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0{,}385}$$

Giandotti : $$t_c = \frac{\left(4\sqrt{A} + 1{,}5L\right)}{\left(0{,}8\sqrt{H}\right)}$$ Siempre que $L/3{,}6 \geq t_c \geq L/(3{,}6 + 1{,}5)$

Donde:

t_c : Tiempo de concentración (horas).

L : Longitud del cauce principal (km).

S : Pendiente (m/m).

A : Área pluvial aportante (km²).

H : Diferencia de nivel total entre cotas extremas (m).

2.1.4 Método directo para caudal máximo

La metodología utilizada para la estimación de caudales de crecida considerando el análisis de una cuenca con información fluviométrica, es la sugerida por la *Guía de Presentación y Aprobación de Proyectos de Modificación de Cauce* (DGA, 2016).

A continuación, se describe la metodología utilizada en el presente estudio para la obtención del caudal de crecida.

2.1.4.1 Transposición de Caudales

Para obtener los caudales afluentes a la zona del Proyecto se realiza una transposición desde la cuenca afluente a la estación fluviométrica estudiada hasta el punto de control escogido para realizar el estudio hidráulico. El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{PControl} = Q_{Estación} \cdot \frac{A_{PControl} \cdot PP_{PControl}}{A_{Estación} \cdot PP_{Estación}}$$

Donde:

$Q_{PControl}$: Caudal máximo instantáneo afluente al punto de control (m^3/s).

$Q_{Estación}$: Caudal máximo instantáneo para la estación fluviométrica (m^3/s).

$A_{PControl}$: Área pluvial afluente al punto de control (km^2).

$A_{Estación}$: Área pluvial afluente a la estación fluviométrica (km^2).

$PP_{PControl}$: Precipitación media anual sobre la cuenca afluente al punto de control (mm).

$PP_{Estación}$: Precipitación media anual sobre la cuenca afluente a la estación fluviométrica (mm).

2.1.5 Métodos indirectos para caudal máximo

La metodología utilizada para la estimación de los caudales de crecida considerando el análisis de una cuenca sin información fluviométrica es la sugerida por la *Guía de Presentación y Aprobación de Proyectos de Modificación de Cauce* (DGA, 2016), el *Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica* (MOP, 1995) y el *Manual de Carreteras Volumen N°3* (MOP, 2024).

A continuación, se describe la metodología utilizada en el presente estudio para la obtención del caudal de crecida.

2.1.5.1 Método Racional para cuencas pequeñas

Para la determinación de los caudales máximos en cuencas con áreas menores a 25 km^2, se utilizará el Método Racional para cuencas pequeñas, de acuerdo con lo indicado en el acápite 3.702.5 del *Manual de Carreteras Volumen 3* (MOP, 2024). Este método consta de las siguientes etapas:

a) <u>Coeficiente de escorrentía</u>

El coeficiente de escorrentía para distintos periodos de retorno se obtiene con lo indicado en la Tabla 2-1, de acuerdo con las características de la ubicación de la zona de estudio.

Tabla 2-1.Coeficiente de escorrentía (C)

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0,28-0,35	0,20-0,28	0,14-0,20	0,08-0,14
	Escarpado con pendientes mayores que 30%	Montañoso con pendientes entre 10 y 30%	Con cerros y pendientes entre 5 y 10%	Relativamente plano con pendientes menores al 5%
Infiltración	0,12-0,16	0,08-0,12	0,06-0,08	0,04-0,06
	Suelos rocosos, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable	Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados	Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos	Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
Cobertura vegetal	0,12-0,16	0,08-0,12	0,06-0,08	0,04-0,06
	Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	Poca vegetación terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área con	Regular a buena; 50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado	Buena a excelente; 90% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
		buena cobertura vegetal		
Almacenamiento superficial	0,10-0,12	0,08-0,10	0,06-0,08	0,04-0,06
	Despreciable, pocas depresiones superficiales sin zonas húmedas	Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos, sin zonas húmedas	Normal; posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos	Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos
Si T > 10 años amplificar resultado por: T=25; C*1,10 / T=50; C*1,20 / T=100; C*1,25				

Fuente: Tabla 3.702.503(B) del Manual de Carreteas Volumen 3 (MOP, 2024).

b) Coeficiente de duración y de frecuencia

Los coeficientes de duración y de frecuencia propuestos por Bell cumplen las siguientes relaciones:

$$CD_t = (0{,}54t^{0{,}25} - 0{,}50)$$

$$CF^T = (0{,}21 * Ln(T) + 0{,}52)$$

Donde:

CD : Coeficiente de duración.

CF : Coeficiente de frecuencia.

t : Duración de la lluvia (minutos).

T : Periodo de retorno en años.

c) Intensidad de lluvia

La intensidad de las precipitaciones obtenidas para el tiempo de concentración (t_c) y cada periodo de retorno se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$i_{tc}^T = \frac{P_{tc}^T}{t_c}$$

Donde:

i_{tc}^T : Intensidad con periodo de retorno T, asociada a una duración tc horas (mm/h).

P_{tc}^T : Precipitación con periodo de retorno T, asociada a una duración tc horas (mm).

t_c : Tiempo de concentración de la cuenca (h).

d) Caudal para cada periodo de retorno

Para estimar los caudales máximos de crecida, se emplea la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C(T) * i_{tc}^T * A}{3{,}6}$$

Donde:

Q : Caudal instantáneo máximo de periodo de retorno T (m^3/s).

C : Coeficiente de escorrentía asociada al periodo de retorno T.

i_{tc}^{T} : Intensidad media de lluvia asociada al periodo de retorno T y una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca pluvial (mm/h).

A : Área pluvial aportante (km^2).

2.1.5.2 Método DGA-AC

El Método DGA-AC corresponde a un análisis regional de crecidas de origen pluvial, basado en series de máximos anuales generadas a partir de información de caudales medios diarios e instantáneos máximos del período pluvial.

El caudal medio diario máximo de período de retorno de 10 años (Q_{10}) se determina de diferentes formas según la región en la que se desarrolla el estudio, en este caso se tiene lo siguiente:

$$VII\ a\ IX\ Región: \qquad Q_{10} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \mathrm{A_p}^{0,973} \cdot (\mathrm{P_{24}^{10}})^{1,224}$$

Donde:

Q_{10} : Caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años (m^3/s).

A_p : Área pluvial aportante (km^2).

P_{24}^{10} : Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años (mm).

Con el valor de Q_{10} se obtiene el caudal medio diario máximo ($Q(T)$) según valores tabulados en el Manual de *Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin información fluviométrica* (DGA, 1995), los cuales son dependientes de la cuenca en que se desarrolla el estudio. En la Tabla 2-2 se muestra la relación entre Q_{10} y $Q(T)$ correspondiente a la Cuenca del Río Maule.

Tabla 2-2. Curva de frecuencia Regional Q(T)/Q(10) para Cuenca Río Maule

Período de Retorno T (años)	Q(T)/Q(10)		
	Media	Max	Min
2	0,49	0,52	0,44
5	0,80	0,81	0,78
10	1,00	1,00	1,00
20	1,19	1,21	1,19
25	1,26	1,28	1,24
50	1,45	1,49	1,42
75	1,56	1,61	1,53
100	1,64	1,70	1,60

Fuente: Tabla 3.19 del Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin información fluviométrica (DGA, 1995).

El valor de caudal medio diario máximo (Q(T)) se transforma a caudal instantáneo máximo multiplicando por el factor de conversión α, el cual depende de la cuenca en la que se desarrolla el estudio. En la Tabla 2-3 muestran los valores de α a considerar según la cuenca.

Tabla 2-3.Factor de conversión de Caudal medio diario máximo a Caudal instantáneo máximo

Cuenca	A
Rp	1,45

Fuente: Extracto de la Tabla 3.24 del Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin información fluviométrica (DGA, 1995).

2.1.5.3 Método Verni y King Modificado

Este método relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias. La fórmula de Verni y King modificada tiene la siguiente forma:

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

Donde:

Q : Caudal instantáneo máximo asociado al período de retorno T años (m^3/s).

$C(T)$: Coeficiente empírico de período de retorno T años.

A_p : Área pluvial aportante (km^2).

$\mathrm{P_{24}}$: Precipitación diaria máxima de período de retorno T años (mm).

El valor del coeficiente C(T) depende de la región de estudio y se obtiene del correspondiente coeficiente asociado a un período de retorno de 10 años C(T=10), el cual también es dependiente de la región de estudio. En la Tabla 2-4 se muestran el valor del coeficiente C(T=10) utilizado para este estudio.

Tabla 2-4. Coeficiente C(T=10) – Verni y King Modificada

Región	C(T=10)
VII	0,710

Fuente: Extracto de la Tabla 3.25 del Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin información fluviométrica (DGA, 1995).

El coeficiente empírico C(T) se determina mediante el factor de frecuencia C(T)/C(T=10). En la Tabla 2-5 se muestran los valores de dicho factor.

Tabla 2-5. Coeficiente de fórmulas empíricas C(T)/C(T=10) – Verni y King Modificada

Periodo de Retorno, T (años)	C(T)/C(T=10)
	VII Región
2	0,86
5	0,95
10	1,00
20	1,00
25	1,00
50	1,00
100	1,04

Fuente: Extracto de la Tabla 3.26 del Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin información fluviométrica (DGA, 1995).

2.1.5.4 Método Racional

La Fórmula Racional es un método ampliamente conocido en hidrología y se recomienda su uso sobre la base del empleo de coeficientes de escorrentía que mejor se ajustan a los resultados de los análisis de frecuencias efectuados en el estudio desarrollado para su elaboración, los cuales incluyeron información de 130 estaciones limnigráficas ubicadas entre la III y IX Regiones de Chile.

El caudal, con esta metodología, es obtenido con las siguientes ecuaciones:

$$Q = \frac{C * i * A_p}{3{,}6} \qquad i_{tc}^{T} = \frac{P_{tc}^{T}}{t_c}$$

Donde:

Q: Caudal instantáneo máximo de período de retorno T, expresado en m³/s.

C: Coeficiente de escorrentía asociado al período de retorno T.

A_p *:* Área pluvial aportante (km²).

t_c : Tiempo de concentración de la cuenca (h).

i_{tc}^{T}: Intensidad media de lluvia asociada al período de retorno T y a una duración igual al tiempo de concentración (t_c, en horas) de la cuenca, expresada en mm/h.

P_{tc}^{T}: Precipitación de período de retorno T, asociado a una duración t_c horas, en mm.

El coeficiente de escorrentía asociado al período de retorno de 10 años C (T=10 años) es variable según la ubicación geográfica de la cuenca. En la Tabla 2-6 se muestran el valor del coeficiente C(T=10) utilizado para este estudio.

Tabla 2-6. Coeficiente C(T=10) – Método Racional

Región	C(T=10)
VII	0,390

Fuente: Extracto de la Tabla 3.27 del Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin información fluviométrica (DGA, 1995).

Se ha demostrado en el estudio desarrollado para elaborar el Manual, que el factor para la curva de frecuencia del coeficiente de escorrentía C(T)/C(T=10 años) es igual al del método de Verni y King modificado (Tabla 2-5).

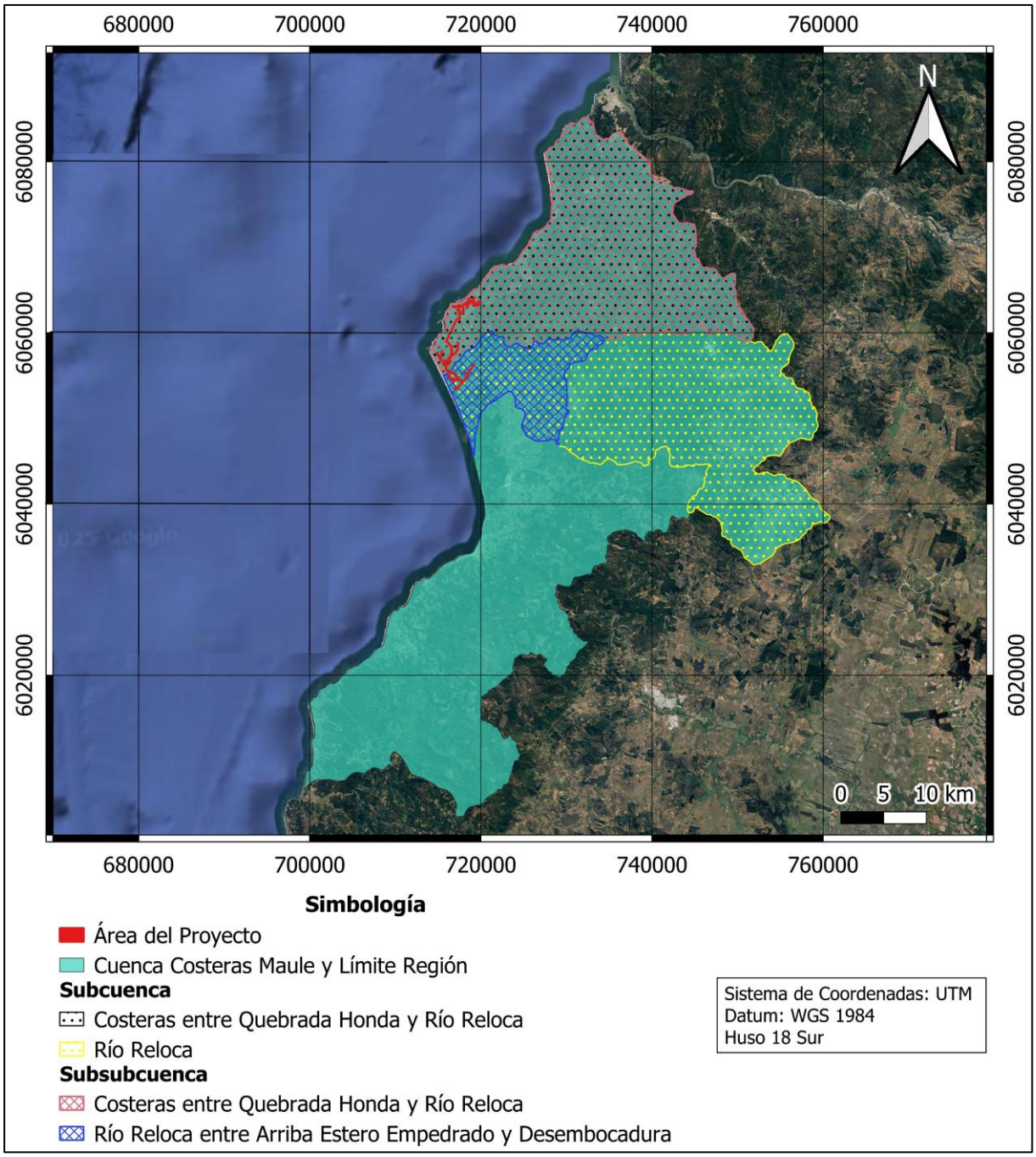
El coeficiente de duración (CD) de la cuenca se estimó para el tiempo de concentración de ésta, por lo que se recurrió a los valores definidos por Varas y Sánchez (1983) para algunas regiones de Chile. Dichos valores se encuentran en la Tabla 2.2 del Capítulo 2 del *Manual de Cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica* (DGA, 1995), donde se asigna un coeficiente de duración (CD) para cada tiempo de duración (h) en algunas regiones.

3 RESULTADOS

3.1 HIDROGRAFÍA REGIONAL

El área de influencia del Proyecto, de acuerdo con la Clasificación de la DGA, se emplaza en la cuenca Costeras Maule y Límite Región, en la subcuenca Costeras entre Quebrada Honda y Río Reloca y en la subcuenca Río Reloca, específicamente en la subsubcuenca Costeras entre Quebrada Honda y Río Reloca y en la subsubcuenca Río Reloca entre Arriba Estero Empedrado y Desembocadura. En la Figura 3-1 se muestra el sistema de cuencas donde su ubica el Proyecto, y en la Tabla 3-1 se indica su información principal.

Figura 3-1. Hidrografía de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-1. Datos de cuencas donde se ubica el Proyecto

Unidad	Nombre	Código	Área (km^2)
Cuenca	Costeras Maule y Límite Región	074	1.995,43
Subcuenca	Costeras entre Quebrada Honda y Río Reloca	0740	511,26

Unidad	Nombre	Código	Área (km^2)
	Río Reloca	0741	633,49
Subsubcuenca	Costeras entre Quebrada Honda y Río Reloca	07400	511,26
	Río Reloca entre Arriba Estero Empedrado y Desembocadura	07411	131,63

Fuente: Inventario público de cuencas, DGA.

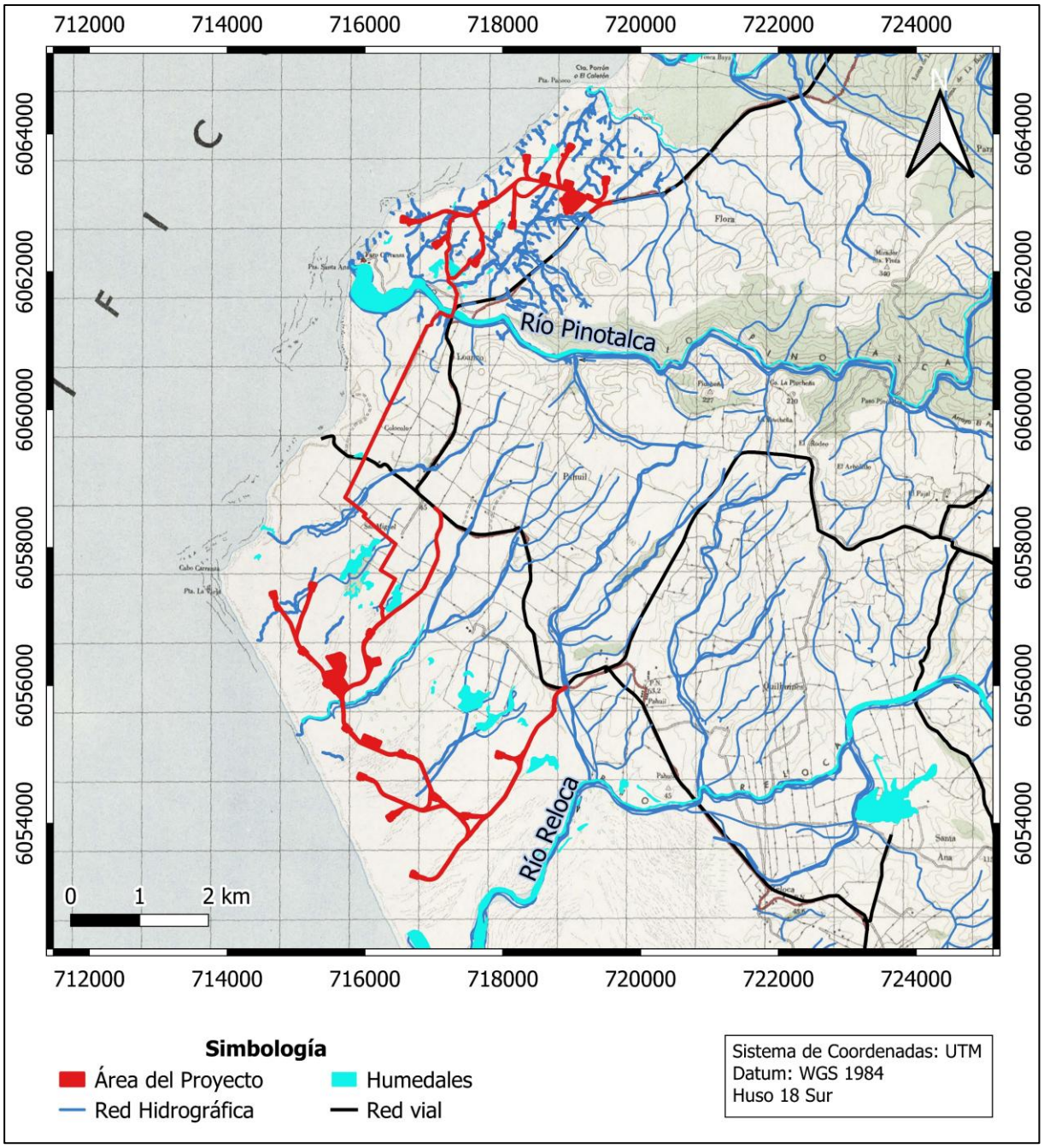
3.2 HIDROGRAFÍA LOCAL

3.2.1 Red hidrográfica

En la Figura 3-2 se muestra la ubicación del Proyecto y se indican los principales cursos de agua que componen la red hidrográfica de la zona de estudio, lo cual se llevó a cabo con la carta IGM F-55 Chanco, además de la información recopilada durante la visita a terreno realizada y el Inventario Nacional de Humedales.

De acuerdo con la red hidrográfica identificada se observa que el área del Proyecto está ubicada al norte del Río Reloca, pasa por el Río Pinotalca y otros cauces que corresponden a Quebradas Sin Nombre, canales, cursos de agua intermitentes, zonas de acumulación de aguas y humedales.

Figura 3-2. Red hidrográfica identificada

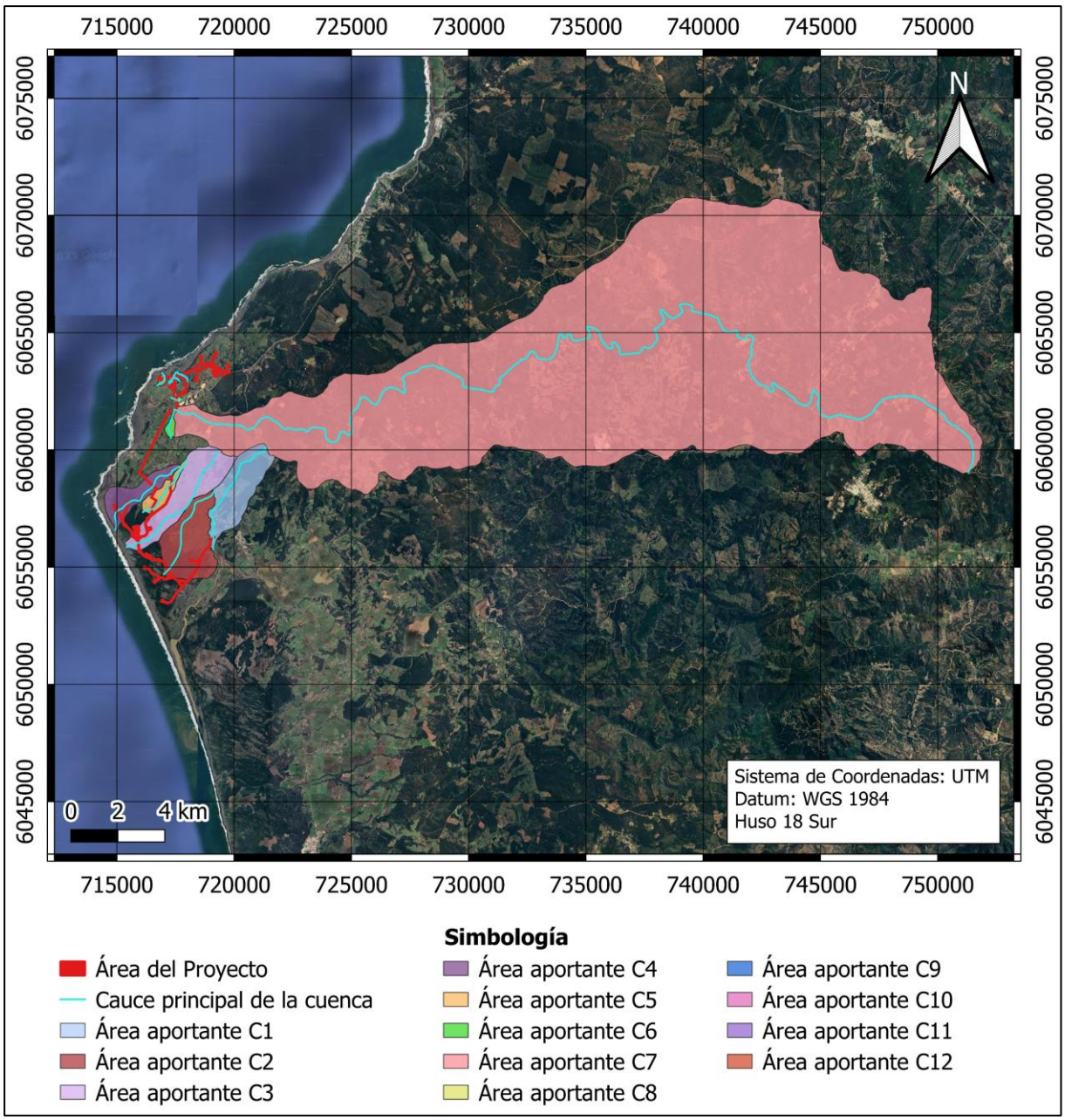


Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.2.2 Características de las áreas aportantes a la zona de estudio

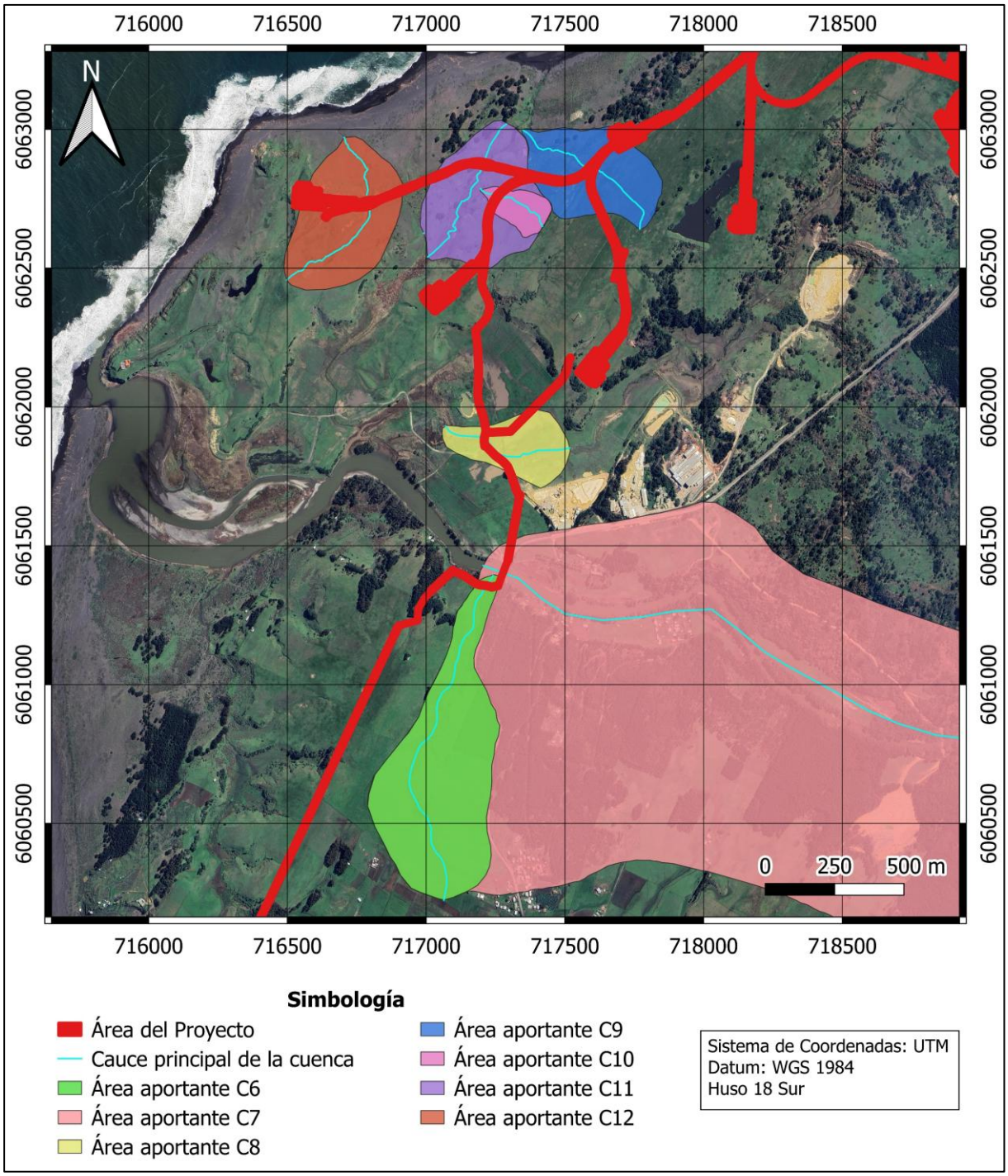
Se han identificado diferentes cauces naturales en el área donde se ubicará el Proyecto, por lo que se han definido las microcuencas aportantes que se muestran en la Figura 3-3 (ver detalle en Figura 3-4 y Figura 3-5).

Figura 3-3. Microcuencas aportantes al área de Proyecto



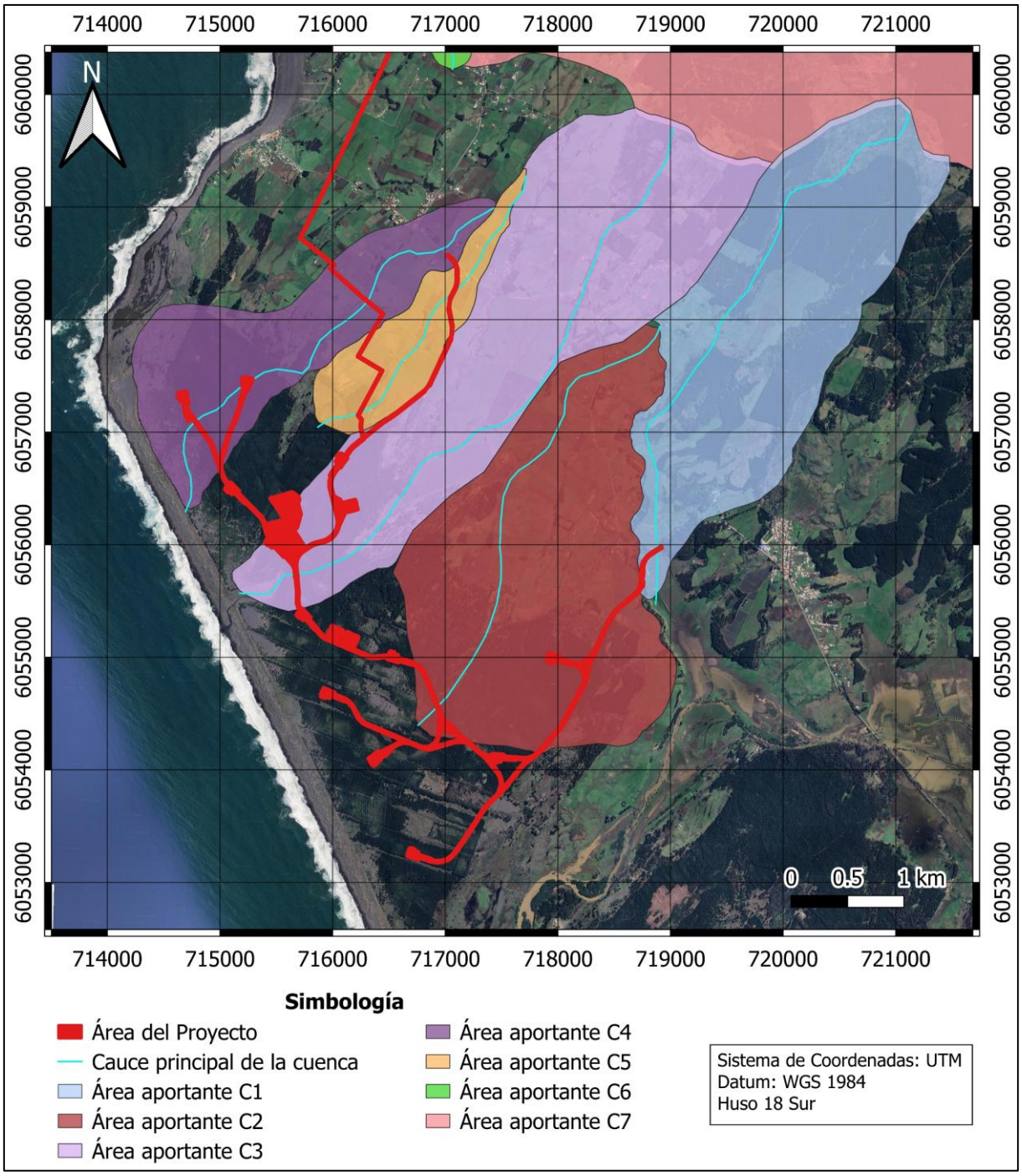
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 3-4. Microcuencas aportantes en la zona norte del área de Proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 3-5. Microcuencas aportantes en la zona sur del área de Proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la Tabla 3-2 se resumen los datos morfométricos de las microcuencas identificadas.

Tabla 3-2. Datos morfométricos microcuencas aportantes

Área aportante	A_t (km²)	L (km)	H_{min}(m)	H_{max}(m)
Área C1	5,51	5,45	18,00	194,00
Área C2	7,71	4,45	19,00	74,00
Área C3	6,26	6,08	8,00	121,00
Área C4	2,95	4,37	12,00	61,00
Área C5	1,25	3,04	39,00	67,00
Área C6	0,31	1,29	10,00	63,00
Área C7	221,00	53,14	10,00	668,00
Área C8	0,08	0,49	8,00	10,00
Área C9	0,13	0,63	23,00	35,00
Área C10	0,03	0,28	24,00	30,00
Área C11	0,17	0,58	21,00	23,00
Área C12	0,16	0,70	11,00	32,00

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Donde:

A_t : Área total de la cuenca.

L : Longitud cauce principal.

H_{min} : Cota menor área aportante.

H_{max} : Cota mayor área aportante

En la Tabla 3-3 se muestran los resultados de tiempo de concentración obtenidos.

Tabla 3-3. Tiempos de concentración resultantes

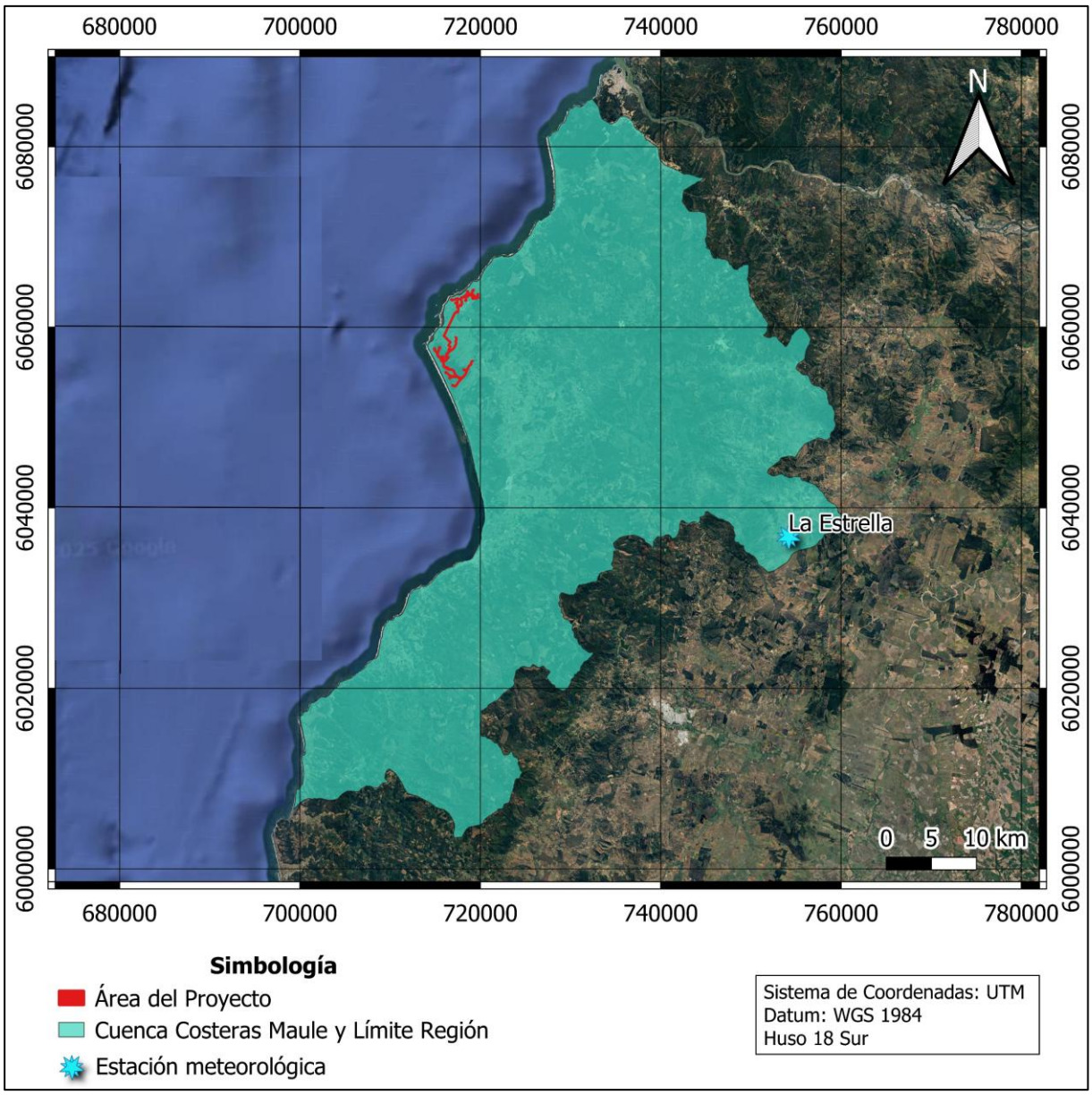
Área aportante	Tiempo de Concentración (horas)			
	Kirpich	C.C.P.	Giandotti	t_c adoptado
Área C1	0,92	0,92	No cumple	0,92
Área C2	1,14	1,14	No cumple	1,14
Área C3	1,23	1,24	No cumple	1,23
Área C4	1,16	1,16	No cumple	1,16
Área C5	0,95	0,95	No cumple	0,95
Área C6	0,28	0,28	No cumple	0,28
Área C7	7,66	7,67	No cumple	7,66
Área C8	0,32	0,32	No cumple	0,32
Área C9	0,21	0,21	No cumple	0,21
Área C10	0,11	0,11	No cumple	0,11
Área C11	0,39	0,39	No cumple	0,39
Área C12	0,19	0,19	No cumple	0,19

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.3 PLUVIOMETRÍA DEL SECTOR

El cálculo de las precipitaciones máximas se realizó verificando las estaciones meteorológicas de la DGA cercanas al lugar de estudio, que se encuentren en estado vigente. Considerando lo anterior, cumple con las condiciones y cuenta con datos registrados la estación meteorológica que se muestra en la Figura 3-8, y en la Tabla 3-8 se indican sus principales características.

Figura 3-6. Estaciones meteorológicas cercanas al entorno del Proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-4. Datos estación meteorológica

Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM WGS 84 – Huso 18 Sur		Altitud (msnm)	Fecha Inicio
		Este (m)	Norte (m)		
07340002-3	La Estrella	753.932	6.036.471	200	01-01-1990

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.3.1 Registros de precipitaciones

Para realizar el análisis estadístico de las precipitaciones, en la Tabla 3-5 se muestran los valores de precipitaciones registradas por la estación La Estrella, la que consta de un total de 32 años de registro (desde el año 1992 al 2025).

Tabla 3-5. Registro de precipitaciones máximas en 24 horas, estación La Estrella – periodo 1992 - 2025

Año	Fecha	Precipitación máxima en 24 horas (mm)
1992	16/09	55,60
1993	16/04	37,60
1994	19/07	52,00
1995	15/06	52,50
1996	11/06	54,00
1997	19/06	68,50
1998	10/09	35,50
1999	04/09	57,00
2000	09/09	81,50
2001	16/07	69,50
2002	23/08	83,50
2003	20/05	55,50
2004	21/07	56,50
2005	26/06	66,50
2006	11/07	72,50
2007	12/07	46,50
2008	19/05	74,50
2009	18/06	55,50
2010	13/06	55,50
2011	18/06	66,70
2012	26/05	75,00
2013	02/05	46,00
2014	03/06	43,40
2015	11/07	61,60
2016	13/07	30,20
2017	24/06	62,00
2018	13/12	5,60
2019	27/06	43,60
2020	18/07	58,90
2021	01/05	64,50
2022	-	-

Año	Fecha	Precipitación máxima en 24 horas (mm)
2023	-	-
2024	03/11	4,90
2025	14/06	46,20

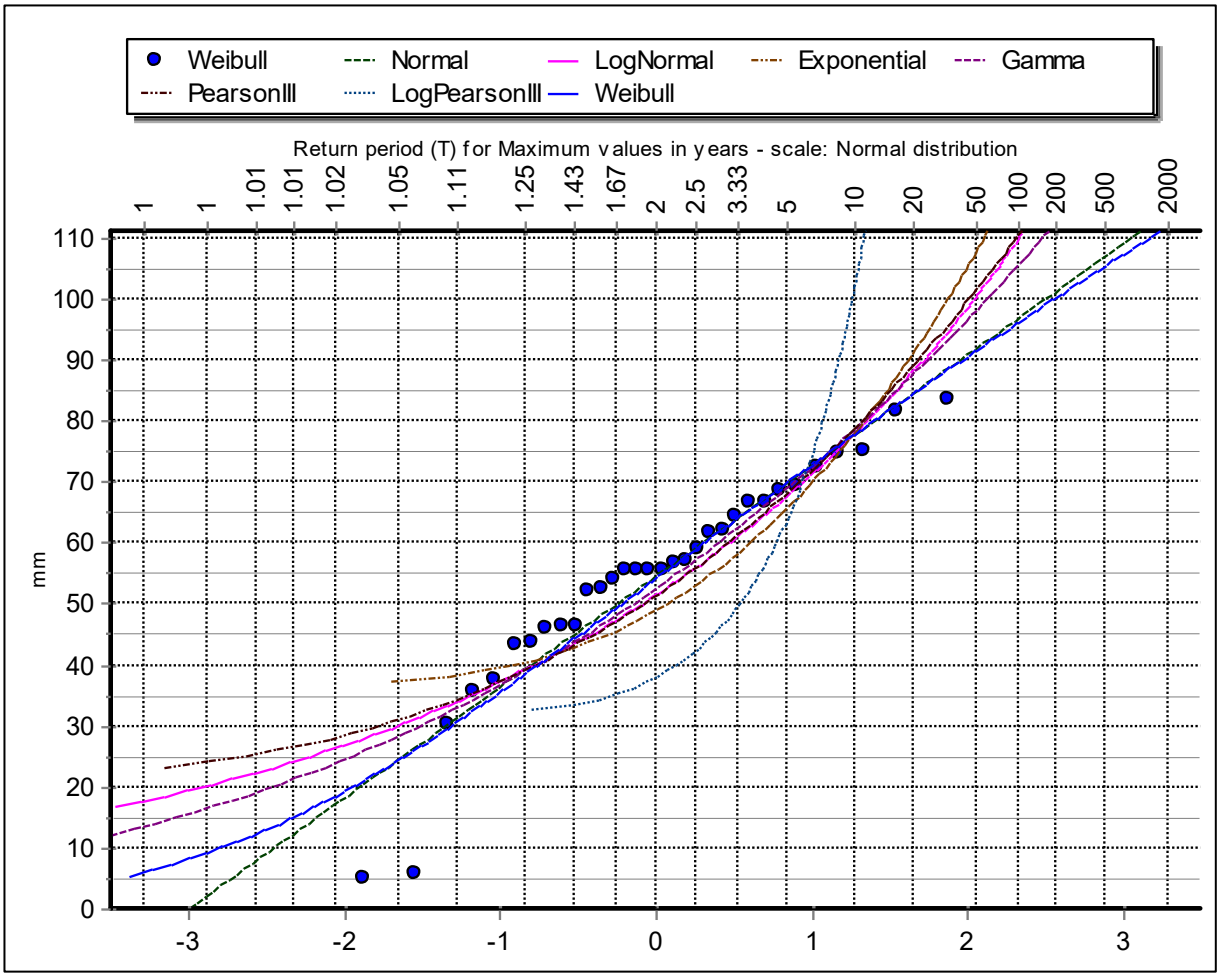
Fuente: Elaboración Propia con datos de Información Oficial Hidrometeorológica en Línea – DGA

3.3.2 Análisis de frecuencia precipitaciones máximas

Las precipitaciones máximas para distintos períodos de retorno se obtuvieron mediante un análisis de frecuencia para la curva formada por los registros históricos de precipitación, el cual consistió en generar una curva de ajuste a la curva Weibull. Para el análisis se utilizaron las distribuciones de probabilidad Normal, LogNormal, Exponencial, Gamma, Pearson III, Log Pearson III y Weibull.

En la Figura 3-9 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones y en la Tabla 3-12 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-7. Análisis de frecuencia de precipitaciones, estación La Estrella



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-6. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, estación La Estrella

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1%	a=5%	a=10%	Porcentaje	DMax
Normal	Acepto	Acepto	Acepto	72,95%	0,115
Log Normal	Acepto	Acepto	Acepto	22,89%	0,178
Exponencial	Acepto	Rechazo	Rechazo	3,16%	0,248
Gamma	Acepto	Acepto	Acepto	34,40%	0,159
Pearson III	Acepto	Acepto	Acepto	18,64%	0,186
Log Pearson III	Rechazo	Rechazo	Rechazo	0,00%	0,442
Weibull	Acepto	Acepto	Acepto	68,63%	0,120

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.3.3 Precipitaciones máximas de diseño

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-6, la distribución de probabilidad Normal es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará el set de precipitaciones obtenido con esta distribución.

Los valores de precipitación máxima diaria para distintos periodos de retorno se muestran en la Tabla 3-7, y se aumentaron con el coeficiente de corrección de 1,1 considerando lo dispuesto en el *Manual de Carreteras Volumen N°3* (MOP, 2024).

Tabla 3-7. Precipitaciones máximas diarias para distintos periodos de retorno

Periodo de retorno T (años)	Pp máxima 24 horas (mm)	Pp máxima diaria (mm)
2	54,3	59,8
5	69,6	76,6
10	77,6	85,4
25	86,1	94,7
50	91,6	100,8
100	96,6	106,2
150	99,3	109,2

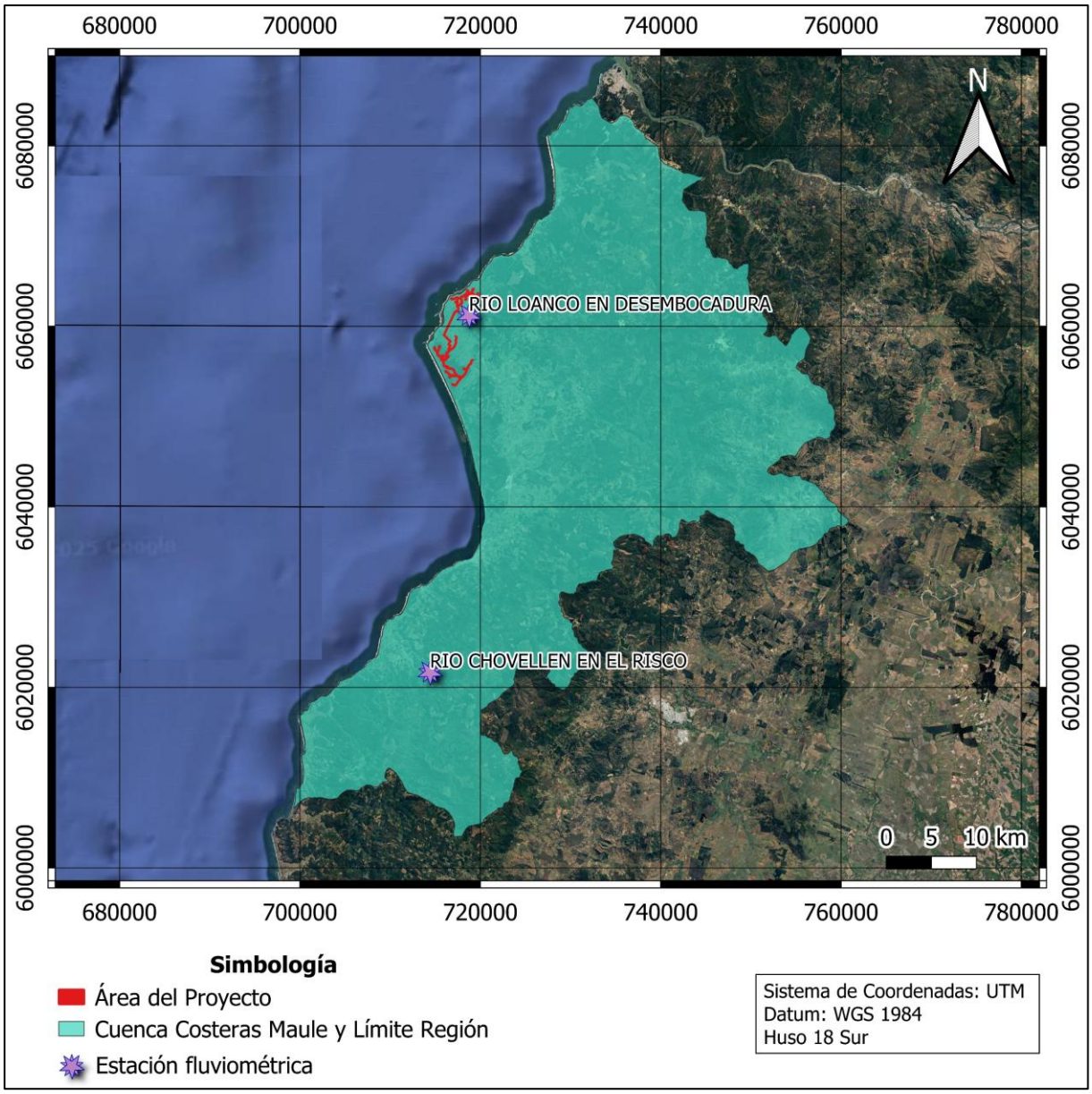
Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El cálculo de los caudales máximos se realizó verificando las estaciones fluviométricas de la DGA cercanas al lugar de estudio, que se encuentren en estado vigente y que posean una altitud similar a la zona de estudio.

En la Figura 3-8 se muestran las estaciones que, considerando lo anterior, cumplen con las condiciones y cuentan con datos registrados, y en la Tabla 3-8 se indican sus principales características.

Figura 3-8. Estaciones fluviométricas de la DGA



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-8. Datos estaciones fluviométricas de la DGA

Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM WGS 84 – Huso 18 Sur		Altitud (msnm)	Fecha Inicio
		Este (m)	Norte (m)		
07400001-0	Río Loanco en Desembocadura	718.503	6.060.893	20	01-12-1987
07440000-0	Río Chovellen en El Risco	714.179	6.021.369	21	15-12-2017

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para realizar el análisis estadístico de los caudales, la estación fluviométrica seleccionada es Río Loanco en Desembocadura, debido a la cercanía al Proyecto y a ser la estación que cuenta con un mayor registro de caudales máximos en relación con la estación Río Chovellen en El Risco.

3.4.1 Registros de caudales máximos instantáneos

Realizando el filtro de los registros de caudal máximo instantáneo de la estación seleccionada, se determinaron los caudales máximos de cada año registrado por la estación. La estación Río Loanco en Desembocadura cuenta con un registro de caudales máximos instantáneos entre los años 1988 y 2021, en la Tabla 3-9 se muestran los registros obtenidos.

Tabla 3-9. Registro de caudales máximos instantáneos estación Río Lonaco en Desembocadura de la DGA

Año	Caudal máximo inst. (m³/s)
1988	581,18
1989	132,32
1990	61,40
1991	360,08
1992	854,88
1993	70,63
1994	26,06
1995	66,93
1996	45,13
1997	490,92
1998	25,10
1999	254,44
2000	475,56
2001	649,48
2002	152,27
2003	30,66
2004	320,56
2005	592,60
2006	-
2007	105,00
2008	643,00
2009	485,99
2010	51,90
2011	-
2012	-
2013	51,43
2014	144,81
2015	184,13
2016	-
2017	268,97
2018	117,03
2019	49,25

Año	Caudal máximo inst. (m³/s)
2020	374,10
2021	36,27

Fuente: Elaboración Propia con datos de Información Oficial Hidrometeorológica en Línea – DGA, 2025.

3.4.2 Caudales afluentes a la zona del Proyecto

En la Tabla 3-10 y Tabla 3-11 se muestran los valores de caudales obtenidos de la transposición para cada punto de control, utilizando los datos de las cuencas definidas.

Tabla 3-10. Caudales máximos instantáneos (1 de 2)

Año	Caudal máximo instantáneo (m³/s)					
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
1988	14,47	20,25	16,44	7,75	3,28	0,81,
1989	3,29	4,61	3,74	1,76	0,75	0,19,
1990	1,53	2,14	1,74	0,82	0,35	0,09,
1991	8,97	12,55	10,19	4,80	2,03	0,50,
1992	21,29	29,78	24,18	11,40	4,83	1,20,
1993	1,76	2,46	2,00	0,94	0,40	0,10,
1994	0,65	0,91	0,74	0,35	0,15	0,04,
1995	1,67	2,33	1,89	0,89	0,38	0,09,
1996	1,12	1,57	1,28	0,60	0,25	0,06,
1997	12,22	17,10	13,89	6,54	2,77	0,69,
1998	0,62	0,87	0,71	0,33	0,14	0,04,
1999	6,34	8,86	7,20	3,39	1,44	0,36,
2000	11,84	16,57	13,45	6,34	2,69	0,67,
2001	16,17	22,63	18,37	8,66	3,67	0,91,
2002	3,79	5,31	4,31	2,03	0,86	0,21,
2003	0,76	1,07	0,87	0,41	0,17	0,04,
2004	7,98	11,17	9,07	4,27	1,81	0,45,
2005	14,75	20,65	16,76	7,90	3,35	0,83,
2006	-	-	-	-	-	-
2007	2,61	3,66	2,97	1,40	0,59	0,15,
2008	16,01	22,40	18,19	8,57	3,63	0,90,
2009	12,10	16,93	13,75	6,48	2,75	0,68,
2010	1,29	1,81	1,47	0,69	0,29	0,07,
2011	-	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-
2013	1,28	1,79	1,45	0,69	0,29	0,07,
2014	3,61	5,05	4,10	1,93	0,82	0,20,
2015	4,58	6,42	5,21	2,45	1,04	0,26,
2016	-	-	-	-	-	-
2017	6,70	9,37	7,61	3,59	1,52	0,38,
2018	2,91	4,08	3,31	1,56	0,66	0,16,
2019	1,23	1,72	1,39	0,66	0,28	0,07,
2020	9,31	13,03	10,58	4,99	2,11	0,52,

Año	Caudal máximo instantáneo (m³/s)					
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
2021	0,90	1,26	1,03	0,48	0,20	0,05,

Fuente: Elaboración Propia, 2025

Tabla 3-11. Caudales máximos instantáneos (2 de 2)

Año	Caudal máximo instantáneo (m³/s)					
	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10	Área 11	Área 12
1988	581,18	0,210	0,34	0,08	0,45	0,42
1989	132,32	0,048	0,08	0,02	0,10	0,10
1990	61,40	0,022	0,04	0,01	0,05	0,04
1991	360,08	0,130	0,21	0,05	0,28	0,26
1992	854,88	0,309	0,50	0,12	0,66	0,62
1993	70,63	0,026	0,04	0,01	0,05	0,05
1994	26,06	0,009	0,02	0,00	0,02	0,02
1995	66,93	0,024	0,04	0,01	0,05	0,05
1996	45,13	0,016	0,03	0,01	0,03	0,03
1997	490,92	0,177	0,29	0,07	0,38	0,35
1998	25,10	0,009	0,01	0,00	0,02	0,02
1999	254,44	0,092	0,15	0,03	0,20	0,18
2000	475,56	0,172	0,28	0,06	0,37	0,34
2001	649,48	0,235	0,38	0,09	0,50	0,47
2002	152,27	0,055	0,09	0,02	0,12	0,11
2003	30,66	0,011	0,02	0,00	0,02	0,02
2004	320,56	0,116	0,19	0,04	0,25	0,23
2005	592,6	0,214	0,35	0,08	0,46	0,43
2006	-	-	-	-	-	-
2007	105	0,038	0,06	0,01	0,08	0,08
2008	643	0,232	0,38	0,09	0,49	0,46
2009	485,99	0,176	0,29	0,07	0,37	0,35
2010	51,9	0,019	0,03	0,01	0,04	0,04
2011	-	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-
2013	51,43	0,019	0,03	0,01	0,04	0,04
2014	144,81	0,052	0,09	0,02	0,11	0,10
2015	184,13	0,067	0,11	0,02	0,14	0,13
2016	-	-	-	-	-	-
2017	268,97	0,097	0,16	0,04	0,21	0,19
2018	117,03	0,042	0,07	0,02	0,09	0,08
2019	49,25	0,018	0,03	0,01	0,04	0,04
2020	374,1	0,135	0,22	0,05	0,29	0,27
2021	36,27	0,013	0,02	0,00	0,03	0,03

Fuente: Elaboración Propia, 2025

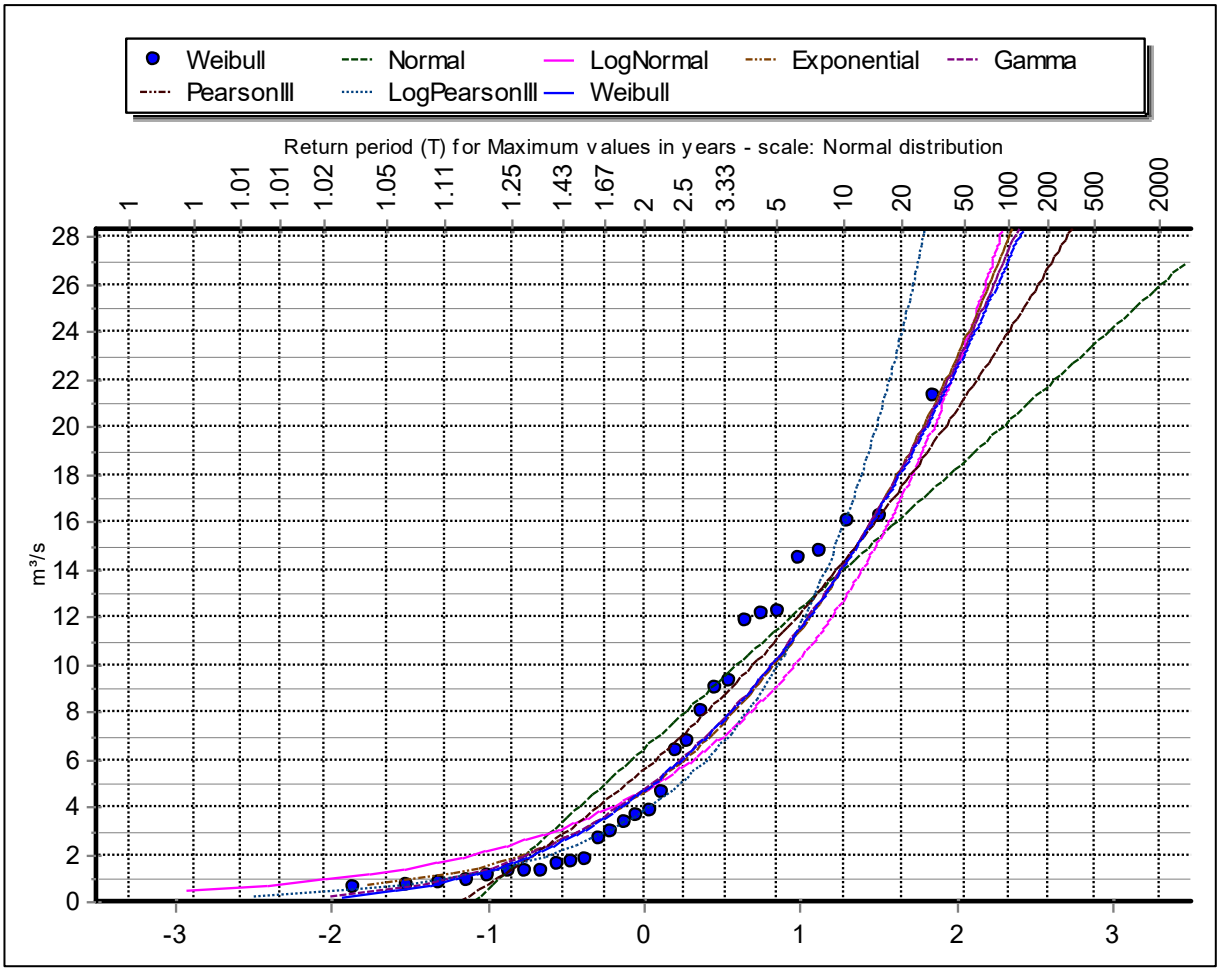
3.4.3 Análisis estadístico para caudales máximos instantáneos

Los caudales máximos para distintos períodos de retorno se obtuvieron mediante un análisis de frecuencia para la curva formada por los registros históricos de caudal, el cual consistió en generar una curva de ajuste a la curva Weibull. Para el análisis se utilizaron las distribuciones de probabilidad Normal, LogNormal, Exponencial, Gamma, Pearson III, Log Pearson III y Weibull.

a) <u>Área aportante 1:</u>

En la Figura 3-9 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-12 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-9. Análisis de frecuencia, Área aportante 1



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-12. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 1

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	21,20%	0,186
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	3,95%	0,248
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	37,33%	0,160

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	46,90%	0,147
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,24%	0,141
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	80,01%	0,110
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,28%	0,141

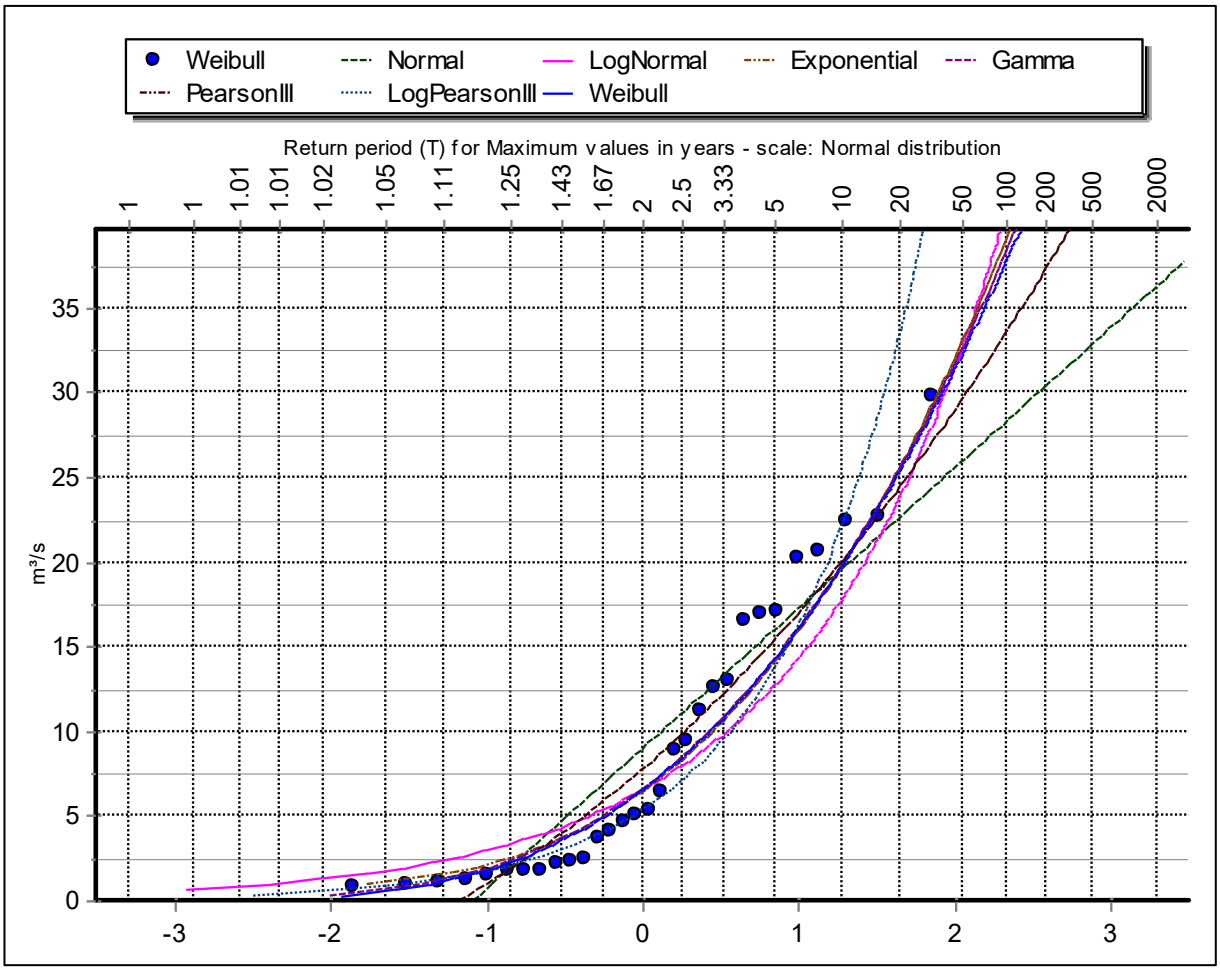
Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-12, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

b) <u>Área aportante 2:</u>

En la Figura 3-10 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-13 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-10. Análisis de frecuencia, Área aportante 2



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-13. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 2

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	21,30%	0,186
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	3,91%	0,249
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	36,99%	0,160
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	46,59%	0,148
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,46%	0,141
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	79,53%	0,111
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	51,98%	0,142

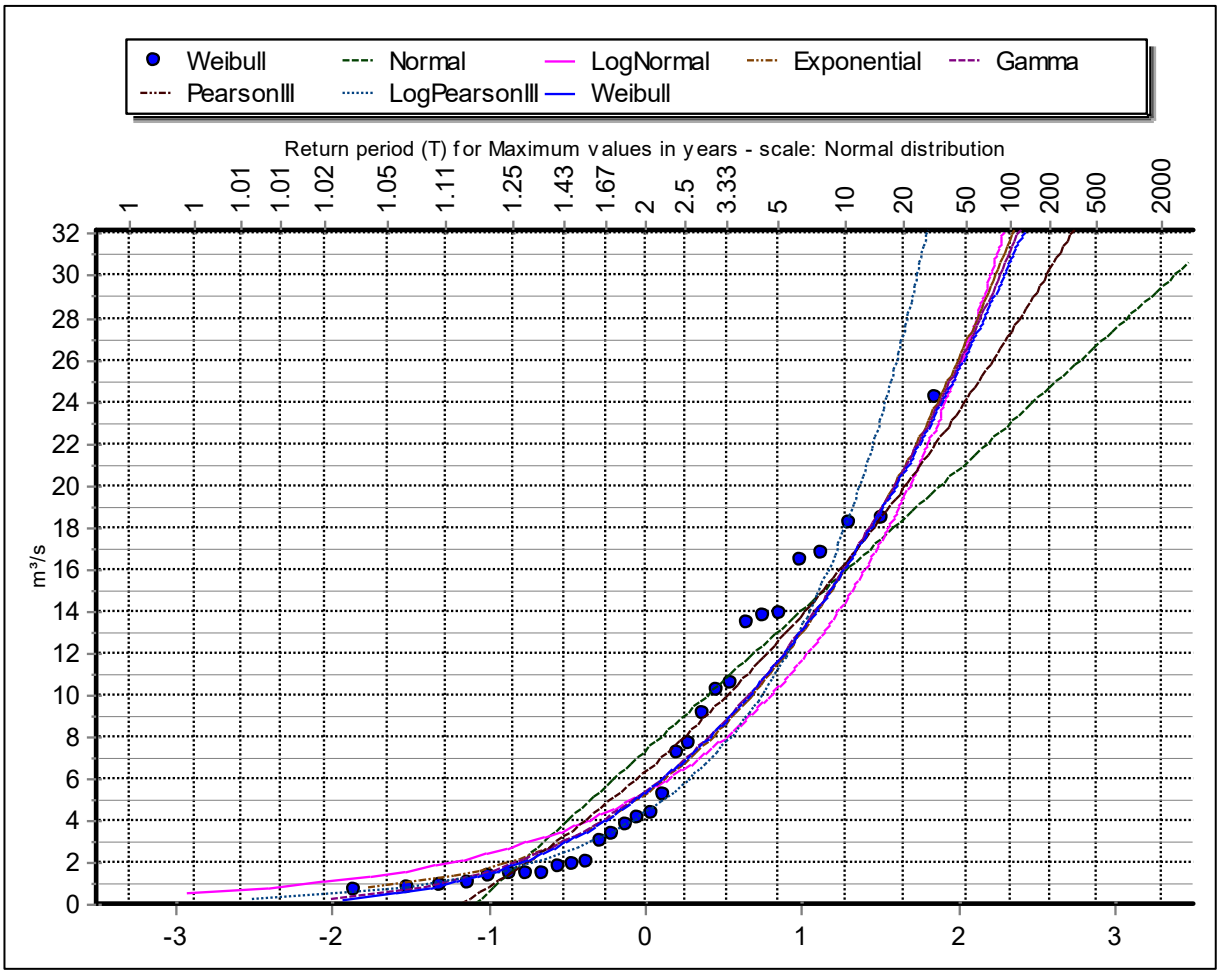
Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-13, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

c) Área aportante 3:

En la Figura 3-11 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-14 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-11. Análisis de frecuencia, Área aportante 3



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-14. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 3

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	21,26%	0,186
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	3,94%	0,249
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	37,17%	0,160
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	46,78%	0,148
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,35%	0,141
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	79,64%	0,111
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,18%	0,141

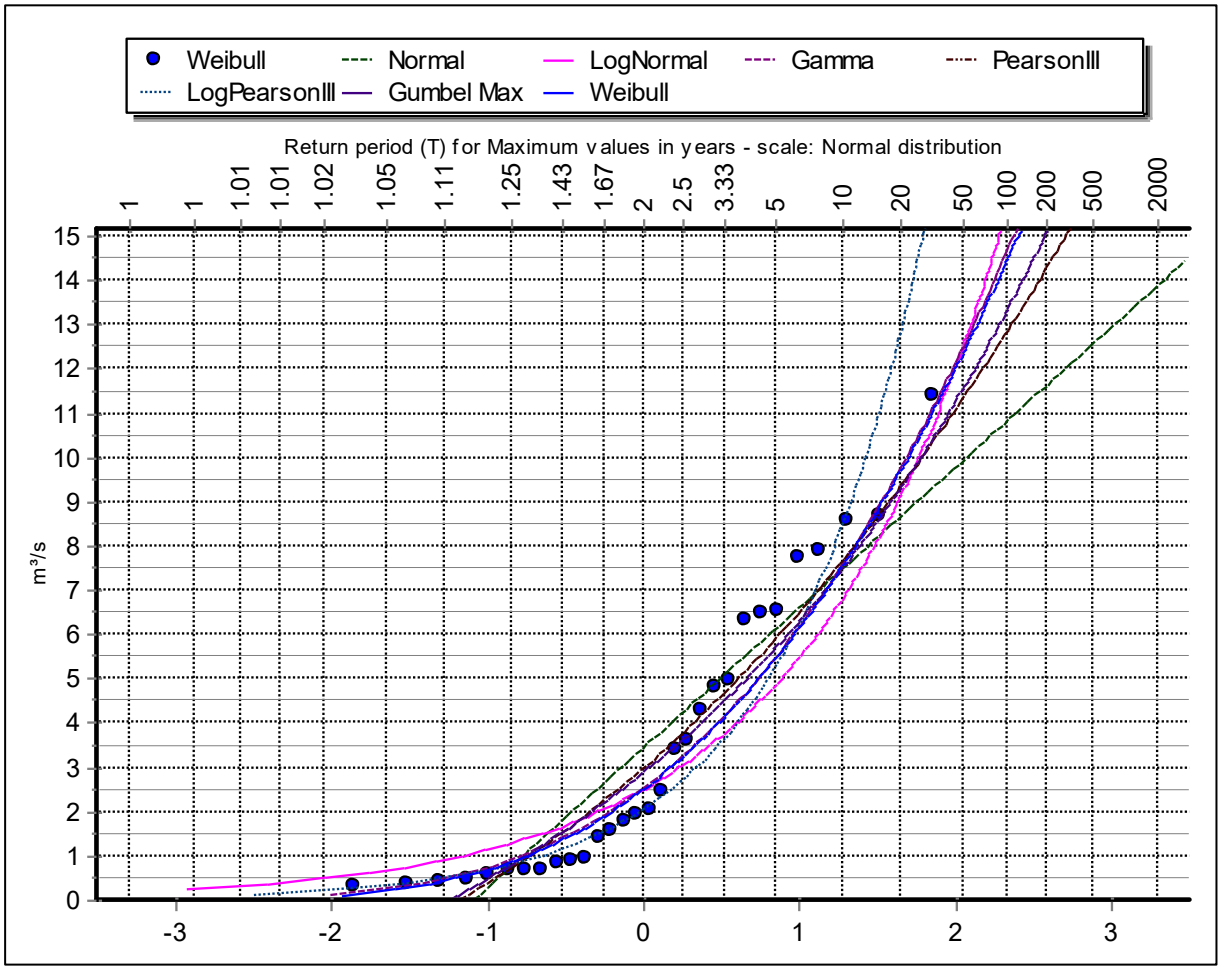
Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-14, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

d) <u>Área aportante 4:</u>

En la Figura 3-12 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-15 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-12. Análisis de frecuencia, Área aportante 4



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-15. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 4

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	21,24%	0,186
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	3,88%	0,249
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	36,91%	0,160
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	46,48%	0,148
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,35%	0,141
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	79,32%	0,111
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	51,85%	0,142

Fuente: Elaboración propia, 2025.

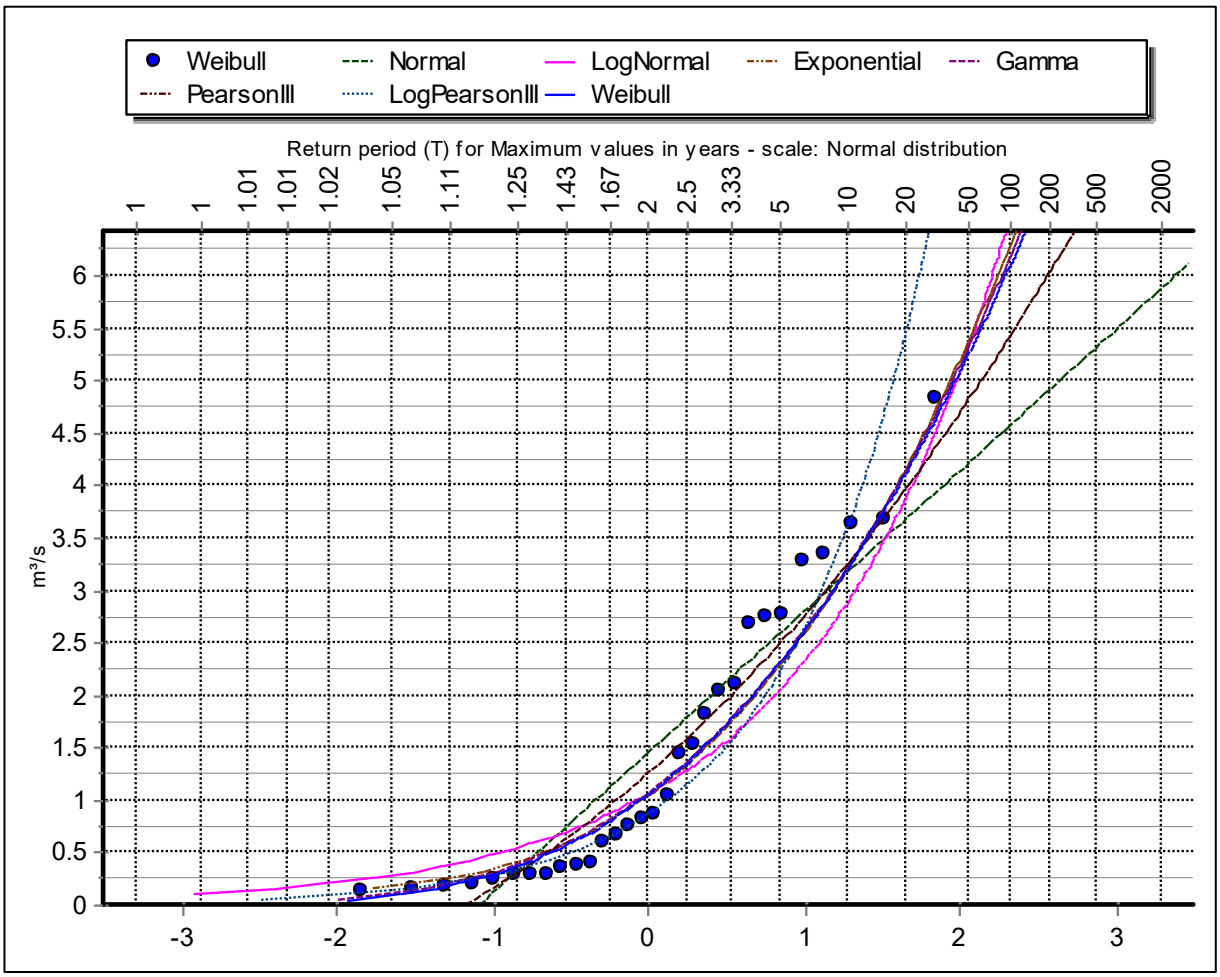
De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-15, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto,

para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

e) <u>Área aportante 5:</u>

En la Figura 3-13 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-16 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-13. Análisis de frecuencia, Área aportante 5



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-16. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 5

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	21,24%	0,186
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	4,01%	0,248
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	37,76%	0,159
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	47,30%	0,147
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,32%	0,141
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	80,91%	0,109

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,69%	0,141

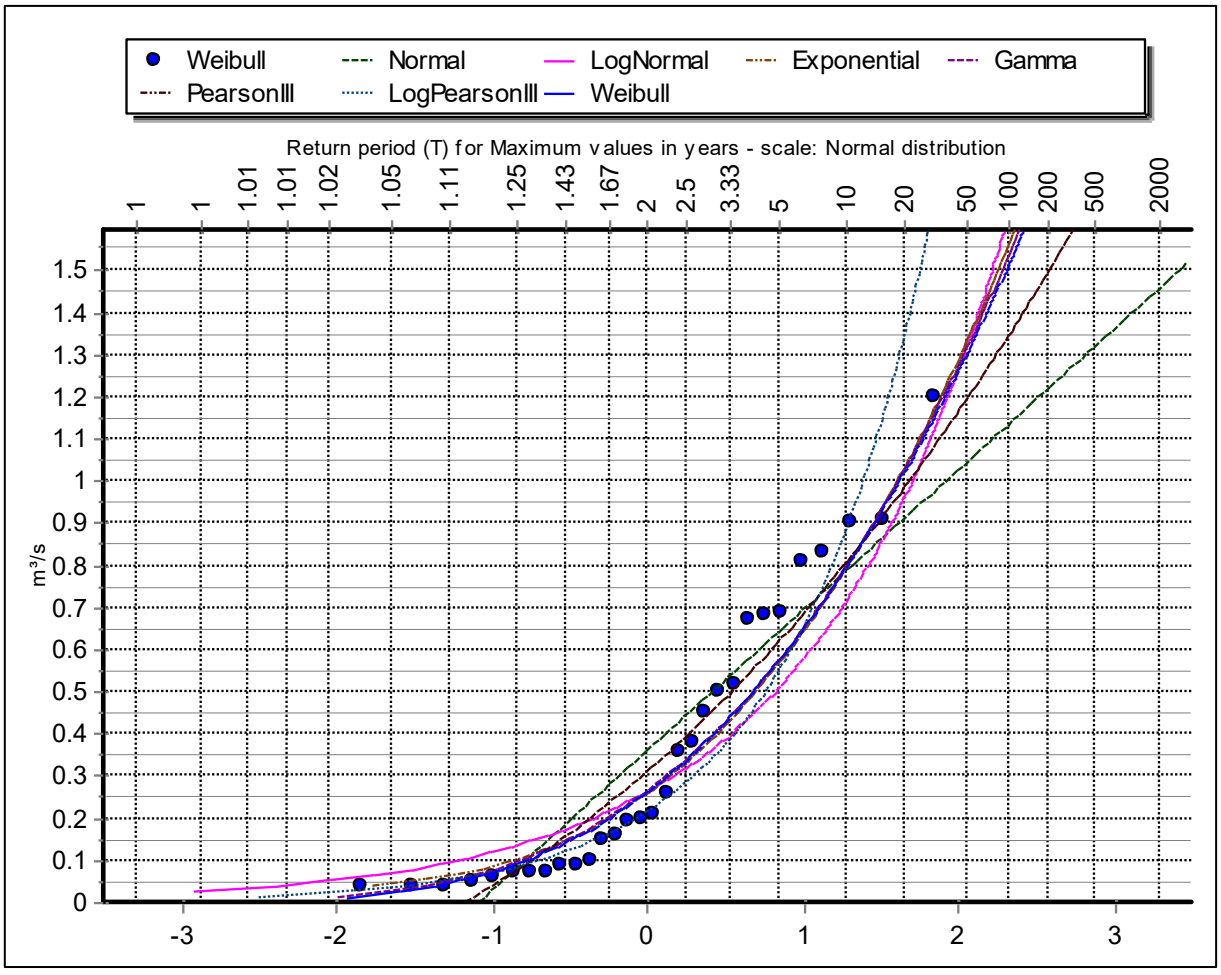
Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-16, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

f) <u>Área aportante 6:</u>

En la Figura 3-14 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-17 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-14. Análisis de frecuencia, Área aportante 6



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-17. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 6

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	19.51%	0.190

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	4.23%	0.246
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	39.04%	0.157
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	48.59%	0.145
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	48.61%	0.145
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	81.01%	0.109
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	54.02%	0.139

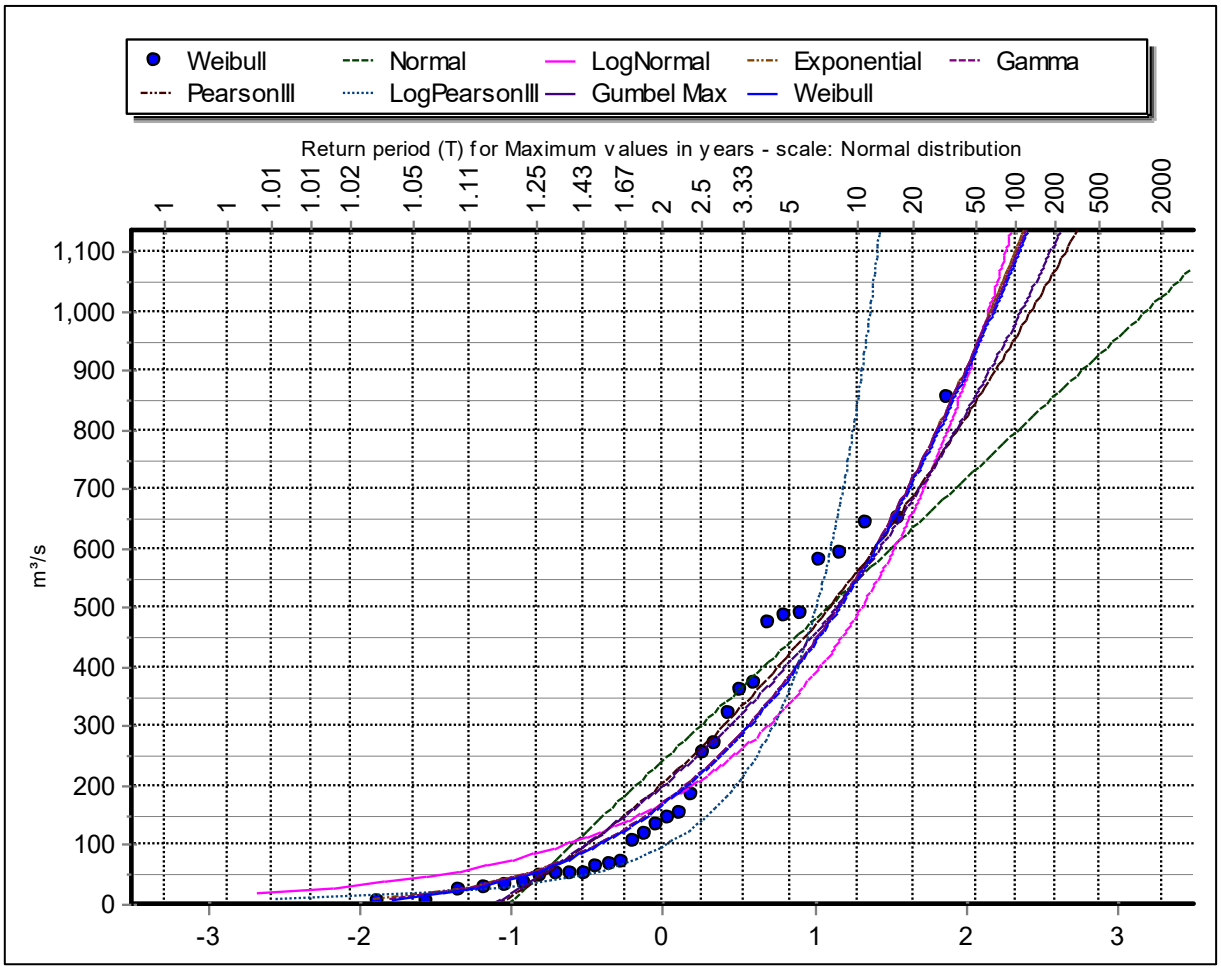
Fuente: Elaboración propia, 2025

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-17, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

g) Área aportante 7:

En la Figura 3-15 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-18 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-15. Análisis de frecuencia, Área aportante 7



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-18. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 7

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	21,18%	0,186
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	4,48%	0,244
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	40,50%	0,155
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	50,02%	0,144
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	52,19%	0,141
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	84,57%	0,105
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	55,49%	0,138

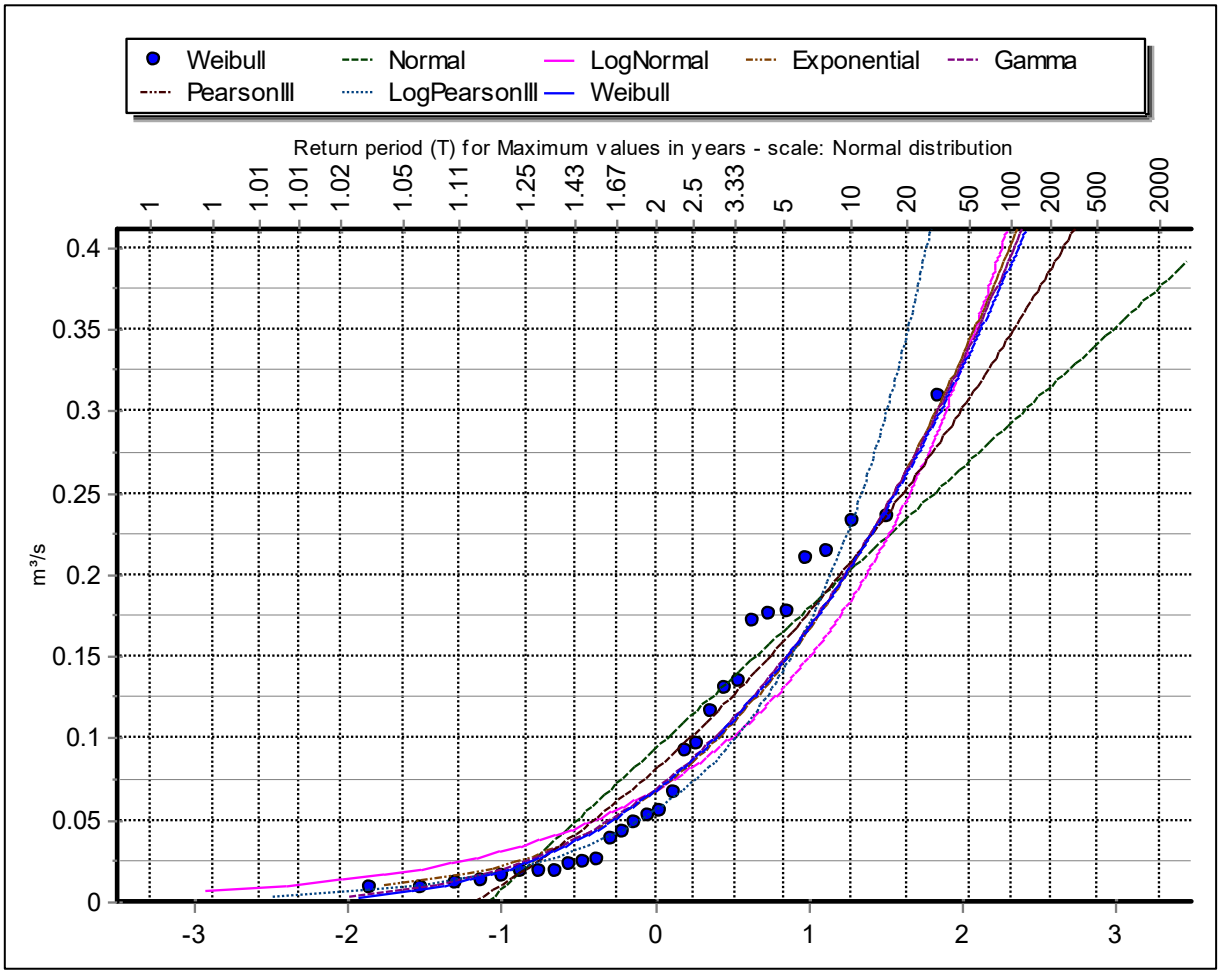
Fuente: Elaboración propia, 2025

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-18, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

h) <u>Área aportante 8:</u>

En la Figura 3-16 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-19 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-16. Análisis de frecuencia, Área aportante 8



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-19. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 8

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	20,69%	0,187
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	2,73%	0,260
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	27,32%	0,175
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	37,48%	0,159
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	50,59%	0,143
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	68,62%	0,123
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	42,85%	0,152

Fuente: Elaboración propia, 2025.

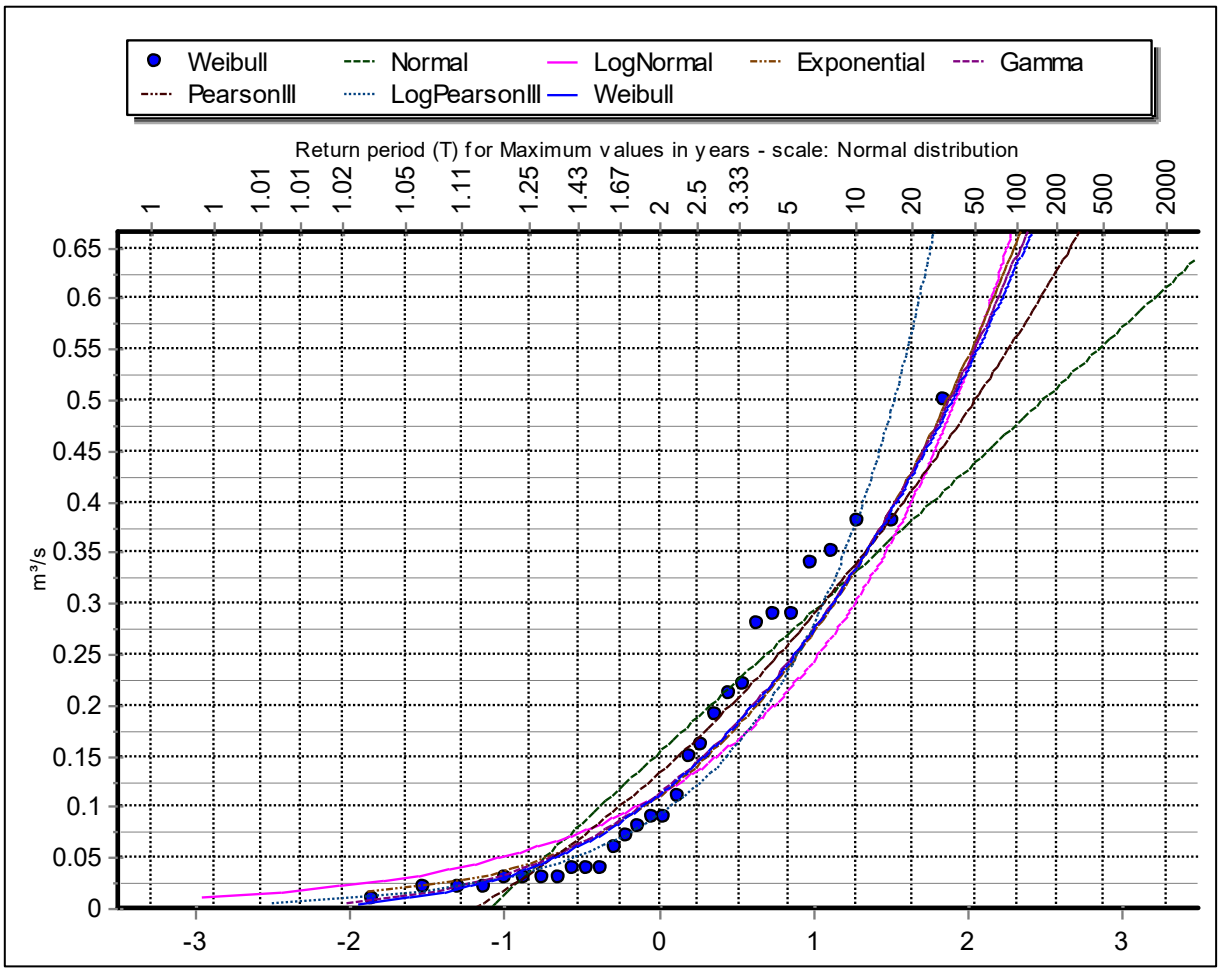
De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-19, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto,

para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

i) <u>Área aportante 9:</u>

En la Figura 3-17 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-20 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-17. Análisis de frecuencia, Área aportante 9



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-20. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 9

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Rechazado	8,36%	0,223
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	2,35%	0,265
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	31,26%	0,168
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	35,90%	0,162
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	25,80%	0,177
Log Pearson III	Aceptado	Rechazado	Rechazado	1,88%	0,272
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	39,19%	0,157

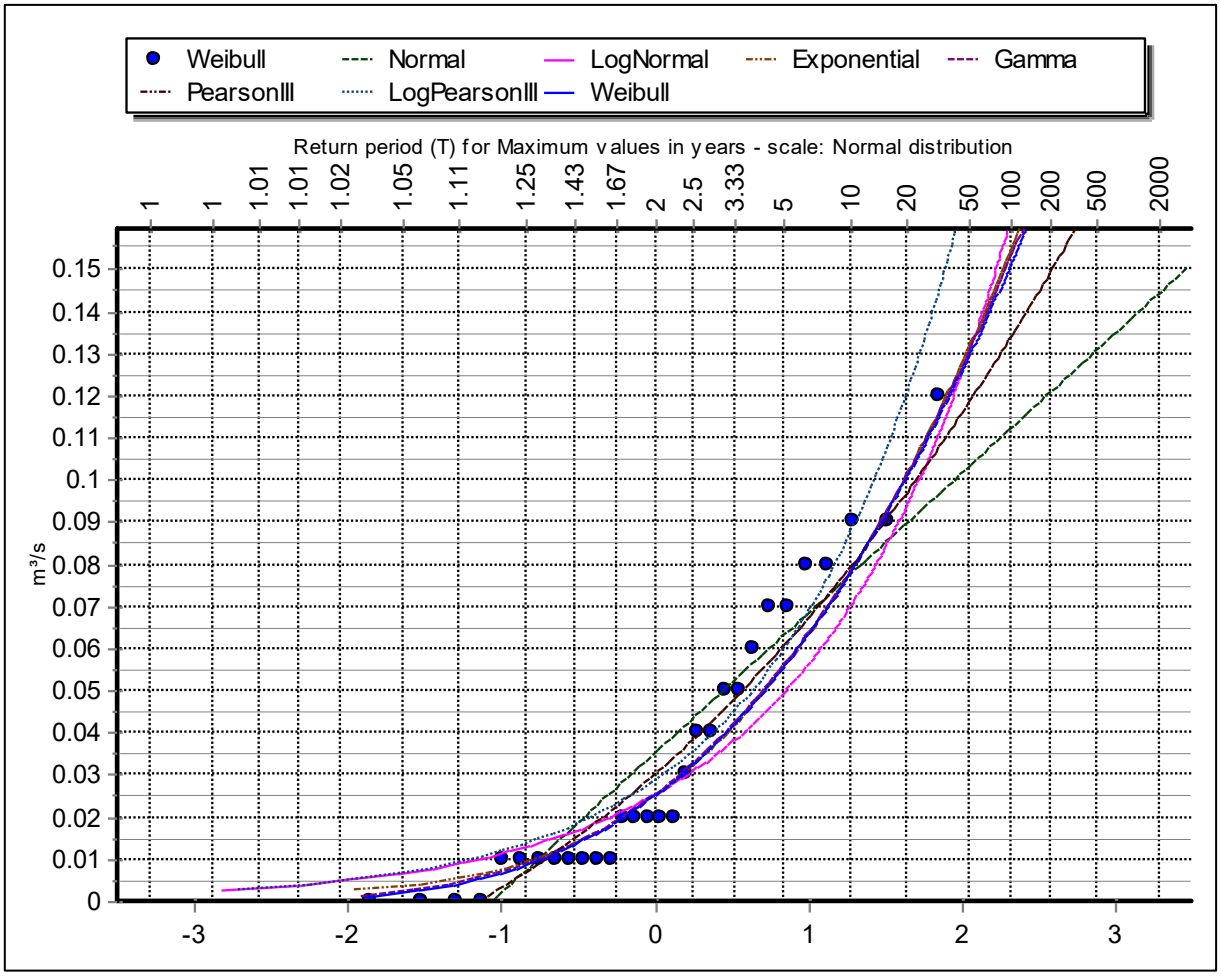
Fuente: Elaboración propia, 2025

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-20, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

j) Área aportante 10:

En la Figura 3-18 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-21 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-18. Análisis de frecuencia, Área aportante 10



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-21. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 10

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	23,95%	0,181
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	2,19%	0,267
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	24,98%	0,179

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	34,06%	0,164
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	56,88%	0,136
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	62,06%	0,130
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	38,71%	0,158

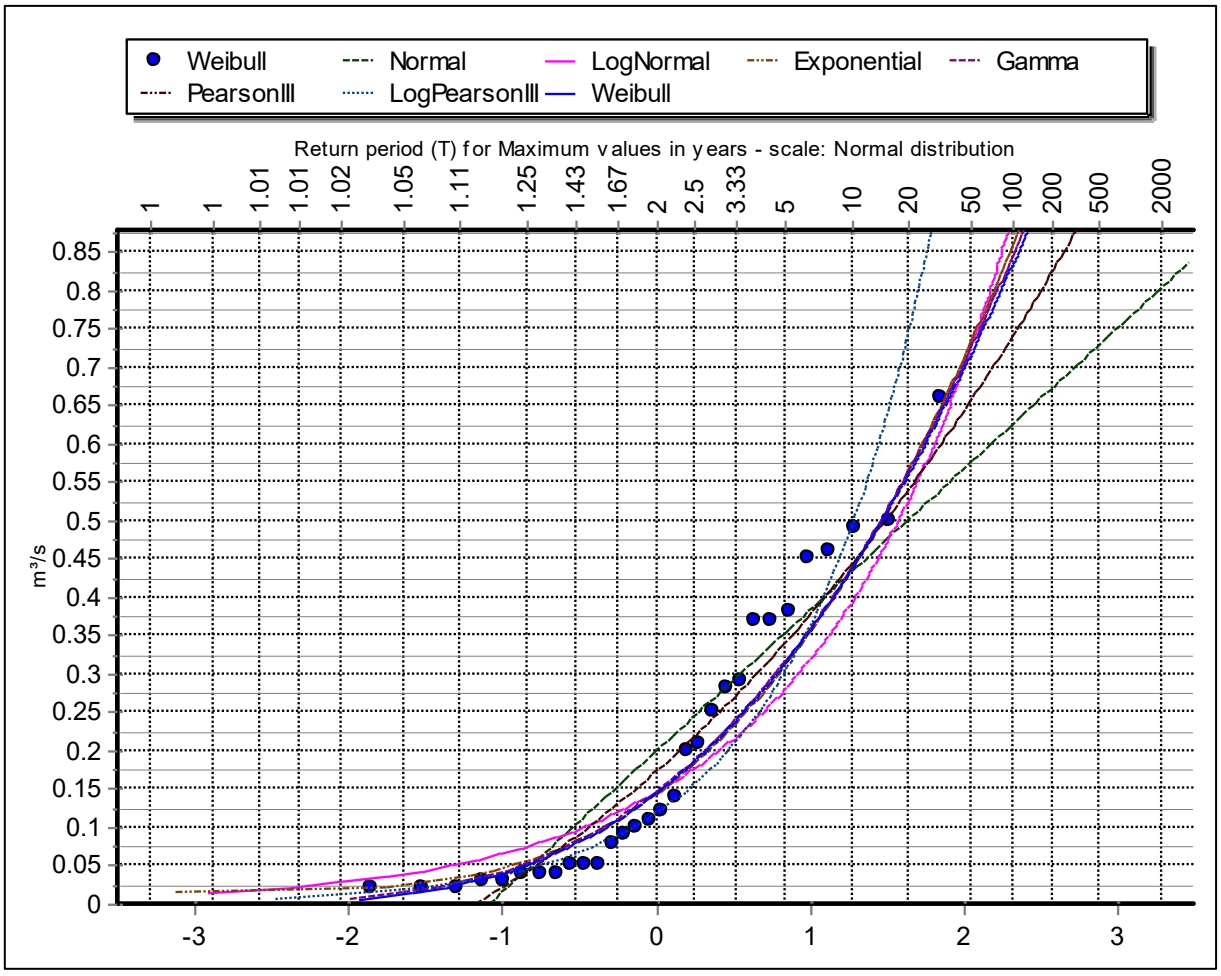
Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-21, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

k) <u>Área aportante 11:</u>

En la Figura 3-19 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-22 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-19. Análisis de frecuencia, Área aportante 11



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-22. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 11

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	21.50%	0.185
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	3.45%	0.253
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	34.08%	0.164
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	43.68%	0.151
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	53.81%	0.139
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	70.72%	0.121
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	48.95%	0.145

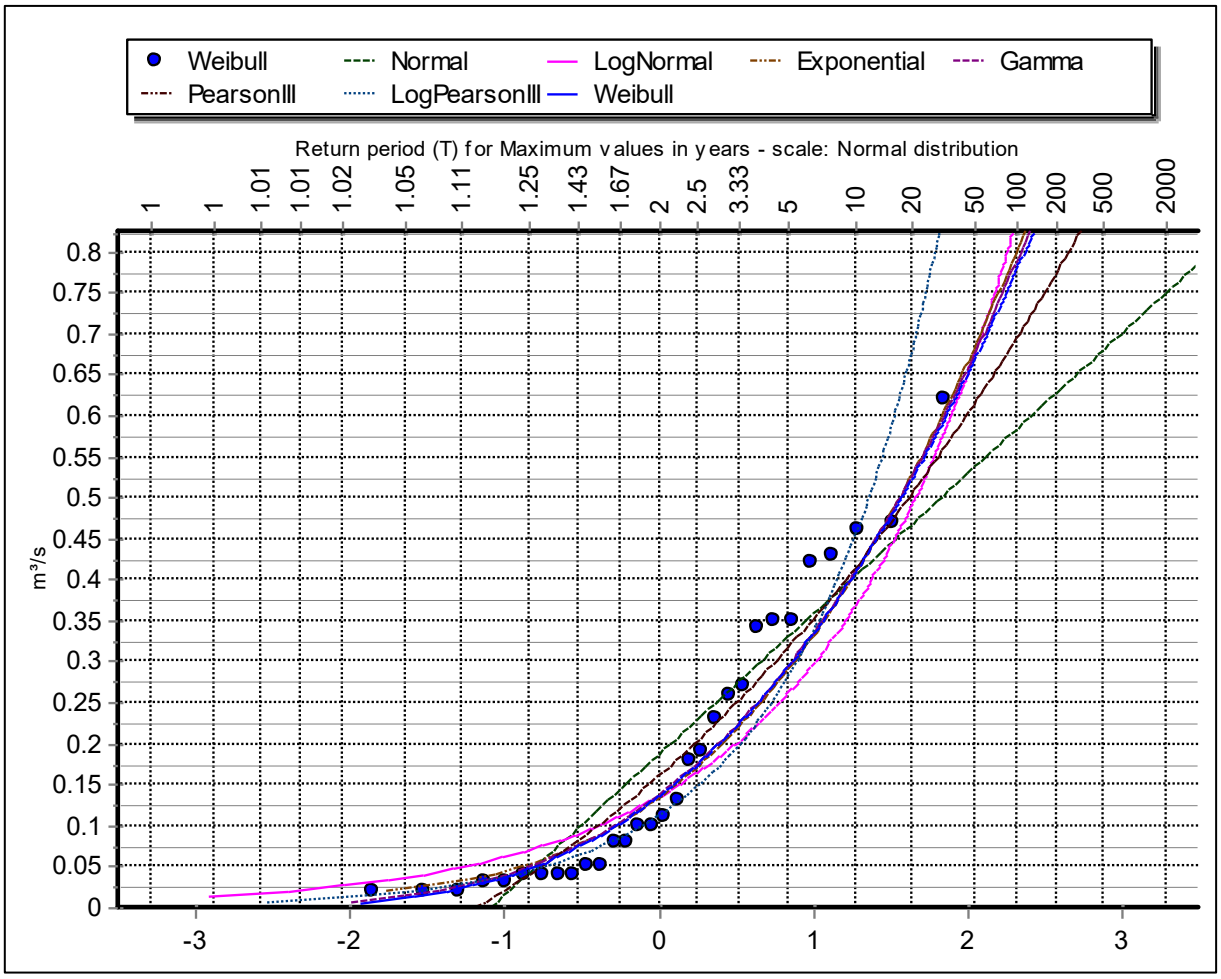
Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-22, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

I) <u>Área aportante 12:</u>

En la Figura 3-20 se muestra el análisis de frecuencia de estas distribuciones para la estación seleccionada y en la Tabla 3-23 se muestran los resultados de realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Figura 3-20. Análisis de frecuencia, Área aportante 12



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-23. Prueba de bondad Kolmogorov–Smirnov, Área aportante 12

Test Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Porcentaje	DMax
Normal	Aceptado	Aceptado	Aceptado	21.50%	0.185
Log Normal	Aceptado	Rechazado	Rechazado	3.45%	0.253
Exponencial	Aceptado	Aceptado	Aceptado	34.08%	0.164
Gamma	Aceptado	Aceptado	Aceptado	43.68%	0.151
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	53.81%	0.139
Log Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	70.72%	0.121
Weibull	Aceptado	Aceptado	Aceptado	48.95%	0.145

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3-23, la distribución de probabilidad Log Pearson III es la que presenta el mayor ajuste en comparación con las demás distribuciones analizadas, por lo tanto, para la estimación de caudales máximos se utilizará lo obtenido con esta distribución, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3-24.

3.5 RESULTADOS DE CAUDALES MÁXIMOS

3.5.1 Método directo para caudal máximo

Los resultados obtenidos para caudales máximos utilizando la metodología descrita en el acápite 2.1.4 se muestra en la Tabla 3-24.

Tabla 3-24. Resultados de caudal máximo, Transposición de caudales

T (años)		2	5	10	25	50	100
Caudal (m³/s)	Área 1	3,80	9,72	15,86	26,75	37,49	50,80
	Área 2	5,33	13,60	22,19	37,41	52,43	71,02
	Área 3	4,33	11,04	18,01	30,35	42,53	57,60
	Área 4	2,04	5,20	8,49	14,32	20,06	27,18
	Área 5	0,86	2,21	3,60	6,08	8,52	11,55
	Área 6	0,21	0,55	0,89	1,50	2,09	2,83
	Área 7	152,91	390,23	636,82	1073,56	1504,35	2037,70
	Área 8	0,06	0,14	0,23	0,39	0,55	0,74
	Área 9	0,09	0,23	0,38	0,64	0,90	1,21
	Área 10	0,03	0,06	0,08	0,11	0,13	0,15
	Área 11	0,12	0,30	0,49	0,84	1,18	1,60
	Área 12	0,11	0,28	0,45	0,76	1,06	1,43

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.2 Métodos indirectos para caudal máximo

Los resultados obtenidos para caudales máximos utilizando la metodología descrita en el acápite 2.1.5 se muestra en la Tabla 3-25 (cuencas con superficie menor a 20 km^2) y Tabla 3-26 (cuencas con superficie mayor a 20 km^2).

Tabla 3-25. Resultados de caudal máximo, Método Racional para cuencas pequeñas

T (años)		2	5	10	25	50	100
Caudal (m³/s)	Área 1	5,5	7,1	8,3	10,9	13,4	15,4
	Área 2	6,8	8,7	10,2	13,4	16,4	18,9
	Área 3	5,2	6,7	7,9	10,3	12,6	14,6
	Área 4	2,5	3,3	3,8	5,0	6,2	7,1
	Área 5	1,2	1,6	1,9	2,4	3,0	3,4
	Área 6	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,8
	Área 8	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
	Área 9	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	Área 10	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
	Área 11	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8
	Área 12	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3-26. Resultados de caudal máximo para área aportante 7

T (años)	Caudal (m³/s) para Área 7		
	Método DGA-AC	Método Verni y King Modificado	Método Racional
2	66,67	69,63	83,13
5	103,85	104,64	117,70
10	128,21	126,06	138,13
25	164,11	143,40	153,27
50	191,03	154,85	163,06
100	217,96	172,01	178,83

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para analizar cuál de los resultados se utilizará como caudal de diseño, primero se debe tener en consideración la escala de aplicación del método directo. Teniendo en consideración que el área aportante de la estación fluviométrica Rio Loanco en Desembocadura es aproximadamente 40 veces mayor que las áreas aportantes estudiadas, a excepción del área 7, es de esperar que se produzcan sobreestimaciones de los caudales resultantes en todas estas microcuencas, ya que la relación de áreas es demasiado grande, sumado a las variaciones en altitudes de cada microcuenca y al tipo de cobertura de los suelos.

Con este antecedente, se decide que los resultados del método directo solo serán aplicados para el área 7, dada su similitud con la cuenca aportante de la estación fluviométrica, mientras que para el resto de las áreas en estudio se utilizarán los resultados del método Racional.

3.5.3 Caudales máximos

En la Tabla 3.27 se muestran los valores de caudales utilizados para la modelación hidráulica.

Tabla 3.27. Resultados de caudal máximo

T (años)		2	5	10	25	50	100
Caudal (m³/s)	Área 1	5,5	7,1	8,3	10,9	13,4	15,4
	Área 2	6,8	8,7	10,2	13,4	16,4	18,9
	Área 3	5,2	6,7	7,9	10,3	12,6	14,6
	Área 4	2,5	3,3	3,8	5,0	6,2	7,1
	Área 5	1,2	1,6	1,9	2,4	3,0	3,4
	Área 6	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,8
	Área 7	152,91	390,23	636,82	1073,56	1504,35	2037,70
	Área 8	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
	Área 9	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	Área 10	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
	Área 11	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8
	Área 12	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1

Fuente: Elaboración propia, 2025