

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE CURVAS ENVOLVENTES DE
CAUDALES ESPECÍFICOS MÁXIMOS PARA EL ECUADOR**

**ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE CURVAS ENVOLVENTES PARA
LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESEMBOCAN HACÍA EL
OCÉANO PACÍFICO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
INGENIERÍA CIVIL**

FAUSTO ALEXIS BECERRA CHERREZ

fausto.becerra@epn.edu.ec

DIRECTOR: PhD. CARLOS SEBASTIÁN PÁEZ BIMOS

carlos.paezb@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, FAUSTO ALEXIS BECERRA CHERREZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

FAUSTO ALEXIS BECERRA CHERREZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por FAUSTO ALEXIS BECERRA CHERREZ, bajo mi supervisión.

CARLOS SEBASTIÁN PAEZ BIMOS PhD.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

FAUSTO ALEXIS BECERRA CHERREZ

PhD. CARLOS SEBASTIÁN PÁEZ BIMOS

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi guía constante y mi fuente de fortaleza en cada paso de este camino, le dedico este trabajo como expresión de gratitud por haberme concedido la sabiduría y la fuerza para llegar hasta aquí.

A mis padres, les dedico este trabajo con todo mi corazón, por su incondicional apoyo, por brindarme los recursos necesarios y por creer en mí desde el principio. Su confianza y amor han sido mi mayor inspiración.

A mi hermana, con profundo agradecimiento, pues su presencia y alegría han iluminado mi camino en los momentos más difíciles. Sin sus risas y su apoyo, este camino habría sido mucho más difícil de transitar.

A Maybelline, como muestra de mi amor y agradecimiento por estar siempre a mi lado, sobre todo en esta etapa, brindándome amor, ánimo y apoyo incondicional. Su presencia ha sido una enorme motivación para no rendirme jamás.

A mis abuelitos, tíos y primos, les dedico este trabajo con cariño y reconocimiento, por su constante apoyo y orgullo. Su amor y aliento han sido un motor fundamental en mi camino hacia el éxito.

Este logro no solo es mío, sino también de quienes me han acompañado y apoyado en este viaje. A todos ustedes, les dedico este trabajo con profundo cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por su constante guía y fortaleza que me han acompañado en cada paso de este camino. Asimismo, deseo agradecer a mi familia por su comprensión y apoyo incondicional a lo largo de esta travesía. También estoy agradecido con mis profesores por compartirme sus enseñanzas y brindarme su amistad. A mis amigos Kevin, Ili y Alexis, que durante este proceso hemos crecido y nos hemos formado juntos. Además, quiero expresar mi gratitud al Ing. Sebastián Páez, mi tutor en este trabajo, por su entrega desde el inicio de este estudio. Su conocimiento me ha permitido aprender muchas cosas y su apoyo ha sido fundamental para mi crecimiento profesional. Sin su iniciativa, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Alcance	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Curvas de descarga.....	4
1.4.2 Diagrama de caja y bigotes	5
1.4.3 Incertidumbre en caudales.....	5
1.4.4 Series máximas anuales (AMS).....	6
1.4.5 Método de Grubbs-Beck.....	6
1.4.6 Ajuste de distribución de frecuencias.....	6
1.4.7 Distribución logarítmica normal.....	7
1.4.8 Distribución de Gumbel	8
1.4.9 Distribución Pearson III.....	8
1.4.10 Distribución Log Pearson III	9
1.4.11 Método de momentos ordinarios.....	10
1.4.12 Método de momentos ponderados.....	10
1.4.13 Análisis de bondad de ajuste	11
1.4.13.1 Test de Kolmogorov – Smirnov	11
1.4.13.2 Prueba de Chi – Cuadrado (x^2).....	12
1.4.14 Periodo de retorno	13
1.4.15 Curvas envolventes	13
1.4.15.1 Envolvente de Creager	13

1.4.15.2	Envolvente de Lowry	14
1.4.16	Correlación de Spearman	14
1.4.16.1	Coeficiente de correlación de Spearman	14
2	METODOLOGÍA.....	16
2.1	Zona de estudio	16
2.2	Metodología	19
2.2.1	Recopilación de información.....	20
2.2.2	Generación de ecuación de curvas de descarga	22
2.2.3	Aplicación de las curvas de descarga generadas	23
2.2.4	Obtención de AMS.....	24
2.2.5	Ajuste de distribución de frecuencias y pruebas de bondad de ajuste ..	25
2.2.6	Elaboración de curvas envolvente de caudales máximos observados y de periodos de retorno.....	25
2.2.7	Análisis de las propiedades físicas de la cuenca vs caudales máximos	26
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
3.1	Resultados	27
3.1.1	Ecuaciones curvas de descarga	27
3.1.2	Aplicación de ecuación de curvas de descarga	39
3.1.3	Series máximas anuales.....	42
3.1.4	Ajuste de distribución de frecuencias y pruebas de bondad de ajuste ..	45
3.1.5	Elaboración de curvas envolvente de caudales máximos observados y de periodos de retorno.....	48
3.1.5.1	Caudales máximos observados.....	48
3.1.5.2	Caudales periodo de retorno	49
3.1.6	Análisis de las propiedades físicas de la cuenca vs caudales máximos	54
3.2	Discusión	56
3.3	Conclusiones	60
3.4	Recomendaciones	61
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
5	ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geográfico de las estaciones hidrométricas que desembocan en el Océano Pacífico.....	16
Figura 2. Flujograma de la metodología para elaborar curvas envolventes	19
Figura 3. Ajustes adecuados de curvas de descarga	28
Figura 4. Ajustes con datos dispersos de curvas de descarga	28
Figura 6. Series máximas anuales con comportamiento similar entre ciertas estaciones.....	43
Figura 7. Series máximas anuales con comportamiento diferente entre ciertas estaciones.....	44
Figura 8. Series máximas anuales con datos dispersos o insuficientes.....	44
Figura 9. Curva envolvente de caudales máximos. Los puntos de color negro indican los caudales máximos y los puntos de color gris indican un rango del cuál se espera esté el verdadero caudal máximo de la estación	48
Figura 10. Curva envolvente de caudales unitarios para un TR de 25 años. Los puntos de color negro indican los caudales máximos y los puntos de color gris indican un rango del cuál se espera esté el verdadero caudal máximo de la estación	51
Figura 11. Curva envolvente de caudales unitarios para un TR de 50 años. Los puntos de color negro indican los caudales máximos y los puntos de color gris indican un rango del cuál se espera esté el verdadero caudal máximo de la estación	52
Figura 12. Curva envolvente de caudales unitarios para un TR de 100 años. Los puntos de color negro indican los caudales máximos y los puntos de color gris indican un rango del cuál se espera esté el verdadero caudal máximo de la estación	53
Figura 13. Correlación de Spearman de propiedades físicas de las cuencas versus caudales	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de cuencas hidrológicas que drenan hacia el Océano Pacífico	17
Tabla 2. Parámetros físicos proporcionados por el INAMHI	20
Tabla 3. Propiedades físicas para relacionar con los caudales máximos ..	21
Tabla 4. Coeficientes de las ecuaciones de curvas de descarga generadas y proporcionadas por el INAMHI.....	30
Tabla 5. Obtención de caudales máximos, promedios y cuantiles	40
Tabla 6. Caudales máximos, promedios y cuantiles	40
Tabla 7. Prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov	46
Tabla 8. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov con pocos valores	47
Tabla 9. Estaciones con caudales unitarios atípicos	49
Tabla 10. Caudales para 25, 50 y 100 años de periodo de retorno.....	49
Tabla 11. Gastos máximos observados en el mundo	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Imágenes de curvas de descarga para las estaciones trabajadas	67
Anexo 2. Valores de altura atípicos eliminados.....	16
Anexo 3. Valores de caudal atípicos eliminados	19
Anexo 4. Imágenes de ajuste de distribución de frecuencias	20
Anexo 5. Imágenes de ajuste de distribución de frecuencias	24
Anexo 6. Descargar información de la textura del suelo	29
Anexo 7 . Script generación de ecuaciones de curvas de descarga.....	30
Anexo 8. Script Aplicación de ecuaciones de curvas de descarga	40
Anexo 9. Script ajuste de distribución de frecuencia y pruebas de bondad de ajuste	46
Anexo 10. Script curvas envolventes	60
Anexo 11. Script propiedades físicas	64

RESUMEN

El estudio se enfoca en abordar la necesidad crítica de anticipar y mitigar los impactos derivados de eventos hidrológicos adversos, una tarea que se aborda mediante un minucioso análisis de los caudales máximos provistos por el INAMHI. Este análisis se destaca por su relevancia para comprender el comportamiento hidrológico, enfatizando la importancia de estimar curvas de descarga como herramienta fundamental. Sin embargo, esta tarea se ve condicionada por la necesidad de contar con una cantidad suficiente de datos para garantizar una estimación precisa. Una parte crucial de este proceso implica la identificación de valores atípicos y la generación de curvas envolventes locales específicamente diseñadas para las cuencas que desembocan en el Océano Pacífico. Estas curvas tienen como objetivo evaluar la consistencia de los caudales registrados y proporcionar una referencia para futuros análisis. En términos metodológicos, el estudio se basa en la aplicación de una serie de ajustes de distribuciones comúnmente utilizadas, como Gumbel, Log-Normal, Pearson III y Log Pearson III, a los datos de caudales máximos anuales recopilados de diversas estaciones de estudio. La selección del ajuste más adecuado se lleva a cabo mediante rigurosas pruebas de bondad de ajuste, que incluyen tanto la prueba de Chi Cuadrado como la de Kolmogorov-Smirnov. Los resultados obtenidos revelan relaciones significativas entre las propiedades físicas de las cuencas y los caudales máximos registrados, lo que pone de relieve la dificultad natural al sistema hidrológico y la necesidad de considerar múltiples variables en el análisis para una comprensión integral y precisa.

PALABRAS CLAVE: Eventos hidrológicos, curvas de descarga, INAMHI, Series máximas anuales, Ecuador, ajuste de distribución de frecuencia.

ABSTRACT

The study focuses on addressing the critical need to anticipate and mitigate the impacts of adverse hydrological events, a task tackled through a thorough analysis of maximum flows provided by the INAMHI. This analysis is underscored by its relevance in understanding hydrological behavior, emphasizing the importance of estimating rating curves as a fundamental tool. However, this task is conditioned by the need for a sufficient amount of data to ensure precise estimation. A crucial part of this process involves identifying outliers and generating local envelope curves specifically designed for basins that drain into the Pacific Ocean. These curves aim to assess the consistency of the recorded flows and provide a reference for future analyses. Methodologically, the study is based on the application of a series of adjustments of commonly used distributions, such as Gumbel, Log-Normal, Pearson III, and Log Pearson III, to the data of annual maximum flows collected from various study stations. The selection of the most appropriate fit is carried out through rigorous goodness-of-fit tests, including both the Chi-Square and Kolmogorov-Smirnov tests. The results obtained reveal significant relationships between the physical properties of the basins and the recorded maximum flows, highlighting the inherent complexity of the hydrological system and the need to consider multiple variables in the analysis for a comprehensive and accurate understanding.

KEYWORDS: Hydrological events, rating curves, INAMHI, annual maximum series, Ecuador, frequency distribution fitting.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Los caudales máximos desempeñan un papel crucial en cuanto a la administración de los recursos hídricos, es fundamental considerar que su magnitud y frecuencia tienen un impacto significativo para el diseño de infraestructura (Departamento de medio ambiente y desarrollo sostenible, 2011), vinculadas a niveles específicos de probabilidad de excedencia y expresadas como periodos de retorno en años (Campos-Aranda, 2022). Los eventos extremos como inundaciones y erosiones representan un problema ya que afectan tanto a la población como a la economía (Medina & Muñoz, 2020).

Por lo tanto, resulta fundamental para los expertos en la materia comprender a fondo las características de la cuenca con el objetivo de anticipar y mitigar los posibles eventos que puedan ocurrir. De esta manera, se busca prever y minimizar los daños en áreas que podrían ser vulnerables. (McGill, 2020)

Las curvas de descarga son herramientas esenciales para comprender el comportamiento de las cuencas hidrográficas y su relación con los caudales máximos. Estas curvas representan gráficamente la relación entre el caudal y la altura, proporcionando información significativa sobre la respuesta hidrológica de la cuenca frente a diferentes eventos (Villegas, 2011).

Cuando se trata de cuencas sin datos aforados, la estimación de crecientes de diseño presenta desafíos, ya que el análisis de frecuencia, que utiliza modelos probabilísticos para proyecciones, no es aplicable en estas circunstancias (Campos-Aranda, 2022). En estos casos, el método de las curvas envolventes se presenta como una alternativa confiable. Aunque su desventaja reside en su dependencia de registros históricos, requiriendo actualizaciones regulares para mantener su relevancia y utilidad (Vera, 2022)

Una curva envolvente es un gráfico que muestra la relación entre un área específica y un periodo de retorno correspondiente. Estas curvas se derivan de datos hidrológicos y representan límites superiores o inferiores de eventos hidrológicos, como crecidas, para diferentes períodos de ocurrencia. Los coeficientes de ajuste asociados a estas curvas determinan su comportamiento y pueden ser empleados tanto en el prediseño de obras hidráulicas pequeñas como en la toma de decisiones para la gestión de inundaciones (Orrala Vera, 2022).

En 1976, como parte del Programa Hidrológico Internacional (PHI), la UNESCO publicó el catálogo mundial de avenidas máximas, recopilando datos de 34 países. Posteriormente, la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas (IAHS) tomó la iniciativa de mejorar y

ampliar este trabajo. La colaboración entre PHI/UNESCO resultó en el Catálogo mundial de avenidas máximas observadas en 1984, que incluyó información de 95 países y ajustó los datos a la curva envolvente propuesta por Francou y Rodier (Ramírez Orozco et al., 2005).

En 1994, se estableció el Comité de Presas y Avenidas de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) para revisar las avenidas de diseño en presas importantes. Es importante destacar que Rodier y Roche recomendaron actualizar la base de datos cada veinte años, reconociendo la creciente dificultad de ampliar el catálogo debido a las modificaciones antropogénicas en los ríos (Ramírez Orozco et al., 2005).

Sin embargo, en el contexto ecuatoriano, la disponibilidad de información sobre curvas envolventes es limitada. La falta de datos específicos ha llevado a la necesidad de desarrollar curvas envolventes locales. Para abordar esta situación, se prevé colaborar con el INAMHI, ya que poseen datos necesarios para poder realizar el trabajo, como curvas de descarga y niveles de estaciones. Esta colaboración permitirá la generación de curvas envolventes locales, una herramienta importante para estudios de gran alcance y una primera estimación del potencial de generación de avenidas en el contexto nacional y en este caso específicamente con las cuencas hidrológicas que desembocan en el Océano Pacífico, pues, en Ecuador, el estudio de las cuencas hidrográficas es un desafío debido a la diversidad de condiciones climáticas y geográficas que caracterizan a este país. La variabilidad de los caudales en una cuenca está influenciada por una serie de factores, como el uso del suelo, la litología, el área de la cuenca, la pendiente media del terreno, el coeficiente de compacidad, entre otros (Gordillo & Pineda, 2021). Cabe mencionar que estas curvas locales no son recomendables para el diseño definitivo de obras hidráulicas, pero ofrecerán una aproximación más precisa en ausencia de datos globales suficientes (Orrala Vera, 2022).

1.1 Objetivo general

Realizar la estimación y análisis de las curvas envolventes de caudales específicos máximos para las cuencas hidrológicas que desembocan en el Océano Pacífico.

1.2 Objetivos específicos

1. Obtener y validar información del INAMHI relacionada con las curvas de descarga y los niveles máximos.
2. Elaborar curvas envolventes que representen de manera gráfica y cuantitativa la relación entre el caudal máximo específico (observado y para diferentes períodos de retorno) y el área para diversas cuencas hidrológicas.
3. Realizar un análisis de la relación entre variables físicas de las cuencas y caudales máximos registrados, permitiendo así, identificar patrones, tendencias y posibles influencias de estas variables en el comportamiento hidrológico.

1.3 Alcance

El análisis principal se enfoca en las estaciones hidrológicas en relación con las diversas cuencas de Ecuador y así, realizar un análisis de la relación entre las estaciones y las cuencas hidrológicas. Estas cuencas se dividen en dos grupos: aquellas que desembocan en el océano Pacífico, que serán objeto de estudio en este componente, y aquellas que desembocan en la cuenca del Amazonas. Esta división por cuencas fluviales se justifica debido a que la proximidad o similitud entre estas cuencas desempeña un papel importante en la ejecución exitosa de las envolventes (Biondi et al., 2022). Además de esta división, se realizará la selección de cuencas en base a la información proporcionada por el INAMHI.

El análisis de las curvas de descarga del INAMHI resalta la importancia de detectar valores atípicos, utilizando el diagrama de caja y la metodología Grubbs-Beck. Las series de caudales se derivarán de las series de niveles, con atención a la incertidumbre. Las fórmulas de envolventes como Creager, Creager con coeficiente mexicano y Lowry establecerán límites superiores para los caudales máximos, facilitando la toma de decisiones en la planificación de infraestructuras y acciones de reducción de riesgos.

1.4 Marco teórico

Las obras hidráulicas y la prevención de eventos adversos se fundamentan en las crecidas máximas de diseño, las cuales están vinculadas a un periodo de retorno que, en la práctica hidrológica, se establece en intervalos de 25, 50 y 100 años. Este periodo representa la

frecuencia media de ocurrencia de un evento igual o superior y facilita la delimitación de áreas propensas a inundaciones (Campos-Aranda, 2022). Por tanto, la generación de curvas envolventes resulta crucial.

Sin embargo, en Ecuador nos enfrentamos a una limitación de datos que obstaculiza la elaboración de estas curvas. A pesar de ello, con el respaldo del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) en la provisión de información hidrológica, es factible revisar y desarrollar curvas envolventes para las cuencas hidrográficas que desembocan en el Océano Pacífico. La aplicación de cierta bibliografía especializada garantizará la obtención de resultados confiables en este proceso.

1.4.1 Curvas de descarga

La curva de descarga establece la relación entre los niveles de agua medidos in situ y los caudales correspondientes. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos registros pueden verse afectados por diversos factores adversos, como cambios en la morfología del río o aumentos repentinos en los niveles de agua durante la toma de datos. Por tanto, es importante realizar mediciones en suficientes puntos y a lo largo del tiempo del día para poder garantizar que la curva de descarga abarque un amplio rango de niveles de agua (Tacuri, 2023).

La obtención de la fórmula matemática que describe la curva de caudal de un cauce es importante para establecer adecuadamente su estadística pluviométrica. En el caso de que las condiciones del cauce en la zona de medición de caudales sean estables (Quintana, 2000), se espera que exista una función del siguiente tipo :

$$Q = f(h)$$

Ecuación 1: Función del gasto con el nivel de agua

Fuente: (Quintana, 2000)

La función en cuestión debe satisfacer ciertas condiciones, tales como aumentar con respecto a h , y ser tangente al eje h en un punto h_0 que corresponda a $Q=Q_0$ y que sea una parábola en el eje horizontal (Quintana, 2000), de esta forma:

$$Q = a \cdot (h - h_0)^b$$

Ecuación 2: Curva de descarga

Fuente: (Quintana, 2000)

Donde:

Q: Caudal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

h: Lectura correspondiente del aforo

h_0 : Lectura de la regla par $Q = 0$

b: Exponente numérico que determina el grado de la curva

a: Gasto del cauce cuando $(h-h_0) = 1$

1.4.2 Diagrama de caja y bigotes

La gráfica de caja, también denominada diagrama de caja y bigotes, es una herramienta visual que muestra la distribución de los datos, empleada para realizar análisis sobre la información que está siendo examinada. Este esquema consta con varios elementos, incluyendo el valor mínimo, los cuartiles (Q_1 , Q_2 , Q_3), y el valor máximo, los cuales dividen los datos en cuatro grupos. Además de mostrar la distribución de los datos, con énfasis en la mediana y los cuartiles, también proporciona información sobre posibles valores atípicos. La distancia intercuartílica (IQR), es decir, la discrepancia entre el tercer cuartil y el primer cuartil, se utiliza para identificar cualquier valor potencialmente atípico, representado por puntos fuera de los 'bigotes' del gráfico (Gómez et al., 2019).

La representación gráfica a través de diagramas de caja y bigotes no tiene como objetivo proporcionar una prueba formal de valores extremos, sino que se emplea como una herramienta de diagnóstico. La identificación de qué observaciones son consideradas como valores extremos puede variar dependiendo del software utilizado, pero comúnmente se emplea un múltiplo del rango intercuartil para este propósito (Walpole et al., 2012).

1.4.3 Incertidumbre en caudales

“Estimación del rango de valores entre los que se encuentra el valor verdadero de una variable” (Organización Meteorológica Mundial, 2021), es importante en la medición de caudales, donde se enfrenta una incertidumbre inherente debido a diversas fuentes, como errores de medición, variabilidad natural en el flujo del agua y condiciones cambiantes del entorno. En el contexto de la hidrología, donde se evalúan los cursos fluviales y masas hídricas, es importante considerar esta incertidumbre para garantizar la precisión de las estimaciones. Las estimaciones del rango de valores se presentan como valores absolutos, sin asignarles un signo positivo o negativo, lo que refleja la naturaleza de la incertidumbre asociada a la medición.

1.4.4 Series máximas anuales (AMS)

En el análisis de valores extremos, existen dos enfoques principales: el método de series de valores máximos anuales (AMS) y el método de series de duración parcial (PDS). La diferencia fundamental entre estos enfoques radica en cómo se determina la región de valores extremos: el método de PDS considera todas las ocurrencias que superan un umbral predeterminado, mientras que el método de AMS se enfoca únicamente en el máximo anual de cada año dentro de la serie temporal. La exactitud en la estimación de eventos extremos, en ambos enfoques, está estrechamente relacionada con la disponibilidad de datos en el lugar de interés. Históricamente, se ha preferido el uso del método AMS en la investigación. (O. Eduardo & Planos Gutiérrez, 2015).

1.4.5 Método de Grubbs-Beck

El método de Grubbs y Beck (1972), es una herramienta utilizada para identificar valores atípicos en conjuntos de datos. Se basa en el cálculo de dos cantidades, x_H y x_L , mediante las siguientes ecuaciones:

Método de Grubbs Beck
$X_H = \exp(\bar{x} + k_N s)$
$X_L = \exp(\bar{x} - k_N s)$
$k_N = -3.62201 + 6.28446N^{\frac{1}{4}} - 2.49835N^{\frac{1}{2}} + 0.491436N^{\frac{3}{4}} - 0.037911N$

Ecuación 3: Método de Grubbs Beck

Fuente: (Ramachandra & Hamed, 2000)

Estos valores son utilizados para determinar si un valor de muestra es un valor atípico alto o bajo en relación con el conjunto de datos, los valores de muestra que superan x_H se consideran valores atípicos altos, mientras que aquellos que son menores que x_L se consideran valores atípicos bajos (Ramachandra & Hamed, 2000).

1.4.6 Ajuste de distribución de frecuencias

En obras hidráulicas, es esencial determinar el caudal máximo de diseño, también conocido como crecida de diseño en términos hidrológicos. Esto es importante tanto para el diseño de las obras como para la organización y la utilización de los recursos de agua. Sin embargo, el experto no solo debe estimar estos valores de diseño, sino también

proporcionar información sobre la probabilidad de que sean excedidos. Esto para garantizar la seguridad operativa de la obra o evaluar el riesgo de fallo (Varas & Bois, 1998). A continuación, se describen funciones matemáticas que satisfacen con la necesidad para ser evaluadas como funciones de probabilidad.

1.4.7 Distribución logarítmica normal

La distribución log-normal es considerada una distribución de probabilidad continua, donde una variable hidrológica (x) sigue una distribución normal cuando se toma su forma logarítmica. Después de transformarse, estos valores se convierten en una serie de datos (y), manteniendo el mismo patrón de distribución que (x). La función de densidad de probabilidad de esta distribución se expresa mediante la siguiente ecuación (Maity, 2022).

Dos parámetros

P.d.f.

$$y = \ln(x)$$

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[-0.5 \cdot \left(\frac{y - u}{\sigma_y} \right)^2 \right]$$

$$x > 0$$

C.d.f.

$$f(y) = \Phi \left(\frac{y - u}{\sigma} \right)$$

$$\sigma = \exp(2u + \sigma^2)(\exp(\sigma^2) - 1)$$

$$z = \left(\frac{y - u}{\sigma} \right)$$

$$u \in \mathbb{R}$$

$$\sigma > 0$$

Donde:

y: variable hidrológica, limitada a valores positivos para garantizar una distribución normal.

u: Media de la muestra de $\ln(x)$

σ : Desviación estándar de $\ln(x)$

Ecuación 4: Distribución logarítmica normal dos parámetros

Fuente: (Chow, 1988)

Tres parámetros

P.d.f.

$$f(x) = \frac{1}{(x - a) \cdot \sigma \cdot (2\pi^{\frac{1}{2}})} \exp \left(-\frac{(\ln(x - a) - u)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right)$$

$$x - a > 0$$

$$a, u \in \mathbb{R}$$

$$\sigma > 0$$

C.d.f.

$$f(x) = \Phi \left(\frac{\ln(x - a) - u}{\sigma} \right)$$

$$z = \left(\frac{\ln(x - a) - u}{\sigma} \right)$$

Donde:

u: Media de y

σ : Desviación estándar de y

z: Distribución normal estandarizada

Ecuación 5: Distribución logarítmica normal tres parámetros

Fuente: (Chow, 1988)

1.4.8 Distribución de Gumbel

La función de distribución acumulada es una herramienta crucial en el análisis de valores extremos, ya que facilita la determinación de la frecuencia o periodo de retorno en el cual un determinado caudal se presentará en el ámbito hidrológico, partiendo de un valor inicial x (USAL, 2023), mediante las siguientes expresiones:

Dos parámetros

P.d.f.

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp\left(-\frac{(x-c)}{a} - \exp\left(-\frac{(x-c)}{a}\right)\right)$$

$$x - c \geq 0$$

$$c \in \mathbb{R}$$

$$a > 0$$

C.d.f.

$$f(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{(x-c)}{a}\right)\right)$$

Donde:

a: Factor de proporción

c: Factor de localización

Ecuación 6: Distribución de Gumbel

Fuente: (Chow, 1988)

1.4.9 Distribución Pearson III

Esta función exhibe una versatilidad y una variedad de formas que varían según sus parámetros. Es una función con asimetría, válida para valores positivos de la variable, lo cual se adapta a las características comunes de la mayoría de los datos hidrológicos y variables pertinentes en el ámbito de la hidrología (Varas & Bois, 1998). Una variable corresponderá a esta distribución cuando su densidad de probabilidad sea:

Tres parámetros

P.d.f.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \cdot \Gamma\beta} \cdot \left[\frac{x - \gamma}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp - \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}}$$

$$\beta = \left(\frac{2}{C_s} \right)^2$$

$$\gamma = \mu - \sigma \cdot \sqrt{\beta}$$

$$c \in \mathbb{R}$$

$$a, b > 0$$

C.d.f.

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma\beta} \cdot \int_0^{\frac{x-\gamma}{\alpha}} y^{\beta-1} \exp(-y) dy$$

$$y = \frac{x - \gamma}{\alpha}$$

Donde:

 α, β : parámetros de distribución $\Gamma\beta$: Función gama de b , sus parámetros se encuentran tabulados C_s : Coeficiente de asimetría γ : Parámetro de localización

Ecuación 7: Distribución Pearson III**Fuente:** (Varas & Bois, 1998)**1.4.10 Distribución Log Pearson III**

Es una función de distribución de probabilidad comúnmente utilizada en hidrología para modelar variables hidrológicas, como caudales máximos y mínimos. Esta distribución se deriva de la distribución Pearson tipo III mediante una transformación logarítmica. Es prevalente en Estados Unidos. En términos matemáticos, si $Y = \ln(X)$ sigue la distribución Pearson III, entonces X sigue la función de distribución de frecuencias de Log Pearson III (Vargas Dominguez, 2023), mediante la siguiente ecuación:

Tres parámetros

P.d.f.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \cdot \Gamma\beta} \cdot \left[\frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp - \left(\frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right)$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}}$$

$$\beta = \left(\frac{2}{C_s} \right)^2$$

$$\gamma = \mu - \sigma \cdot \sqrt{\beta}, c \in \mathbb{R}, a, b > 0$$

C.d.f.

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma\beta} \cdot \int_0^{\frac{\ln(x)-\gamma}{\alpha}} y^{\beta-1} \exp(-y) dy$$

$$y = \frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha}$$

Donde:

α, β : parámetros de distribución

Γ β : Función gama de b , sus parámetros se encuentran tabulados

C_s : Coeficiente de asimetría

γ : Parámetro de localización

Ecuación 8: Distribución Log Pearson III

Fuente: (Varas & Bois, 1998)

1.4.11 Método de momentos ordinarios

Un método que puede tener sesgo para poblaciones pequeñas es el método de los momentos ordinarios. Este método proporciona una buena estimación de los parámetros de una función de probabilidad, asegurando que los momentos en torno al origen sean similares a los momentos de la muestra (Chow, 1988). Los estimadores derivados de este método son eficientes en grandes muestras y funcionan especialmente bien con distribuciones asimétricas, que son comunes en hidrología. Por eso, se utiliza como primer paso para estimar los parámetros mediante las siguientes expresiones.

Método de momentos

Momentos observados	Momentos observados centrados en cero
$m_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^1$	$u_1 = E[x^1]$
$m_2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2$	$u_2 = E[x^2]$
$m_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^k$	$u_k = E[x^k]$

$$m_r = u_r, r = 1, \dots, k$$

Ecuación 9: Distribución Log Pearson III

Fuente: (Chow, 1988)

1.4.12 Método de momentos ponderados

Los momentos ponderados en el análisis de caudales máximos son medidas estadísticas que se utilizan para caracterizar la distribución de caudales en un determinado lugar. La idea central es demostrar que, a pesar de las diferencias en las características hidrológicas entre diferentes áreas, existe una similitud apreciable en los datos adimensionales. Esto implica que los momentos ponderados de orden superior, que capturan características más complejas de la distribución, pueden estimarse con precisión a partir de los primeros y

segundos momentos (Varas, 2000). En concreto, calcular la crecida media anual y el segundo momento ponderado por probabilidad resulta suficiente para obtener una estimación razonable de los primeros cinco momentos ponderados. Esta relación permite calcular los parámetros necesarios para la mayoría de los modelos probabilísticos utilizados en el análisis de envolventes para representar la información sobre las crecidas máximas.

Método de los momentos ponderados

$$m_{ijk} = \int_0^1 x(F)^i F^j (1 - F)^k dF$$

Ecuación 10

Fuente: (Vargas Dominguez, 2023)

Donde:

i,j,k: Números enteros

Si i=1, j=0, k=0: M_{10j}, M_{10k} son lineales

1.4.13 Análisis de bondad de ajuste

La valoración de ajuste es una evaluación que analiza qué tan bien se ajustan los momentos de una distribución seleccionada al promedio de los datos observados (Lujano Laura & Obando, 2015). Esta prueba es esencial para verificar si una muestra de datos concuerda con una distribución de probabilidad determinada. Si el estadístico de prueba de la muestra (D_n) resulta menor que el valor tabulado ($D_n \alpha$) para un nivel de probabilidad dado, la prueba se considera aceptable (Acosta & Sierra, 2013).

1.4.13.1 Test de Kolmogorov – Smirnov

La prueba de Kolmogorov-Smirnov se emplea como un método de "bondad de ajuste", lo que implica evaluar qué tan bien concuerda la forma en que los datos están dispuestos con una distribución ideal predeterminada. El propósito es determinar si la información en estudio procede de una que sigue la distribución teórica especificada. Este proceso implica determinar la discrepancia más significativa (D) entre la función de distribución de probabilidad observada ($F_o(X_m)$) y la función estimada ($F(X_m)$). (Torres Gallardo, 2006).

Kolmogorov – Smirnov

$$D = \max|F_o(X_m) - F(X_m)|$$

$$\lambda_n = D_{max} \cdot \sqrt{n}$$

Ecuación 11: Prueba de Kolmogorov - Smirnov

Fuente: (Torres Gallardo, 2006)

Donde:

D: Máxima discrepancia absoluta

$F_o(X_m)$: Distribución de probabilidad empírica

$F(X_m)$: Función calculada

n: tamaño de la muestra

λ_n : Prueba de Kolmogorov - Smirnov

1.4.13.2 Prueba de Chi – Cuadrado (χ^2)

La prueba de bondad de ajuste desarrollada por Karl Pearson (1857-1936) en 1900, es una de las herramientas más utilizadas en hidrología para seleccionar la distribución o distribuciones que mejor se ajustan a una serie específica de datos de caudales mínimos (Torres Gallardo, 2006).

Chi – Cuadrado

Para comenzar, se deben dividir los datos en un conjunto de k intervalos,

$$K = 1 + (3.3 \cdot \text{Log}(n))$$

Se halla el rango de los intervalos superiores e inferiores:

$$R = \frac{\text{Max}(X_i) - \text{Min}(X_i)}{K}$$

Se halla una distribución asintótica de la estadística de χ^2 ,

$$D = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}$$

Ecuación 12: Prueba de Chi – Cuadrado

Fuente: (Torres Gallardo, 2006)

Donde:

O_j : Cantidad de eventos observados en el intervalo j

E_j : Número esperado de eventos dentro del mismos intervalos

K: Cantidad de intervalos de clase

n: tamaño de la muestra

1.4.14 Periodo de retorno

La frecuencia con la que ocurre un evento de una magnitud específica es el tiempo promedio entre eventos que alcanzan o superan esa magnitud específica. En ocasiones, puede haber varios eventos que superen un umbral en un mismo año, pero el enfoque de AMS solo considera el evento más grande de cada año. Esto significa que otros eventos significativos pueden quedar excluidos (Acosta & Sierra, 2013). Para corregir esta situación, se recurre a la expresión de Langbein.

$$TAM = \frac{1}{1 - e^{-\frac{1}{T}}}$$

Ecuación 13: Periodo de retorno

Fuente: (Acosta & Sierra, 2013)

1.4.15 Curvas envolventes

Las curvas envolventes en hidrología son representaciones gráficas que muestran la relación entre las áreas de cuenca y los caudales máximos específicos observados en una determinada región hidrológica. Por lo general, se elaboran utilizando escalas logarítmicas para abarcar una amplia gama de valores. Estas curvas se construyen trazando una línea que se apoya en uno de los puntos que conforman la nube de datos, de manera que todos los demás puntos queden por debajo de la curva. Esta técnica se utiliza para delinear áreas propensas a inundaciones y para estimar caudales máximos en cuencas hidrográficas donde no se disponen de datos directos. En este caso se usarán varias curvas envolventes:

1.4.15.1 Envoltente de Creager

Esta metodología posibilita calcular los caudales máximos en relación con el área de drenaje. Se fundamenta en los datos de inundaciones históricas de Estados Unidos, donde se evaluaron registros de 997 estaciones a lo largo del tiempo (Orrala Vera, 2022).

$$q = 1.303 \cdot C_c \cdot (0.386 \cdot A)^{0.936 \cdot A^{-0.048}} \cdot A^{-1}$$

Ecuación 14: Envoltente de Creager

Fuente: (Orrala Vera, 2022)

Donde:

q: gasto máximo en m³/s

Cc (200): Coeficiente de Creager

Cc (250): Coeficiente regional de México

A: Área de drenaje

1.4.15.2 Envolvente de Lowry

Es la más usada en Latinoamérica y se expresa con la siguiente ecuación

$$q = \frac{C_L}{(A + 259)^{0.85}}$$

Ecuación 15: Envolvente de Lowry

Fuente: (Orrala Vera, 2022)

Donde:

Q: gasto máximo

Cl (5270): Coeficiente de Lowry

A: Superficie de drenaje

1.4.16 Correlación de Spearman

Los métodos de correlación de Pearson y Spearman son herramientas estadísticas utilizadas en contextos donde se busca analizar las relaciones entre variables y observar patrones de similitud o diferencia entre ellas y entre individuos. Estas técnicas permiten identificar la variabilidad conjunta de los datos y, en consecuencia, caracterizar las tendencias presentes en ellos (Mondragón, 2014).

1.4.16.1 Coeficiente de correlación de Spearman

Se trata de un indicador de relación lineal que se basa en los rangos, es decir, en los números de orden asignados a cada grupo de individuos, para realizar comparaciones entre dichos rangos. Este coeficiente resulta especialmente útil cuando se desea analizar un número reducido de pares de individuos (menor de 30) (Perez, 1999).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

$$d_i = x_i - y_i$$

Ecuación 16: Coeficiente de Spearman

Fuente: (Mondragón, 2014)

Donde:

n: cantidad de propiedades que se clasifican

x_i : rango de propiedades i con respecto a una variable

y_i : rango de propiedades i con respecto a la variable dos

d_i : diferencia entre los rangos de Y y X

El coeficiente de correlación de rangos de Spearman varía entre -1.0 y +1.0. Valores cercanos a +1.0 indican una fuerte asociación positiva entre las clasificaciones, mientras que valores cercanos a -1.0 señalan una fuerte asociación negativa. Un coeficiente de 0.0 indica ausencia de correlación (Mondragón, 2014).

2 METODOLOGÍA

2.1 Zona de estudio

La región de investigación abarca las estaciones hidrológicas ubicadas en las cuencas hidrológicas que desembocan en el Océano Pacífico, proporcionadas por el INAMHI (Figura 1). Estas estaciones están distribuidas principalmente en las regiones Costa y Sierra del territorio ecuatoriano, con una mayor concentración en la región Costa.

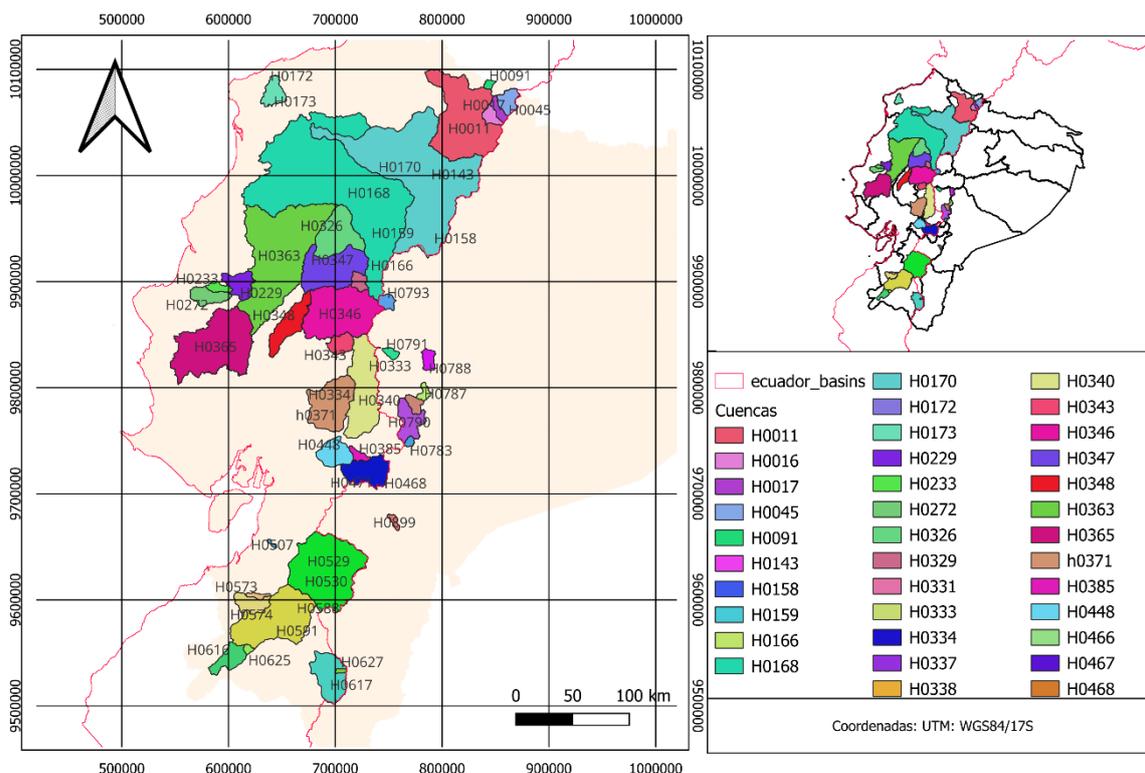


Figura 1. Mapa geográfico de las estaciones hidrométricas que desembocan en el Océano Pacífico

Fuente: Elaboración propia

Esta división se justifica debido a la diversidad territorial del Ecuador. La existencia de la cordillera de los Andes atraviesa verticalmente el país, dividiendo las regiones de la Costa y la Sierra. Esto significa que algunas cuencas hidrográficas pueden abarcar áreas tanto de la Costa como de la Sierra, lo que dificulta una delimitación estricta basada únicamente en divisiones regionales.

Además, la diversidad climática y geográfica de Ecuador se manifiesta en la variabilidad de los patrones de precipitación y la topografía. Por ejemplo, la región amazónica, que se

extiende hacia el oriente del país, presenta un clima tropical húmedo y una densa red de ríos, mientras que la región costera se caracteriza por su clima subtropical y la presencia de estuarios y manglares.

Otro factor importante para considerar es la interconexión hidrológica entre las diferentes cuencas. Los ríos y afluentes pueden cruzar fronteras regionales, lo que hace que una delimitación estricta por regiones no refleje con precisión la verdadera interrelación entre las cuencas.

A continuación, se presenta un detalle de las estaciones a estudiar:

Tabla 1. Estaciones de cuencas hidrológicas que drenan hacia el Océano Pacífico

Fuente: Elaboración propia

Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación (m)
MIRA EN LITA	H0011	0° 52' 26.82" N	78° 26' 59.52" W	475
APAQUI AJ CHOTA	H0016	0° 26' 34" N	77° 56' 10.44" W	715
APAQUI D GRUTA LA PAZ	H0017	0° 30' 2" N	77° 50' 44" W	2365
APAQUI DJ MINAS	H0045	0° 32' 26" N	77° 46' 52" W	2650
GRANDE AJ JATIVA	H0091	0° 48' 15" N	77° 50' 46" W	3120
GRANOBLES AJ GUACHALA	H0143	0° 1' 33" N	78° 10' 0" W	2750
PITA AJ SALTO	H0158	0° 34' 21" S	78° 25' 59" W	3550
SAN PEDRO EN MACHACHI	H0159	0° 27' 43" S	78° 32' 42" W	2680
TOACHI EN LAS PALMAS	H0166	0° 26' 12" S	78° 58' 55" W	1110
ESMERALDAS DJ SADE	H0168	0° 32' 3" N	79° 25' 11" W	51
GUAYLLABAMBA AJ BLANCO	H0170	0° 26' 19" N	79° 23' 38" W	90
TEAONE DJ TABIAZO	H0172	0° 50' 37" N	79° 41' 56" W	16
TEAJONE AJ ESMERALDAS	H0173	0° 51' 29" N	79° 42' 18" W	9
CARRIZAL EN CALCETA	H0229	0° 50' 45" N	80° 9' 36" W	20
JUNIN DJ EST. PALMAR	H0233	0° 54' 17" S	80° 11' 0" W	20
CHICO AJ PORTOVIEJO	H0272	0° 58' 27" S	80° 25' 13" W	35
BABA DJ TOACHI – DCP	H0326	0° 39' 50" S	79° 23' 5" W	100
PILALO EN LA ESPERANZA	H0329	0° 53' 7" S	79° 4' 5" W	920
CHIMBO EN SAN LORENZO	H0331	1° 40' 0" S	79° 0' 14" W	2400
SAN LORENZO EN SAN LORENZO	H0333	1° 41' 12" S	78° 59' 44" W	2470
DE CHIMA AJ LAS PESQ.	H0334	1° 51' 25" S	79° 4' 10" W	2100
PANGOR AJ CHIMBO	H0337	1° 55' 55" S	79° 0' 13" W	1480
CHIMBO DJ PANGOR	H0338	1° 55' 55" S	79° 0' 25" W	1452
CHIMBO EN BUCAY	H0340	2° 11' 58" S	79° 8' 10" W	297

ECHENDIA EN ECHENDIA	H0343	1° 26' 5" S	79° 15' 55" W	425
ZAPOTAL EN LECHUGAL	H0346	1° 23' 15" S	79° 26' 7" W	20
QUEVEDO EN QUEVEDO	H0347	1° 0' 56" S	79° 27' 45" W	100
VINCES EN VINCES – DCP	H0348	1° 32' 57" S	79° 45' 2" W	41
DAULE EN BALZAR	H0363	1° 21' 21" S	79° 54' 18" W	30
DAULE EN LA CAPILLA	H0365	1° 41' 46" S	79° 54' 18" W	19
SAN PABLO EN PALMAR	H0371	1° 49' 55" S	79° 26' 21" W	34
ANGAS AJ CHANGAN	H0385	2° 17' 59" S	79° 3' 37" W	742
PAYO AJ BULUBULU	H0448	2° 21' 24" S	79° 21' 57" W	25
SILANTE EN INGAPIRCA	H0466	2° 52' 30" S	79° 4' 1" W	2709
VENDELECHE EN HDA. LA CURIA	H0467	2° 34' 7" S	78° 52' 31" W	3020
SAN PEDRO EN INGAPIRCA	H0468	2° 34' 7" S	78° 52' 31" W	2970
CAÑAR DJ RAURA	H0471	2° 34' 56" S	78° 52' 2" W	870
BONITO EN PTE. CARRETERA	H0507	3° 6' 13" S	79° 45' 52" W	30
JUBONES DJ S. FRANCISCO	H0529	3° 19' 16" S	79° 36' 22" W	680
JUBONES EN USHCURRUMI	H0530	3° 19' 11" S	79° 35' 55" W	230
SANTA ROSA EN EL VADO	H0573	3° 33' 18" S	79° 56' 38" W	80
ARENILLAS EN ARENILLAS	H0574	3° 33' 45" S	80° 2' 47" W	20
AMARILLO EN PORTOVELO	H0588	3° 42' 44" S	79° 36' 45" W	660
PUYANGO EN CPTO. MILITAR	H0591	3° 53' 0" S	80° 4' 47" W	270
ALAMOR EN SAUCILLO	H0616	3° 36' 42" S	79° 12' 54" W	299
ARENAL EN PTE. BOQUERON	H0617	4° 3' 38" S	79° 56' 54" W	1390
ALAMOR EN PTE. MERCADILLO	H0625	3° 36' 42" S	79° 12' 54" W	1080
UCHIMA AJ CHAMBA	H0627	4° 3' 38" S	78° 56' 54" W	1544
OZOGOCHÉ EN LOS LAGOS	H0783	2° 14' 51" S	78° 35' 58" W	3715
ALAO EN HDA. ALAO	H0787	1° 53' 25" S	78° 30' 39" W	3200
PUELA AJ CHAMBO	H0788	1° 30' 27" S	78° 28' 16" W	2460
GUARGUALLA AJ CEBADAS	H0789	1° 52' 5" S	78° 36' 17" W	2828
CEBADAS AJ GUAMOTE	H0790	1° 53' 49" S	78° 38' 31" W	2840
BALSACON EN SAN ANDRES	H0791	3° 34' 22" S	78° 43' 6" W	3112
NAGSICHE PLTA. ELEC. CUSUBAMBA	H0793	1° 3' 40" S	78° 41' 24" W	2960
SAN FRANCISCO EN GUALACEO	H0899	2° 53' 43" S	78° 45' 49" W	2400

Sistema de coordenadas: Geográficas

2.2 Metodología

En el siguiente diagrama de flujo se presenta la metodología utilizada para determinar las curvas envolventes.

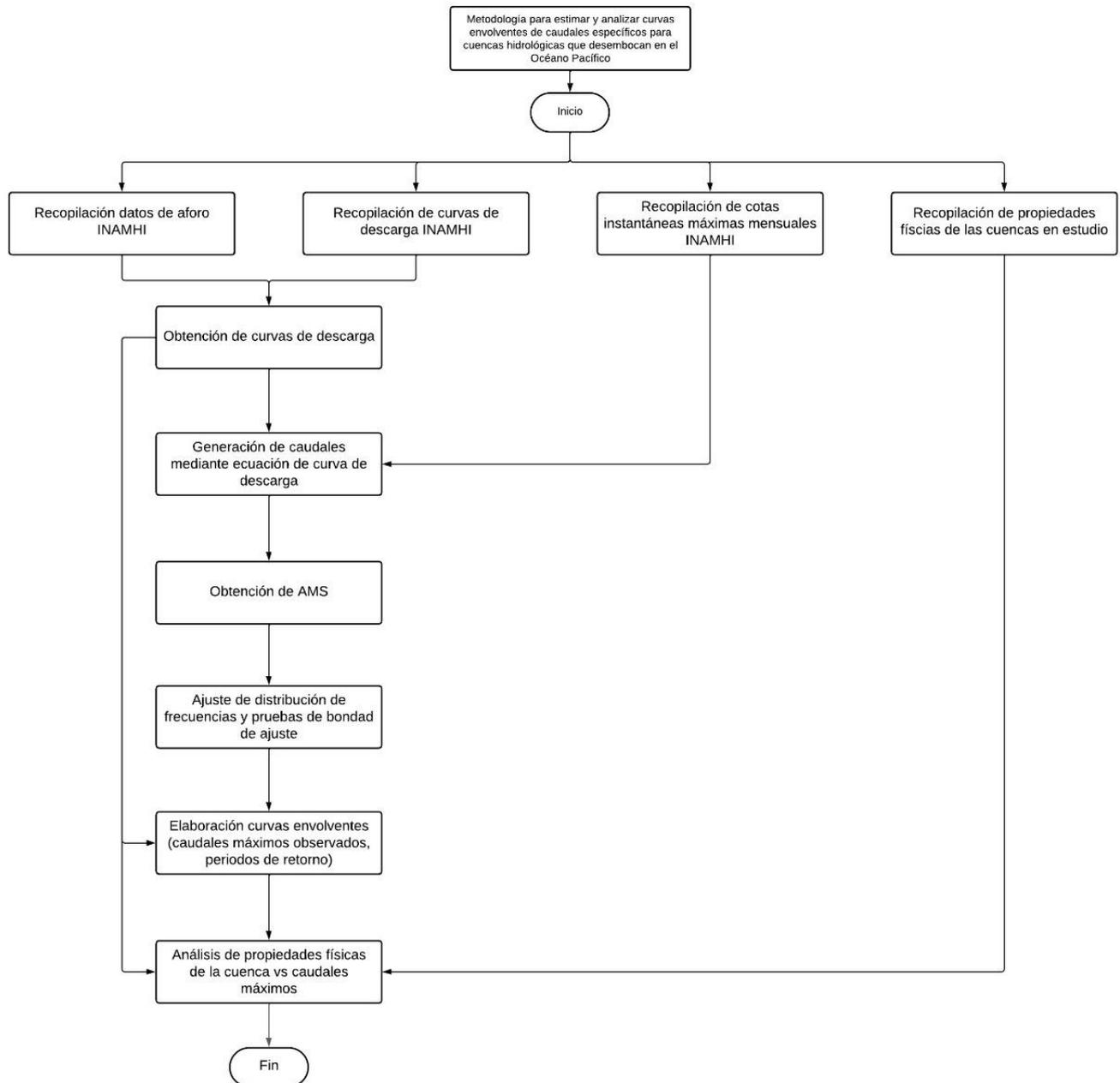


Figura 2. Flujograma de la metodología para elaborar curvas envolventes

Fuente: Elaboración propia

2.2.1 Recopilación de información

El INAMHI cuenta con 260 estaciones, pero en este análisis se empleará la información de solo 56 estaciones especificadas en la Tabla 1. Los datos utilizados en este estudio se obtienen del INAMHI y se procesan de varias maneras para su análisis: Para los niveles del río, se realiza un control durante la entrada de la información para asegurar que las lecturas diarias estén dentro del rango entre la lectura máxima y mínima. En casos donde no hay lectura disponible, se registra el número de divisiones como cero. Si hay desborde, se registra como 99.99, y si el río está seco, se registra como -10 (De la Cruz, 2009).

Para calcular los niveles medios diarios, se suman las dos lecturas diarias y se dividen por dos. Por ejemplo, Nivel medio diario = $(\text{Lectura1} + \text{lectura2}) / 2$. Se redondea el resultado a dos decimales (De la Cruz, 2009). Para los niveles mensuales, se calculan los niveles medios tomando el promedio de las lecturas instantáneas de al menos 20 días válidos. Además, se registran los niveles máximos y mínimos ingresados (De la Cruz, 2009). De aquí en adelante la metodología se desarrollará en R mediante un proyecto separado por algunos scripts. Para esto se tienen que preparar los archivos deseados que deben estar en formato .csv y se tienen que guardar todos en una misma carpeta para mayor facilidad al momento de trabajar

Las propiedades físicas de la cuenca hidrográfica que fueron proporcionadas por el INAMHI fueron las siguientes:

Tabla 2. Parámetros físicos proporcionados por el INAMHI

Fuente: INAMHI

Código	Nombre	Descripción
Nam	Código cuenca	Código asignado a la cuenca
Pc	Perímetro de cuenca	Perímetro de la cuenca expresado en km
Areac	Área cuenca	Área de la cuenca expresada en km ²
Lmc	Longitud máxima	Distancia de los puntos más externos de la cuenca
Lcp	Longitud del cauce principal	Longitud cauce principal expresado en km
Ac	Ancho de la cuenca	Resultado de la comparación del área de la cuenca con su longitud
Dalt	Desnivel altitudinal	Diferencia entre la cota máxima y mínima de la cuenca
Amx	Cota máxima	Cota máxima de la cuenca
Mhe	Cota mínima	Cota mínima de la cuenca
Mhi	Altitud media	Altitud media de la cuenca
Ppc	Pendiente promedio	Pendiente promedio de la cuenca
Ffc	Factor de forma	Relación entre el área de la cuenca y su longitud máxima elevada al cuadrado

Comc	Coefficiente de compacidad	Relación entre el perímetro de la cuenca y su área
Circ	Coefficiente de circularidad	Relación entre el perímetro de la cuenca y su área
Ltd	Longitud total de drenajes	Longitud total de drenajes de la cuenca
Ddc	Densidad de drenaje	Relación entre la longitud total de drenajes y área de la cuenca
do1	Drenajes de orden 1	Total de drenajes de orden 1 de la cuenca
Torc	Coefficiente de torrencialidad	Relación entre el total de drenajes de orden 1 y área de cuenca
Tcc	Tiempo de concentración (horas)	Relación entre la longitud del cauce principal y desnivel altitudinal

A pesar de que los valores de estos parámetros para cada estación ya fueron otorgados por el INAMHI, si se desea corroborar o se necesita aplicar a cada estación el proceso es el siguiente en QGIS o ArcGIS

Tabla 3. Propiedades físicas para relacionar con los caudales máximos

Fuente: Elaboración propia

Propiedades físicas	
Propiedad física	Método de obtención
Área de la cuenca (QGIS)	Field calculator: \$area/1000000
Perímetro de la cuenca (QGIS)	Field calculator: \$perimeter/1000000
Longitud máxima (QGIS)	Measure line
Longitud del cauce principal (ArcGIS)	Arc Hydro Tools: Longest Path Flow
Ancho de la cuenca	$\frac{\text{Área}}{\text{Longitud máxima}}$
Cota máxima y mínima (QGIS)	Clip raster by mask layer
Desnivel longitudinal	Cota máxima – cota mínima
Altura media (ArcGIS)	Reclassify
pendiente promedio (ArcGIS)	ArcHydroTools: slope
Factor de forma	$\frac{\text{Área de la cuenca}}{\text{Longitud máxima}^2}$
coeficiente de compacidad	$0.28 \cdot \frac{\text{Perímetro}}{\sqrt{\text{área}}}$
coeficiente de circularidad	$\frac{4\pi \cdot \text{área}}{\text{Perímetro}^2}$
Longitud total de drenajes, drenajes orden 1 (QGIS)	Channel Networks and drainage basins
densidad de drenajes	$\frac{\text{longitud total de drenajes}}{\text{área}}$

Coeficiente de torrencialidad	$\frac{drenajes\ orden\ 1}{\acute{a}rea}$
Tiempo de concentración en horas	$0.95 \cdot \left(\frac{longitud\ cauce\ principal^3}{desnivel\ altitudinal} \right)^{0.385}$
Textura del suelo	Ráster obtenidos del Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica – Mapa de órdenes de suelos del Ecuador
Cobertura geológica	Ráster obtenidos del Portal de Datos del Instituto Geográfico Militar – Catálogo de metadatos / Instituto de Investigación Geológico y Energético

2.2.2 Generación de ecuación de curvas de descarga

Para este paso es importante correr las siguientes librerías en el caso que se use el lenguaje de programación R: stringr (manipulación de cadenas de texto), ggplot2 (creación de gráficos), luego se importan al programa de programación, recomendando la utilización de uno para un trabajo más eficiente; en este caso, se empleará R, dos conjuntos de datos.: uno que contiene información sobre aforos (mediciones de caudal) y otro que incluye curvas de descarga. Una vez cargados los datos, se realiza una limpieza inicial para garantizar la calidad y uniformidad de la información. Esto implica la eliminación de posibles duplicados en el conjunto de datos de curvas de descarga, lo que facilita el análisis siguiente.

Posteriormente, se procede a la generación de las curvas de descarga. Para cada estación de monitoreo hidrológico y conjunto de datos de curva de descarga, se realizan una serie de pasos. Primero, se tienen que identificar los periodos en el cual la curva de descarga será válida. Luego, se identifican los aforos dentro del rango de fechas especificado. Para obtener la ecuación que describe la curva de descarga, se establece la metodología que consiste en una función de la forma $Q = a \cdot (h - h_0)^b$ (Quintana, 2000).

El análisis continúa con el cálculo de los logaritmos del caudal y del nivel del agua para cada conjunto de datos, seguido de la aplicación de un modelo de regresión lineal entre estos parámetros. Se generan gráficos de dispersión y modelos de regresión lineal, lo que permite visualizar y comprender la relación entre las variables. Además, se lleva a cabo la identificación y eliminación de valores atípicos para mejorar la precisión del análisis mediante diagrama de cajas y bigotes para visualizar la distribución de los datos de niveles

de agua y caudales con el fin de identificar posibles valores atípicos en los datos (Gómez et al., 2019).

En caso de que existan menos de tres aforos efectivos, se omite el conjunto de datos y se pasa al siguiente debido a que estas ecuaciones se ajustan a un modelo matemático y para obtener resultados confiables, es importante contar con un número suficiente de aforos dado que si esto es insuficiente podría haber una imprecisión en las predicciones del caudal en situaciones futuras. Además, debido a las condiciones periódicas de algunas estaciones, se eliminaron períodos de datos que no contaban con el número de aforos suficientes. Por último, se realiza una regresión lineal corregida entre el logaritmo del caudal y el logaritmo del nivel del agua para entender como el nivel del agua afecta al caudal, lo que permite ajustar el modelo a los datos corregidos.

Finalmente, se escriben los resultados obtenidos en varios archivos para su posterior análisis. Estos incluyen las ecuaciones de las curvas de descarga corregidas, así como los resultados de los modelos de regresión lineal. Estas ecuaciones generadas serán comparadas en los resultados para verificar y comparar con las del INAMHI.

2.2.3 Aplicación de las curvas de descarga generadas

Del script anterior se deben cargar las librerías: `stringr`, `ggplot2`, `zoo` (trabajo con series de tiempo), `broom` (convertir modelos estadísticos en marcos de datos), `dplyr` (manipulación de datos), además, datos como las ecuaciones finales los modelos y curvas de descarga generadas dado que estas curvas serán utilizadas para encontrar los caudales, después de la carga de los datos, se procede a la manipulación y limpieza de estos mediante diagramas de caja o método de Grubbs y Beck. Esto incluye la selección y ajuste de los conjuntos de datos de niveles de agua para asegurar su coherencia y calidad. Posteriormente, se reemplazan los datos de niveles sobre las ecuaciones de las curvas de descarga generadas para calcular los caudales correspondientes a los niveles de agua registrados, sin embargo, a pesar de que la bibliografía brinde esa ecuación para generar la curva de descarga hay que tener en cuenta la información proporcionada por el INAMHI la cuál consta de la ecuación con un signo positivo y para poder realizar una comparación se utilizará esta última en la generación de las ecuaciones de curva de descarga, además, se calculan los intervalos de confianza asociados utilizando modelos de regresión lineal. También, se realizan cálculos adicionales para determinar estadísticas relevantes, como caudales máximos, promedios y cuantiles para cada estación hidrológica

Finalmente, se generan archivos que contienen los resultados del análisis hidrológico, incluyendo los caudales calculados, las estadísticas resumidas y los modelos de regresión

utilizados. Estos archivos proporcionan una documentación completa del proceso de análisis y permiten la reproducibilidad de los resultados obtenidos.

2.2.4 Obtención de AMS

Para el análisis de valores extremos, se emplea el método de series máximas anuales (AMS) siguiendo los lineamientos establecidos por (O. Eduardo & Planos Gutiérrez, 2015). Este método se centra en identificar el máximo anual de cada año dentro de la serie temporal.

En primer lugar, se importan los datos de caudales y se les da formato de fecha adecuado utilizando la librería lubridate. Luego, se inicializan las variables y objetos necesarios para el análisis, incluyendo la importación de las bibliotecas ggplot2, dplyr, zoo, entre otras que se puede evidenciar en la parte de anexos.

La detección de valores atípicos se realiza mediante el método de Grubbs-Beck, el cual se basa en las siguientes ecuaciones:

$$X_H = \exp(\bar{x} + k_N s)$$

$$X_L = \exp(\bar{x} - k_N s)$$

$$k_N = -3.62201 + 6.28446N^{\frac{1}{4}} - 2.49835N^{\frac{1}{2}} + 0.491436N^{\frac{3}{4}} - 0.037911N$$

Ecuación 3: Método de Grubbs Beck

Los valores de X_H y X_L ayudan en la identificación de los valores que son atípicos o bajos respectivamente. Se itera sobre cada estación, seleccionando los datos correspondientes y agrupándolos por año para obtener la serie máxima anual (AMS). Posteriormente, se aplican las ecuaciones del método de Grubbs-Beck para eliminar valores atípicos de manera automatizada.

Finalmente, se guardan los resultados en archivos CSV para su posterior análisis y presentación. Es importante mencionar el proceso de eliminación manual de datos para la estación H0616, correspondiente a los años 1972, 1987 y 1997. Estos datos fueron identificados como problemáticos y se eliminaron de la serie máxima anual (AMS) debido a posibles errores o inconsistencias. La eliminación manual se llevó a cabo seleccionando específicamente los índices de los datos a eliminar en la columna del caudal máximo de la base de datos con la que se trabaja y estableciéndolos como valores faltantes (NA). Además, se registraron estos valores eliminados para llevar un conteo de estos. Los índices de los datos eliminados manualmente para la estación H0616 son: 8, 23 y 33. Estos

corresponden a los años 1972, 1987 y 1997, respectivamente. Es importante resaltar estos detalles para comprender completamente el proceso de preprocesamiento de datos y la calidad de la serie de caudales analizada.

2.2.5 Ajuste de distribución de frecuencias y pruebas de bondad de ajuste

La librería adecuada para realizar un ajuste de distribución de frecuencias es “fitdistrplus”. Esta librería proporciona herramientas para ajustar distribuciones de probabilidad a datos observados mediante el método de máxima verosimilitud que busca determinar los valores de los parámetros del modelo que hacen que los datos observados sean más probables (IBM, 2022). Permite ajustar una amplia gama de distribuciones, incluyendo distribuciones comunes como la normal, la exponencial, la gamma, entre otras.

Después de la preparación de los datos y la identificación de las series máximas anuales (AMS), el código procede a ajustar varias distribuciones de probabilidad a los datos de caudales. Se ajustan distribuciones Gumbel, Pearson III y Log Pearson III utilizando el método de los momentos. Para cada distribución ajustada, se calculan las probabilidades de ocurrencia teóricas y se comparan con las observaciones mediante pruebas de bondad de ajuste, específicamente utilizando las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Chi Cuadrado.

Después de calcular las pruebas de bondad de ajuste, se registra el valor p obtenido de la prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado para cada distribución ajustada. De igual manera, se registra el estadístico D obtenido de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para cada distribución ajustada. Entre los valores de p obtenidos de la prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado, se selecciona el mayor, mientras que entre los estadísticos D obtenidos de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se elige el menor. Estos valores se utilizarán en la sección de resultados para comparar y evaluar la calidad de los ajustes de las distribuciones.

2.2.6 Elaboración de curvas envolvente de caudales máximos observados y de periodos de retorno

Con los datos de caudales y áreas, se realiza algunas operaciones de limpieza y manipulación de datos, con esto realizado se dividen los caudales calculados por el área correspondiente para obtener caudales específicos. Se deben utilizar constantes predefinidas, como Cc para Creager, Cc_MX para Creager en México, y CI para Lowry, que fueron determinadas en la sección del marco teórico. A continuación, se genera una

envolvente hidrológica aplicando las ecuaciones de Creager y Lowry a los datos seleccionados. Para cada estación, se calcula el caudal máximo, estos valores se agregan a los gráficos de las curvas envolventes hidrológicas previamente generadas, permitiendo así visualizar si las curvas envolventes abarcan los caudales máximos calculados. Es importante destacar que este mismo proceso se aplicará para los caudales de retorno.

2.2.7 Análisis de las propiedades físicas de la cuenca vs caudales máximos

Cargar los archivos de datos necesarios, que incluyen los registros de caudales y las propiedades físicas de las estaciones hidrológicas. Luego, se instalan y cargan las librerías necesarias para el análisis, incluyendo 'ggplot2', 'corrplot', 'lubridate', 'ggpubr', 'GGally', 'ggcorrplot2', y 'ggforce'. Se definen dos funciones personalizadas para calcular las correlaciones de Spearman y los valores p correspondientes entre las propiedades físicas y los caudales de las estaciones hidrológicas. Posteriormente, se unen los datos de caudales y propiedades físicas, asignando los caudales máximos, promedios, mínimos, y los percentiles 10, 50, y 95 a las estaciones correspondientes en el conjunto de datos de propiedades físicas. Se calculan las correlaciones de Spearman y los valores p para cada par de variables en el conjunto de datos de propiedades físicas utilizando las funciones personalizadas previamente definidas. Finalmente, se genera un gráfico de correlación que visualiza las relaciones entre las propiedades físicas y los caudales de las estaciones hidrológicas, destacando las correlaciones significativas y utilizando una paleta de colores divergente. El gráfico se guarda en un archivo de imagen con el nombre 'plot_corr_20240122.png'.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Ecuaciones curvas de descarga

Se muestran las siguientes figuras que ilustran ajustes apropiados, los cuales suelen estar respaldados por una cantidad suficiente de datos. También se incluyen ajustes con pocos datos para resaltar la diferencia entre ambos y evidenciar cómo varía su intervalo de confianza. Además, se presenta un ajuste con una cantidad de datos adecuada pero distribuidos de manera dispersa.

Ajustes adecuados

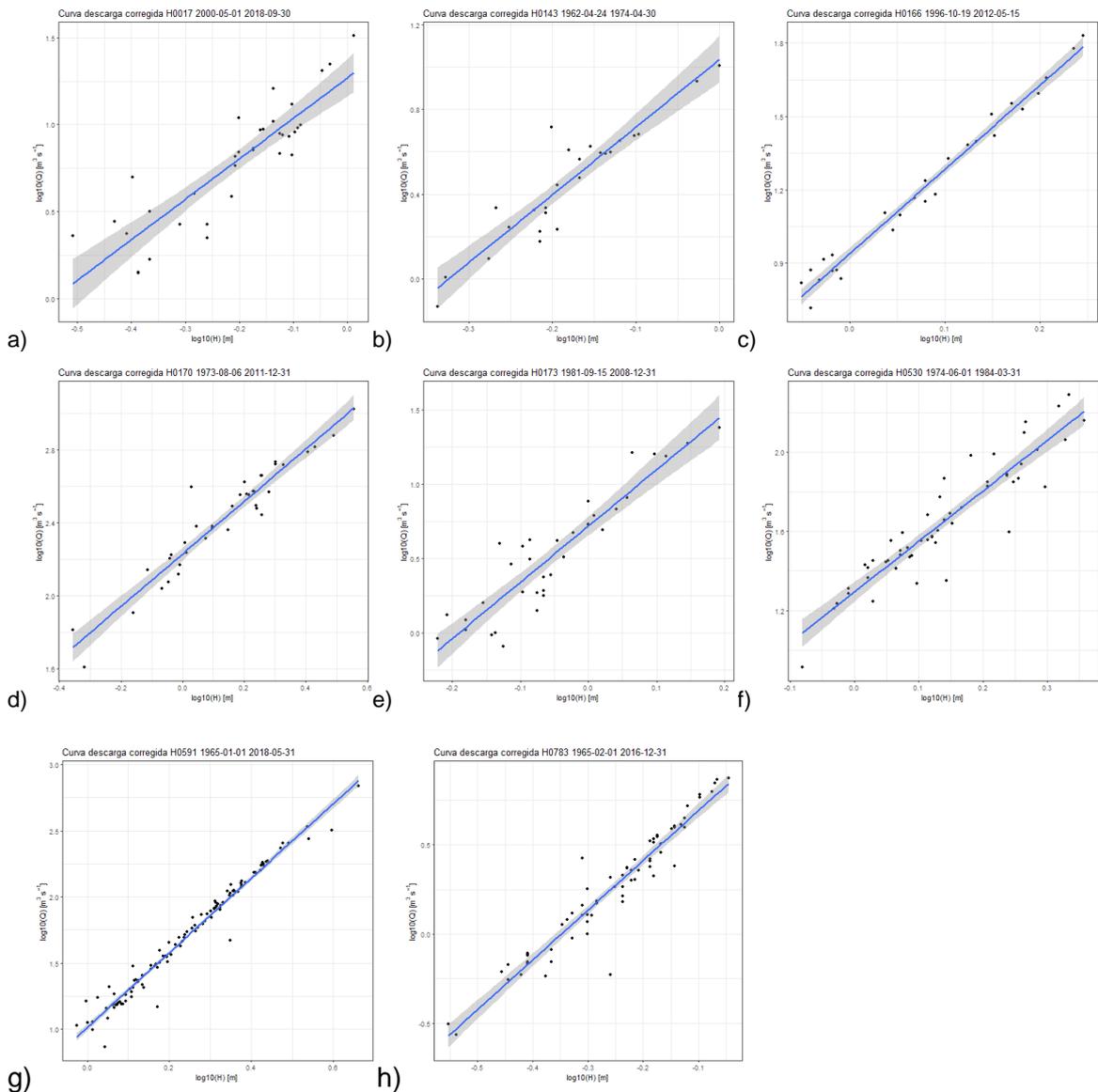


Figura 3. Ajustes adecuados de curvas de descarga

Fuente: Elaboración propia

Ajustes con datos dispersos

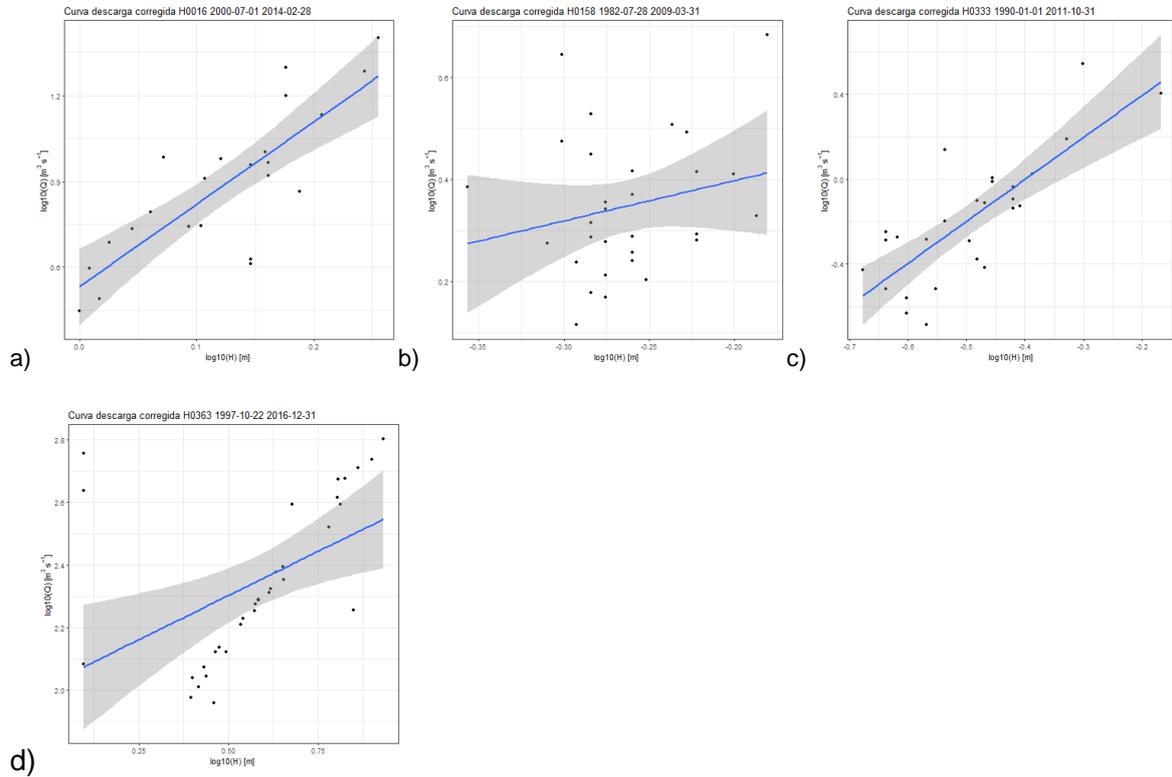
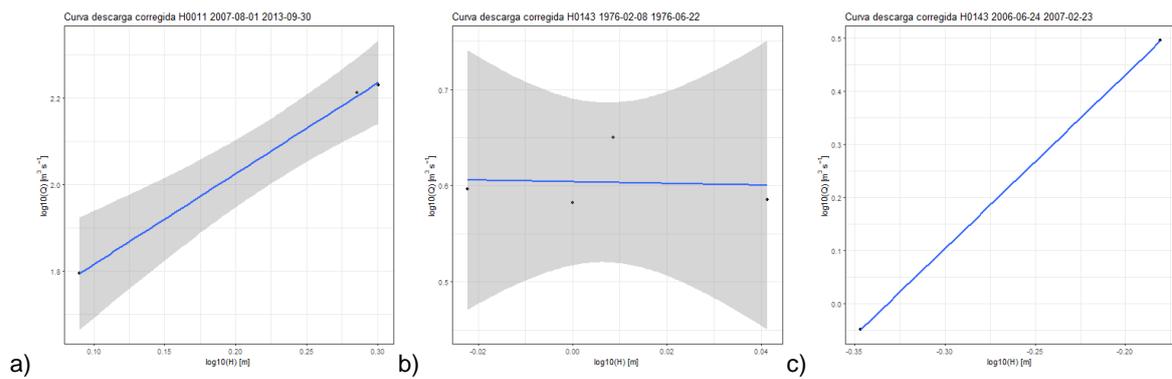


Figura 4. Ajustes con datos dispersos de curvas de descarga

Fuente: Elaboración propia

Ajustes con pocos datos



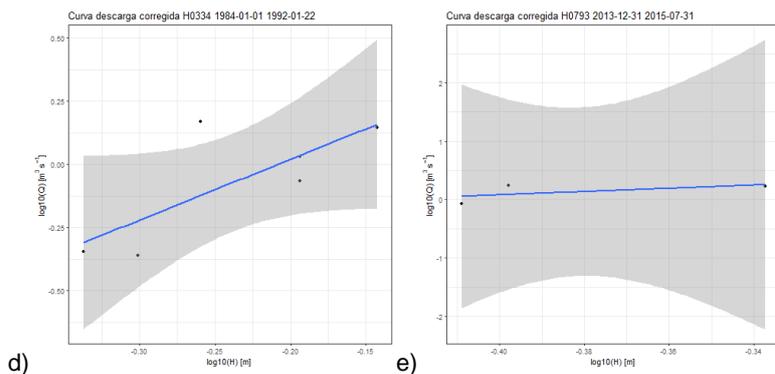


Figura 5. Ajustes con pocos datos de curvas de descarga

Fuente: Elaboración propia

La tabla siguiente presenta los coeficientes de las ecuaciones de las curvas de descarga proporcionadas por el INAMHI, junto con las ecuaciones generadas para las cuencas que desembocan en el océano Pacífico representado de la siguiente manera $Q = a \cdot (h - h_0)^b$

Estas tablas permiten realizar comparaciones entre ellas para observar la similitud de los coeficientes, así como identificar aquellas ecuaciones que no pudieron generarse debido a la cantidad mínima de datos de aforo disponibles estas discrepancias se resaltan en la columna con su mismo nombre, para así, poder evidenciar la diferencia entre los coeficientes.

Tabla 4. Coeficientes de las ecuaciones de curvas de descarga generadas y proporcionadas por el INAMHI

Fuente: INAMHI y elaboración propia

Estación	Fecha		Coeficientes calculados			Coeficientes INAMHI			Discrepancia
	Inicio	Fin	a	ho	b	a	ho	b	
H0011	4/23/1979	12/31/1982	54.1	0.1	1.9	54.0	0.1	1.9	
	1/1/1983	12/31/2001	45.5	0.1	1.7	41.8	0.0	2.1	
	1/1/2002	7/31/2007	36.7	0.0	2.2	43.4	0.1	2.0	
	8/1/2007	9/30/2013	NA	NA	NA	41.9	0.2	2.0	*
	10/1/2013	9/30/2018	25.8	0.3	2.3	3.3	-0.7	3.4	
H0016	5/1/1980	2/28/1983	NA	NA	NA	13.9	0.1	2.1	*
	3/1/1983	12/31/1989	15.1	-0.3	1.6	23.5	-0.3	1.9	
	1/1/1990	6/30/2000	1.8	0.2	3.0	1.8	0.2	3.3	
	7/1/2000	2/28/2014	3.4	-0.7	2.9	3.3	-0.7	3.5	
	3/1/2014	10/31/2017	10.4	-0.8	3.3	11.5	-0.8	2.7	
H0017	8/22/1963	12/7/1964	NA	NA	NA	19.2	-0.2	2.4	*
	12/8/1964	8/26/1966	NA	NA	NA	14.6	-0.4	2.6	*
	8/27/1966	5/31/1974	NA	NA	NA	19.2	-0.2	2.4	*
	6/1/1974	6/5/1975	NA	NA	NA	30.9	-0.1	1.4	*
	6/6/1975	12/31/1996	21.8	-0.2	1.3	27.1	-0.2	1.6	
H0045	1/1/1997	5/20/2000	NA	NA	NA	30.9	-0.1	1.4	*
	5/1/2000	9/30/2018	18.6	0.2	2.3	20.7	0.2	2.2	
	8/14/1963	4/4/1971	NA	NA	NA	20.2	-0.4	2.1	*
	4/5/1971	5/5/1972	NA	NA	NA	16.4	-0.3	2.2	*
	5/6/1972	4/27/1974	NA	NA	NA	20.2	-0.4	2.1	*
H0091	4/28/1974	2/22/1976	NA	NA	NA	10.1	0.1	2.4	*
	2/23/1976	12/31/1987	NA	NA	NA	16.4	-0.3	2.2	*
	1/1/1988	12/31/2007	11.2	-0.3	2.3	10.2	-0.3	2.3	
	5/1/2013	9/30/2018	13.4	-0.8	2.1	16.8	-0.8	2.3	
	6/3/1965	7/5/1965	NA	NA	NA	13.0	-0.4	2.1	*
H0091	7/6/1965	12/9/1965	NA	NA	NA	17.3	-0.5	1.9	*
	12/10/1965	5/26/1966	NA	NA	NA	13.0	-0.4	2.1	*
	5/27/1966	2/3/1969	NA	NA	NA	11.6	-0.3	2.1	*
	2/4/1969	8/3/1970	NA	NA	NA	13.0	-0.4	2.1	*
	8/4/1970	3/5/1975	NA	NA	NA	8.8	-0.1	2.3	*
	3/6/1975	1/20/1976	NA	NA	NA	9.9	-0.2	1.9	*
	1/21/1976	10/6/1976	NA	NA	NA	11.6	-0.3	2.1	*
	10/7/1976	3/22/1978	NA	NA	NA	8.8	-0.1	2.3	*
	3/23/1978	9/5/1978	NA	NA	NA	10.3	-0.1	2.0	*
	9/6/1978	4/25/1979	NA	NA	NA	9.9	-0.2	1.9	*
H0091	4/26/1979	9/20/1979	NA	NA	NA	10.3	-0.1	2.0	*
	9/21/1979	5/21/1980	NA	NA	NA	6.4	0.1	2.2	*
	5/22/1980	5/25/1983	NA	NA	NA	10.3	-0.1	2.0	*

	5/26/1983	10/4/1983	NA	NA	NA	6.4	0.1	2.2	*
	10/5/1983	4/23/1984	NA	NA	NA	10.3	-0.1	2.0	*
	4/24/1984	9/12/1984	NA	NA	NA	6.4	0.1	2.2	*
	9/13/1984	6/3/1985	NA	NA	NA	10.3	-0.1	2.5	*
	6/4/1985	4/16/1986	NA	NA	NA	6.4	0.1	2.2	*
	4/17/1986	3/14/1988	NA	NA	NA	9.9	-0.2	1.9	*
	3/15/1988	6/9/1989	NA	NA	NA	6.4	0.1	2.2	*
	6/10/1989	8/13/1990	NA	NA	NA	10.3	-0.1	2.0	*
	8/14/1990	4/21/1991	NA	NA	NA	9.9	-0.2	1.9	*
	4/22/1991	2/5/1992	NA	NA	NA	10.3	-0.1	2.0	*
	2/6/1992	1/21/1993	NA	NA	NA	8.8	-0.1	2.3	*
	1/22/1993	1/24/1996	NA	NA	NA	9.9	-0.2	1.9	*
	1/25/1996	11/7/1996	NA	NA	NA	8.8	-0.1	2.3	*
	11/8/1996	9/30/2003	NA	NA	NA	10.3	-0.1	2.0	*
	2/15/2005	7/31/2009	5.6	0.2	4.2	3.1	0.2	2.4	
	8/1/2009	3/31/2010	NA	NA	NA	11.6	-0.3	2.1	*
	4/1/2010	6/30/2010	NA	NA	NA	8.8	-0.1	2.3	*
	7/1/2010	7/31/2014	30.8	-0.4	2.8	13.0	-0.4	2.1	*
	8/1/2014	9/30/2018	5.8	0.0	2.2	7.4	0.0	2.6	
	4/24/1962	4/30/1974	10.9	-0.2	3.2	10.3	-0.2	3.1	
	5/1/1974	11/15/1975	5.5	0.1	3.7	4.8	0.1	3.5	
	11/16/1975	2/7/1976	NA	NA	NA	5.6	0.2	3.3	*
	2/8/1976	6/22/1976	4.0	0.1	-0.1	4.8	0.1	3.5	
	6/23/1976	3/25/1980	5.2	0.2	3.4	5.6	0.2	3.3	
	3/26/1980	6/10/1980	NA	NA	NA	4.8	0.1	3.5	*
	6/11/1980	3/25/1981	5.9	0.2	3.2	5.6	0.2	3.3	
H0143	3/26/1981	7/12/1981	NA	NA	NA	4.8	0.1	3.5	*
	7/13/1981	6/6/1983	4.0	0.2	1.8	5.6	0.2	3.3	
	6/7/1983	4/17/1984	NA	NA	NA	4.8	0.1	3.5	*
	4/18/1984	12/31/1987	4.6	0.2	2.8	5.6	0.2	3.3	
	1/1/1988	12/31/1989	NA	NA	NA	10.3	-0.2	3.1	*
	1/1/1990	6/23/2006	3.5	0.1	2.2	4.8	0.1	3.5	
	6/24/2006	2/23/2007	NA	NA	NA	10.3	-0.2	3.1	*
	2/24/2007	12/31/2013	2.7	0.1	3.0	2.3	0.1	2.9	
	1/1/2014	12/31/2015	NA	NA	NA	2.4	0.2	3.0	*
H0158	3/1/1964	12/31/1981	2.2	3.4	-0.1	0.1	3.4	0.0	*
	7/28/1982	3/31/2009	3.6	-0.5	0.8	7.0	-0.5	1.7	*
	3/18/1964	6/6/1964	20.4	-0.2	2.9	21.0	-0.2	2.8	
	6/7/1964	10/13/1965	NA	NA	NA	12.2	0.0	3.1	*
	10/14/1965	5/9/1966	NA	NA	NA	7.4	0.2	3.3	*
H0159	5/10/1966	1/31/1969	8.0	0.0	2.1	12.2	0.0	3.1	
	2/1/1969	3/23/1971	NA	NA	NA	12.2	0.0	3.1	*
	2/4/1969	3/23/1971	NA	NA	NA	7.4	0.2	3.3	*
	3/24/1971	4/5/1973	NA	NA	NA	12.2	0.0	3.1	*
	4/6/1973	1/31/1975	19.7	0.0	6.1	12.2	0.0	3.1	

	2/1/1975	5/10/1975	NA	NA	NA	17.2	-0.2	3.0	*
	5/11/1975	1/31/1977	11.4	0.0	3.2	12.2	0.0	3.1	
	2/1/1977	7/31/1977	NA	NA	NA	17.2	-0.2	3.0	*
	8/1/1977	5/14/1978	NA	NA	NA	17.2	-0.2	3.0	*
	5/15/1978	4/27/1979	NA	NA	NA	17.2	-0.2	3.0	*
	4/28/1979	8/25/1981	5.6	-0.2	0.4	21.0	-0.2	2.8	*
	8/26/1981	11/11/1981	NA	NA	NA	7.4	0.2	3.3	*
	11/12/1981	6/12/1982	NA	NA	NA	12.2	0.0	3.1	*
	6/13/1982	12/31/1987	7.0	0.2	3.1	7.4	0.2	3.3	
	1/1/1988	12/31/1989	NA	NA	NA	12.2	0.0	3.1	*
	1/1/1990	12/31/1990	3.8	0.2	-1.0	7.4	0.2	3.3	*
	1/1/1991	12/31/1999	3.6	0.0	0.8	12.2	0.0	3.1	*
	1/1/2000	4/20/2000	NA	NA	NA	17.2	-0.2	3.0	*
	4/21/2000	4/22/2001	NA	NA	NA	12.2	0.0	3.1	*
	4/23/2001	12/31/2004	6.2	-0.2	1.1	17.2	-0.2	3.0	*
	1/1/2005	12/31/2005	NA	NA	NA	21.0	-0.2	2.8	*
	1/1/2006	5/31/2006	NA	NA	NA	17.2	-0.2	3.0	*
	6/1/2006	3/14/2007	NA	NA	NA	12.2	0.0	3.1	*
	3/15/2007	3/31/2010	4.8	0.0	0.8	7.4	0.2	3.3	
	4/1/2010	10/31/2018	5.7	0.3	2.6	7.4	0.2	3.3	
	10/1/1966	2/6/1974	NA	NA	NA	4.5	0.8	3.8	*
	2/7/1974	12/31/1995	7.4	0.8	3.7	7.3	0.8	3.4	
H0166	1/1/1996	10/18/1996	NA	NA	NA	8.1	0.8	3.4	*
	10/19/1996	5/15/2012	8.7	0.4	3.5	8.1	0.4	3.4	
	5/16/2012	12/31/2015	38.8	-0.2	1.7	48.0	-0.2	1.9	
	2/1/1965	3/28/1977	NA	NA	NA	37.9	0.7	2.1	*
	3/29/1977	2/25/1989	9251.2	-0.1	-1.0	127.2	-0.1	1.7	*
H0168	2/26/1989	11/13/2002	76.6	0.7	1.7	37.9	0.7	2.1	*
	11/14/2002	10/21/2013	121.5	-0.1	1.7	127.2	-0.1	1.7	
	10/22/2013	12/31/2015	NA	NA	NA	37.9	0.7	2.1	*
H0170	8/6/1973	12/31/2011	169.2	-0.3	1.4	170.0	-0.3	1.5	
	1/1/2013	12/31/2015	NA	NA	NA	118.6	-0.3	1.7	*
	8/23/1973	9/8/1982	NA	NA	NA	7.5	0.3	2.8	*
	9/9/1982	2/17/1991	13.7	0.0	2.9	10.0	0.0	2.4	
H0172	2/18/1991	6/30/1991	NA	NA	NA	7.5	0.3	2.8	*
	7/1/1991	5/22/2004	1.1	0.0	-0.1	10.0	0.0	2.4	*
	5/23/2004	12/31/2013	7.2	0.3	2.4	7.5	0.3	2.8	
	3/1/1976	9/14/1981	10.2	0.3	2.1	12.5	0.3	2.4	
H0173	9/15/1981	12/31/2008	5.2	0.0	3.8	5.5	0.0	3.3	
	1/1/2009	12/31/2012	23.1	-0.4	2.5	19.0	-0.4	2.4	
	1/1/2013	12/31/2013	NA	NA	NA	5.5	0.0	3.3	*
	8/30/1962	4/30/1972	6.3	-0.1	2.0	8.1	-0.1	1.9	
H0229	5/1/1972	4/30/1984	4.3	-0.4	2.8	6.3	-0.4	2.0	
	5/1/1984	12/31/1997	1.0	0.0	2.9	1.0	0.0	3.3	
	9/1/2000	7/31/2009	3.7	-0.5	1.5	7.0	-0.5	1.7	

	8/1/2009	12/31/2015	0.1	1.1	3.9	0.1	1.1	3.9	
H0233	1/1/1965	10/29/2002	0.4	0.0	2.5	0.5	0.0	2.9	
H0272	2/20/1983	12/31/1998	0.4	0.2	6.5	1.2	0.2	2.6	
	12/30/2003	12/31/2013	5.3	0.2	1.5	5.6	0.2	1.9	
	11/12/1964	12/31/1989	NA	NA	NA	98.9	-0.2	2.0	*
H0326	1/1/1990	11/22/1997	73.3	0.1	2.0	52.8	0.5	2.1	
	11/23/1997	6/13/2003	61.3	0.5	1.9	78.0	0.1	2.0	
	6/14/2003	12/31/2007	35.2	0.9	2.7	33.3	0.9	2.6	
	6/5/1962	5/14/1965	NA	NA	NA	7.5	0.1	2.0	*
H0329	5/15/1965	12/31/1984	NA	NA	NA	5.3	0.4	2.5	*
	1/1/2006	12/31/2007	7.2	-0.6	1.2	9.6	-0.6	1.4	
	1/1/2008	12/31/2010	10.0	0.4	0.7	5.3	0.4	2.5	*
	11/1/1963	12/31/1971	NA	NA	NA	16.6	-0.2	2.4	*
	1/1/1972	4/7/1975	NA	NA	NA	17.0	-0.6	2.9	*
	4/8/1975	2/12/1982	NA	NA	NA	12.0	-0.6	2.7	*
	2/13/1982	12/31/1986	NA	NA	NA	19.1	-0.9	2.3	*
H0331	11/29/1991	1/18/1994	NA	NA	NA	16.5	-0.2	1.8	*
	1/19/1994	2/7/1996	NA	NA	NA	18.0	-0.2	1.7	*
	2/8/1996	12/31/2010	6.2	0.1	0.9	12.3	0.1	1.9	*
	1/1/2011	12/31/2012	NA	NA	NA	5.2	0.8	3.6	*
	1/31/1994	3/15/2015	5.3	0.3	1.3	16.5	0.3	1.8	*
	10/31/1963	2/29/1968	NA	NA	NA	7.2	-0.2	2.2	*
	3/1/1968	2/28/1969	NA	NA	NA	6.6	0.0	2.2	*
	3/1/1969	7/31/1972	NA	NA	NA	6.6	0.0	2.2	*
	8/1/1972	2/28/1975	NA	NA	NA	6.6	0.3	1.9	*
	3/1/1975	1/31/1977	NA	NA	NA	7.0	0.1	1.9	*
H0333	2/1/1977	7/31/1978	NA	NA	NA	6.6	0.0	2.2	*
	8/1/1978	12/31/1986	NA	NA	NA	7.2	-0.2	2.2	*
	1/1/1987	12/31/1989	NA	NA	NA	6.6	0.3	1.9	*
	1/1/1990	10/31/2011	6.2	-0.3	2.0	7.5	-0.3	2.2	
	11/1/2011	12/31/2012	NA	NA	NA	21.7	-0.4	1.8	*
	10/31/2011	3/14/2015	NA	NA	NA	7.5	-0.3	2.2	*
	4/5/1968	9/30/1973	NA	NA	NA	9.1	0.0	4.9	*
	10/1/1973	3/13/1981	NA	NA	NA	7.4	0.0	3.7	*
	3/14/1981	12/31/1983	NA	NA	NA	9.1	0.0	4.9	*
H0334	1/1/1984	1/22/1992	3.2	0.0	2.4	6.2	0.0	2.8	*
	1/23/1992	1/18/1994	NA	NA	NA	5.4	-0.2	3.1	*
	1/19/1994	7/23/2002	3.5	-0.1	5.2	2.9	-0.1	3.9	
	7/24/2002	2/13/2017	7.9	-0.4	3.5	2.9	-0.1	3.9	*
	12/18/1973	3/3/1975	NA	NA	NA	32.1	-0.1	1.8	*
	3/4/1975	12/31/1979	NA	NA	NA	32.1	-0.1	1.8	*
H0337	1/1/1980	12/31/2001	7.2	-0.1	0.4	32.1	-0.1	1.8	*
	1/1/2002	12/31/2004	NA	NA	NA	32.1	-0.1	1.8	*
	1/1/2005	2/10/2006	NA	NA	NA	18.2	0.2	2.2	*
	2/11/2006	6/30/2010	3.7	0.8	3.5	4.2	0.8	3.0	

	7/1/2010	12/31/2010	NA	NA	NA	32.1	-0.1	1.8	*
	1/1/2011	12/31/2016	3.7	0.8	3.4	4.2	0.8	3.0	
	8/13/1964	7/14/1971	NA	NA	NA	24.3	-0.6	2.3	*
	7/15/1971	3/10/1976	NA	NA	NA	12.2	0.5	2.9	*
	3/11/1976	4/7/1980	NA	NA	NA	16.5	0.3	2.6	*
H0338	4/8/1980	9/9/1985	NA	NA	NA	16.5	0.0	2.3	*
	9/10/1985	5/15/1987	NA	NA	NA	16.5	0.3	2.6	*
	5/16/1987	12/31/1997	17.6	0.0	1.8	16.5	0.0	2.3	
	1/1/1998	11/11/2006	15.6	0.3	1.8	16.5	0.3	2.6	
	11/12/2006	12/31/2016	10.6	0.5	3.2	12.2	0.5	2.9	
	1/2/1964	5/11/1964	NA	NA	NA	52.5	-0.1	1.9	*
	5/12/1964	2/28/1965	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
	3/1/1965	5/12/1965	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
	5/13/1965	2/27/1970	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
	2/28/1970	3/13/1972	NA	NA	NA	41.1	-0.1	2.1	*
	3/14/1972	2/24/1975	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
	2/25/1975	3/7/1975	NA	NA	NA	52.5	-0.1	1.9	*
	3/8/1975	9/30/1975	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
H0340	10/1/1975	2/9/1976	NA	NA	NA	52.5	-0.1	1.9	*
	2/10/1976	3/31/1976	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
	4/1/1976	5/17/1976	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
	5/18/1976	5/18/1978	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
	5/19/1978	12/31/1997	18.5	0.2	3.3	21.7	0.2	2.6	
	4/24/1998	7/31/2004	30.9	0.2	2.1	52.5	-0.1	1.9	*
	8/1/2004	8/31/2005	NA	NA	NA	21.7	0.2	2.6	*
	9/1/2005	12/31/2011	47.3	-0.1	1.4	52.5	-0.1	1.9	
	1/1/2012	12/31/2017	71.1	0.2	1.7	74.0	0.2	1.6	
	12/1/1964	7/9/1965	NA	NA	NA	15.2	0.0	2.6	*
	7/10/1965	12/15/1971	NA	NA	NA	21.4	0.0	2.5	*
H0343	12/16/1971	1/31/1994	27.5	0.0	2.0	29.1	0.0	2.3	
	2/1/1994	12/31/2007	24.0	0.2	2.4	22.8	0.2	2.5	
	1/1/2008	12/31/2017	25.0	0.3	1.9	27.5	0.3	2.0	
	12/1/1963	4/4/1971	NA	NA	NA	33.4	0.3	2.1	*
	5/7/1973	4/22/1979	NA	NA	NA	63.5	0.3	1.7	*
	4/5/1971	3/31/1972	NA	NA	NA	63.5	0.3	1.7	*
	4/1/1972	2/11/1973	NA	NA	NA	63.5	0.3	1.7	*
	3/16/1972	2/11/1973	NA	NA	NA	79.3	0.2	1.6	*
	2/1/1973	5/6/1973	NA	NA	NA	74.2	0.4	1.6	*
H0346	4/23/1979	12/31/1982	NA	NA	NA	74.2	0.4	1.6	*
	1/1/1983	3/2/1988	29.7	0.0	2.7	43.2	0.0	2.0	*
	2/22/1991	7/5/1991	NA	NA	NA	43.2	0.0	2.0	*
	7/6/1991	12/31/1998	58.7	0.2	1.7	59.6	0.2	1.7	
	3/3/1988	2/21/1991	NA	NA	NA	59.6	0.2	1.7	*
	1/1/1999	6/16/2003	NA	NA	NA	74.2	0.4	1.6	*
	6/17/2003	11/2/2003	NA	NA	NA	79.3	0.2	1.6	*

	11/3/2003	1/31/2008	80.0	0.4	1.4	74.2	0.4	1.6	
	2/1/2008	3/31/2008	NA	NA	NA	33.4	0.3	2.1	*
	4/1/2008	6/30/2010	NA	NA	NA	74.2	0.4	1.6	*
	7/1/2010	12/31/2017	97.8	-0.1	1.3	98.3	-0.1	1.3	
	10/1/1962	3/24/1977	NA	NA	NA	30.5	-0.5	2.7	*
	3/25/1977	2/22/1991	108.8	-0.5	1.5	76.7	-0.5	1.9	
H0347	2/23/1991	4/30/1998	100.5	-0.5	1.9	106.5	-0.5	1.8	
	11/1/2002	12/31/2010	74.7	-0.1	1.9	69.1	-0.1	2.1	
	1/1/2011	4/30/2014	71.8	0.8	1.9	53.3	0.8	2.2	
	12/1/1963	12/31/1971	NA	NA	NA	40.6	0.0	1.6	*
	1/1/1972	3/10/1979	NA	NA	NA	22.6	0.5	2.0	*
	3/11/1979	12/30/1982	NA	NA	NA	29.4	0.5	1.8	*
H0348	12/31/1982	12/31/1997	24.0	0.5	2.0	23.3	0.5	1.9	
	1/1/1998	12/31/1998	NA	NA	NA	23.3	0.5	1.9	*
	1/1/1999	12/31/2005	NA	NA	NA	29.4	0.5	1.8	*
	12/31/2010	3/16/2015	NA	NA	NA	19.3	-0.2	2.0	*
H0363	1/1/1965	12/31/1995	43.3	-0.3	0.8	23.5	-0.3	1.6	*
	10/22/1997	12/31/2016	104.4	1.3	0.6	20.2	1.3	1.6	*
H0365	1/1/1963	10/7/2002	27.8	0.0	1.8	22.1	0.0	2.6	
	10/8/2002	12/31/2017	35.2	-0.8	1.7	29.0	-0.8	1.9	
H0371	7/24/1970	10/31/2003	11.7	0.0	1.6	11.4	0.0	1.7	
	11/1/2003	12/31/2017	14.1	0.4	1.5	9.7	0.4	1.7	
H0385	12/31/2010	3/31/2014	NA	NA	NA	5.8	0.4	2.0	*
	12/31/2012	3/31/2014	NA	NA	NA	5.8	0.4	2.0	*
	10/1/1963	3/12/1965	NA	NA	NA	5.0	-0.1	2.3	*
	3/13/1965	7/9/1965	NA	NA	NA	15.0	0.4	1.6	*
	7/10/1965	1/17/1966	NA	NA	NA	5.0	-0.1	2.3	*
	1/18/1966	3/28/1966	NA	NA	NA	15.0	0.4	1.6	*
	3/29/1966	3/12/1973	NA	NA	NA	5.0	-0.1	2.3	*
H0448	3/13/1973	1/10/1975	NA	NA	NA	15.0	0.4	1.6	*
	1/11/1975	6/13/1979	NA	NA	NA	5.0	-0.1	2.3	*
	6/14/1979	2/29/1980	NA	NA	NA	15.0	0.4	1.6	*
	3/1/1980	11/18/1982	NA	NA	NA	5.0	-0.1	2.3	*
	11/19/1982	4/21/1983	NA	NA	NA	15.0	0.4	1.6	*
	4/22/1983	12/31/1991	9.2	-0.1	1.3	5.0	-0.1	2.3	*
	1/1/2004	5/23/2018	20.7	0.0	1.3	19.2	0.0	1.5	
	10/14/1973	3/2/1980	NA	NA	NA	3.4	0.2	3.6	*
	3/3/1980	8/1/1981	NA	NA	NA	6.5	-0.2	2.7	*
	8/2/1981	12/31/1998	5.2	-0.1	2.6	6.0	-0.1	2.8	
	1/1/1999	12/31/2000	NA	NA	NA	6.0	-0.1	2.8	*
H0466	10/20/2001	5/27/2003	2.2	0.1	1.2	5.1	0.1	2.7	*
	5/28/2003	12/2/2003	NA	NA	NA	6.0	0.1	2.8	*
	12/3/2003	6/11/2004	NA	NA	NA	5.1	0.1	2.7	*
	3/10/2005	10/15/2005	NA	NA	NA	6.5	-0.2	2.7	*
	10/16/2005	12/30/2007	4.4	0.1	2.4	5.1	0.1	2.7	

	1/1/2008	8/13/2009	NA	NA	NA	6.5	-0.2	2.7	*
	8/14/2009	7/2/2009	NA	NA	NA	5.1	0.1	2.7	*
	1/1/2009	5/19/2015	3.5	0.2	3.9	3.4	0.2	3.6	
	4/1/1976	2/26/1978	NA	NA	NA	11.2	-0.4	1.8	*
	2/27/1978	5/1/1979	NA	NA	NA	11.4	-0.4	1.8	*
	5/2/1979	11/2/1981	NA	NA	NA	11.3	-0.4	1.8	*
	11/3/1981	1/16/1982	NA	NA	NA	2.8	0.0	4.5	*
H0467	1/17/1982	12/27/1982	NA	NA	NA	11.3	-0.4	1.8	*
	12/28/1982	12/31/1996	3.0	0.0	5.5	2.9	0.0	5.2	
	6/16/1998	12/31/2007	4.9	-0.4	3.2	5.8	-0.4	3.3	
	1/1/2008	12/31/2010	NA	NA	NA	5.8	-0.4	3.3	*
	8/13/2009	5/19/2015	4.8	-0.5	1.4	6.9	-0.5	1.7	
	7/20/1976	12/31/1994	9.5	-0.4	1.8	14.5	-0.4	2.1	
H0468	1/1/1995	12/31/2007	10.2	-0.8	1.2	14.9	-0.8	1.5	
	1/1/2008	5/19/2015	5.4	-0.2	2.3	5.6	-0.2	2.1	
	4/1/1965	7/31/1989	6.7	0.2	3.4	7.3	0.2	3.2	
H0471	8/1/1989	12/31/2007	10.5	0.2	2.5	10.3	0.2	2.8	
	1/1/2008	12/31/2016	13.7	0.2	1.0	10.3	0.2	2.8	
H0507	10/10/2002	2/29/2008	2.0	-0.1	1.7	4.6	-0.1	2.3	
	3/1/2008	3/31/2014	1.9	0.2	1.6	3.6	0.2	2.9	
	2/19/1964	6/3/1970	NA	NA	NA	13.1	0.0	3.3	*
	6/4/1970	2/20/1971	NA	NA	NA	11.1	0.0	3.3	*
	2/21/1971	1/31/1974	NA	NA	NA	1.3	1.0	4.2	*
	2/1/1974	3/31/1974	NA	NA	NA	3.8	0.0	4.8	*
	4/1/1974	12/31/1977	NA	NA	NA	1.3	1.0	4.2	*
	11/1/1980	3/17/1983	NA	NA	NA	13.0	0.7	2.9	*
H0529	3/18/1989	4/11/1990	NA	NA	NA	20.3	0.3	2.7	*
	4/12/1990	10/23/1997	41.6	-0.2	1.1	50.2	-0.2	1.8	
	10/24/1997	7/29/2002	NA	NA	NA	1.3	1.0	4.2	*
	4/4/1970	2/20/1971	NA	NA	NA	11.1	0.0	3.3	*
	7/30/2002	10/31/2002	NA	NA	NA	1.3	1.0	4.2	*
	11/1/2002	12/8/2003	NA	NA	NA	1.3	1.0	4.2	*
	12/9/2003	12/31/2013	52.6	-0.4	1.3	52.0	-0.4	1.4	
	1/1/1967	3/19/1971	0.2	0.0	4.9	1.4	0.0	3.3	*
	3/20/1971	5/31/1974	14.2	-1.6	2.3	10.0	-1.6	2.9	
	6/1/1974	3/31/1984	19.7	-0.5	2.6	23.0	-0.5	2.2	
H0530	4/1/1984	2/24/1989	4.1	0.0	2.8	9.5	-0.3	2.1	*
	2/25/1989	5/31/1990	NA	NA	NA	1.4	0.0	3.3	*
	6/1/1990	10/31/1997	0.0	0.0	7.1	0.2	0.0	4.8	*
	11/1/1997	10/23/2001	NA	NA	NA	1.4	0.0	3.3	*
	10/19/2012	12/31/2014	NA	NA	NA	67.6	-2.6	1.5	*
	10/1/1970	12/31/1971	NA	NA	NA	13.1	-0.1	1.4	*
H0573	1/1/1972	1/28/1983	NA	NA	NA	8.0	-0.1	1.8	*
	1/29/1983	4/30/1983	NA	NA	NA	13.1	-0.1	1.4	*
	5/1/1983	12/31/1997	12.3	-0.1	1.0	9.8	0.2	1.5	

	10/24/2001	7/31/2009	8.6	-0.5	1.9	12.2	-0.5	2.2	
	8/1/2009	12/31/2015	10.8	-0.6	2.3	10.2	-0.6	2.4	
	10/9/1963	5/11/1964	NA	NA	NA	22.0	0.0	2.0	*
	5/12/1964	1/31/1972	NA	NA	NA	36.9	-0.1	1.7	*
	2/1/1972	4/7/1973	NA	NA	NA	22.0	0.0	2.0	*
	4/8/1973	1/31/1976	NA	NA	NA	22.0	0.0	2.0	*
	2/1/1976	8/31/1976	NA	NA	NA	22.0	0.0	2.0	*
	9/1/1976	2/27/1977	NA	NA	NA	23.9	-0.5	2.2	*
	2/28/1977	4/16/1978	NA	NA	NA	22.0	0.0	2.0	*
	4/17/1978	3/31/1979	NA	NA	NA	23.9	-0.5	2.2	*
H0574	4/1/1979	4/1/1980	NA	NA	NA	22.0	0.0	2.0	*
	4/2/1980	10/31/1982	NA	NA	NA	23.9	-0.5	2.2	*
	11/1/1982	1/29/1983	NA	NA	NA	22.0	0.0	2.0	*
	1/30/1983	3/25/1983	NA	NA	NA	22.0	0.0	2.0	*
	3/26/1983	6/7/1983	NA	NA	NA	36.9	-0.1	1.7	*
	6/8/1983	11/18/1986	23.1	0.1	1.7	36.9	-0.1	1.7	
	11/19/1986	10/6/1987	23.1	0.1	2.4	34.3	0.1	1.7	*
	10/7/1987	10/6/2002	22.1	0.0	1.9	22.0	0.0	2.0	
	10/7/2002	12/31/2012	37.8	-0.1	1.6	33.2	-0.1	1.5	
	1/1/2013	12/31/2015	NA	NA	NA	29.1	0.1	1.2	*
	10/24/1963	4/13/1969	NA	NA	NA	21.2	0.0	2.2	*
	4/14/1969	3/11/1974	NA	NA	NA	19.5	-0.1	2.5	*
	3/12/1974	3/3/1976	NA	NA	NA	21.2	0.0	2.2	*
	3/4/1976	3/1/1979	NA	NA	NA	19.5	-0.1	2.5	*
	3/2/1979	3/15/1981	NA	NA	NA	21.2	0.0	2.2	*
H0588	3/16/1981	12/14/1982	NA	NA	NA	19.5	-0.1	2.5	*
	12/15/1982	4/21/1987	14.1	0.0	1.6	21.2	0.0	2.2	
	4/22/1987	12/31/1988	21.7	0.0	2.7	21.2	0.0	2.2	
	1/1/1989	5/4/1999	23.3	-0.2	2.5	22.2	-0.2	2.4	
	5/5/1999	12/31/2000	NA	NA	NA	22.2	-0.2	2.4	*
	1/1/2013	12/31/2015	NA	NA	NA	28.3	0.2	1.1	*
H0591	1/1/1965	5/31/2018	10.4	0.8	2.8	11.9	0.8	2.7	
H0616	1/1/1965	10/31/2004	2.4	0.0	7.0	6.0	0.0	3.0	*
	11/1/2004	8/31/2018	32.8	-0.6	2.4	33.5	-0.6	2.5	
	8/27/1963	5/31/1965	NA	NA	NA	4.4	0.0	4.4	*
	6/1/1965	12/31/1966	NA	NA	NA	61.0	-0.6	1.8	*
	1/1/1967	3/31/1973	NA	NA	NA	20.5	0.0	2.9	*
	4/1/1973	6/30/1975	NA	NA	NA	45.5	0.0	2.1	*
	1/1/1978	11/1/1980	NA	NA	NA	26.8	0.4	2.5	*
H0617	9/12/1980	10/4/1983	NA	NA	NA	47.7	-0.1	2.6	*
	6/12/1980	10/4/1983	NA	NA	NA	45.5	0.0	2.1	*
	10/5/1983	12/31/1993	22.0	0.0	2.2	19.0	0.0	4.2	
	1/1/1994	12/31/1999	NA	NA	NA	45.5	0.0	2.1	*
	2/26/2005	10/31/2011	21.9	0.4	0.7	30.6	0.4	2.1	
	1/1/2013	12/31/2015	14.3	2.1	0.9	3.4	2.1	2.6	*

	1/1/1967	3/31/1969	1.0	0.0	2.4	10.4	0.0	3.5	*
	6/23/1969	12/31/1977	0.6	0.5	8.1	1.0	0.5	5.9	
	10/9/1979	2/10/1982	4.4	0.3	4.4	3.7	0.3	4.3	
H0625	2/11/1982	3/17/1986	0.5	0.3	0.2	3.7	0.3	4.3	*
	3/18/1986	12/31/2001	NA	NA	NA	3.7	0.3	4.3	*
	8/1/2002	6/30/2004	NA	NA	NA	3.7	0.3	4.3	*
	3/1/2005	12/31/2011	4.0	0.0	4.0	4.1	0.0	3.6	
	8/6/2009	12/31/2012	1.1	0.2	5.1	1.2	0.2	5.9	
	12/1/1966	2/28/1978	NA	NA	NA	26.0	0.0	2.1	*
H0627	3/1/1978	12/31/1998	4.7	0.0	3.2	5.0	0.0	3.1	
	1/1/1999	7/31/2009	4.0	0.1	4.0	3.6	0.1	3.7	
	8/1/2009	10/31/2018	5.9	-0.2	2.5	6.2	-0.2	2.5	
H0783	2/1/1965	12/31/2016	9.4	-0.2	2.8	11.0	-0.2	2.9	
H0787	11/28/1962	12/31/2016	5.3	0.1	1.5	5.2	0.1	2.5	
	4/1/1965	4/1/1966	NA	NA	NA	29.7	-0.2	2.8	*
	4/2/1966	8/18/1970	NA	NA	NA	9.5	0.3	3.4	*
	8/19/1970	6/17/1971	NA	NA	NA	29.7	-0.2	2.8	*
H0788	6/18/1971	6/30/1975	NA	NA	NA	1.8	1.1	4.0	*
	7/1/1975	8/31/1985	NA	NA	NA	9.5	0.3	3.4	*
	9/1/1985	12/31/2009	1.5	1.1	4.3	1.8	1.1	4.0	
	1/1/2010	12/31/2016	39.2	0.0	1.4	48.1	0.0	1.4	
	7/1/1964	9/15/1964	NA	NA	NA	23.4	-0.2	2.5	*
	9/16/1964	9/21/1966	NA	NA	NA	26.8	-0.2	2.4	*
	9/22/1966	6/17/1970	NA	NA	NA	23.4	-0.2	2.5	*
	6/18/1970	12/20/1974	NA	NA	NA	20.7	-0.1	2.6	*
H0789	12/21/1974	6/30/1988	14.7	0.0	2.1	18.6	0.0	2.7	
	7/1/1988	12/31/1995	3.7	-0.2	0.3	23.4	-0.2	2.5	*
	1/1/1996	12/31/2002	3.2	-0.2	0.0	26.8	-0.2	2.4	*
	5/23/2004	3/31/2014	10.5	0.1	1.9	10.1	0.1	2.2	
	8/29/2007	3/31/2015	9.1	0.2	1.7	12.2	0.2	2.1	
	3/1/1965	8/17/1970	NA	NA	NA	32.7	-0.5	2.0	*
	8/18/1970	12/31/1979	NA	NA	NA	32.7	-0.5	2.0	*
	1/1/1980	2/14/1994	30.5	-0.6	1.4	32.7	-0.5	2.0	
	2/15/1996	4/16/2001	NA	NA	NA	25.8	-0.6	2.2	*
H0790	4/17/2001	8/31/2005	25.1	-0.5	1.9	32.7	-0.5	2.0	
	9/1/2005	8/27/2007	25.8	-0.5	1.5	32.7	-0.5	2.0	
	8/28/2007	6/30/2010	38.2	-0.6	1.7	32.7	-0.5	2.0	
	7/1/2010	12/31/2012	NA	NA	NA	32.7	-0.5	2.0	*
	1/1/2013	12/31/2017	21.0	-0.5	1.4	25.8	-0.6	2.2	
	11/1/1962	12/31/1963	NA	NA	NA	1.8	0.0	1.7	*
	1/1/1964	4/30/1965	NA	NA	NA	2.0	0.1	1.5	*
H0791	5/1/1965	2/2/1974	NA	NA	NA	1.5	0.4	1.7	*
	2/3/1974	12/31/1979	NA	NA	NA	1.8	0.0	1.7	*
	1/1/1980	5/31/1998	0.5	0.0	0.7	1.3	0.0	1.9	
	6/1/1998	10/31/2005	0.3	0.1	0.3	2.0	0.1	1.5	*

H0793	11/1/2005	3/31/2015	0.2	0.0	0.3	2.6	0.0	2.8	*
	7/1/1965	9/30/1969	NA	NA	NA	5.3	-0.2	3.3	*
	10/1/1969	2/28/1979	NA	NA	NA	9.2	-0.2	2.2	*
	3/1/1979	12/31/1979	NA	NA	NA	5.3	-0.2	3.3	*
	1/1/1980	5/11/1987	NA	NA	NA	9.2	-0.2	2.2	*
	5/12/1987	6/21/2001	3.2	0.0	1.4	7.9	0.0	2.1	*
	6/22/2001	2/28/2010	15.3	-0.2	2.1	11.5	-0.2	1.7	
	3/1/2010	9/30/2011	14.7	-0.2	3.2	9.2	-0.2	2.2	
	10/1/2011	12/31/2011	NA	NA	NA	31.3	-0.5	1.6	*
	1/1/2012	12/31/2013	NA	NA	NA	9.2	-0.2	2.2	*
	12/31/2013	7/31/2015	NA	NA	NA	9.2	-0.2	2.2	*
H0899	1/1/1965	4/1/1968	1.6	0.2	4.3	1.8	0.2	4.1	
	4/2/1968	12/31/2003	8.6	-0.4	1.5	20.6	-0.4	2.4	

Las ecuaciones que no presentan un asterisco en la tabla de ecuaciones generadas tienen una gran similitud con las proporcionadas por el INAMHI. Aunque los valores no sean idénticos, la diferencia es mínima, por lo que se consideran similares si los coeficientes no discrepan más del 20%.

También se generan dos anexos que muestran los valores atípicos eliminados de cada estación, identificados mediante un análisis de diagrama de caja. El Anexo 2 incluye registros de las estaciones junto con la fecha, hora y los valores de caudal y sus transformaciones logarítmicas. Estos valores fueron considerados atípicos y eliminados del análisis. Mientras que el Anexo 3 lista los valores atípicos eliminados de las estaciones, indicando la fecha, hora y los valores de caudal y sus transformaciones logarítmicas.

3.1.2 Aplicación de ecuación de curvas de descarga

Aquí se generan archivos de salida que contienen información sobre el comportamiento del agua en la región estudiada. Estos archivos incluyen, en primer lugar, los caudales calculados a partir de los niveles de agua registrados, lo cual proporciona una medida fundamental para comprender el flujo hídrico en diferentes momentos y lugares. Además, se presentan estadísticas resumidas, como caudales máximos, promedios y cuantiles, que ofrecen una visión completa de la distribución y variabilidad de los caudales a lo largo del tiempo. Estas estadísticas fueron obtenidas de la siguiente manera:

Tabla 5. Obtención de caudales máximos, promedios y cuantiles**Fuente:** Elaboración propia

Parámetro	Obtención
Q_max, Q_min	Se busca el valor más alto y bajo de caudal respectivamente registrado para cada estación
Q_prom	Media aritmética de todos los valores de caudal registrado
Q_10	Percentil 10 es el valor por debajo del cual se encuentra el 10% de los valores. Se ordenan todos los valores del caudal calculado de menor a mayor y se encuentra el valor que corresponde al décimo percentil.
Q_50	Separa la mitad superior con la inferior, Se ordenan todos los valores del caudal calculado de menor a mayor y se encuentra el valor que corresponde a la mediana
Q_95	Es el valor por debajo del cual se encuentra el 95% de los valores. Se ordenan todos los valores del caudal calculado de menor a mayor y se encuentra el valor que corresponde al décimo percentil.

Por último, se incluyen los modelos de regresión utilizados para estimar los intervalos de confianza asociados a los datos, lo que brinda una evaluación cuantitativa de la incertidumbre en las predicciones hidrológicas. Sin embargo, debido a que los resultados son cerca de 33 000 no se incluirán todos y de los datos presentados se realizará un análisis de valores que parecerían resultar atípicos.

Tabla 6. Caudales máximos, promedios y cuantiles**Fuente:** Elaboración propia

Estación	Q_MAX	Q_PROM	Q_MIN	Q10	Q50	Q95
H0011	1352.3	311.9	57.9	143.9	265.6	674.7
H0016	491604543.9	1898109.7	3.4	7.8	18.0	49.9
H0017	229.3	23.7	1.8	9.5	19.6	51.4
H0045	145.0	15.2	0.3	2.6	9.7	51.2
H0091	64.1	6.8	0.3	1.2	4.5	16.5
H0143	393.6	16.4	0.9	2.8	8.3	59.4
H0158	5.0	2.6	1.9	1.9	2.6	3.5
H0159	346.9	7.3	1.4	2.5	4.1	15.2

H0166	289.3	40.7	4.7	8.3	24.5	136.4
H0168	5247.0	1516.1	190.9	346.3	982.1	4197.9
H0170	2012.3	521.5	75.4	151.5	394.1	1252.4
H0172	1351.3	30.9	0.1	1.0	2.0	172.2
H0173	6304.1	180.0	0.4	1.7	8.9	1176.4
H0229	652.3	57.7	0.0	0.7	5.6	398.4
H0233	221.0	2.7	0.0	0.1	0.6	9.6
H0272	4948.0	253.7	0.0	0.1	2.6	2064.6
H0326	1951.4	286.9	9.1	21.2	209.7	817.7
H0329	24.5	9.3	1.6	2.3	8.8	21.3
H0331	19.7	5.0	0.3	1.7	4.0	12.2
H0333	24.0	1.9	0.1	0.4	1.2	5.3
H0334	97.8	3.9	0.0	0.3	0.9	15.2
H0337	8.9	4.3	1.4	2.6	4.2	6.8
H0338	61.5	19.2	4.2	7.1	14.3	48.8
H0340	558.6	68.0	6.7	13.2	42.0	206.9
H0343	11916.7	244.0	3.8	5.8	32.9	161.0
H0346	2820.3	365.6	12.5	21.8	110.2	1189.0
H0347	2096.8	413.0	2.8	44.5	200.3	1218.5
H0348	996.5	389.4	21.2	39.0	269.3	968.8
H0363	567.4	197.1	0.9	50.3	200.5	383.0
H0365	1635.0	406.5	0.0	31.9	192.9	1349.4
H0371	405.4	88.0	1.8	7.2	46.8	221.7
H0385	Inf	NA	Inf	NA	NA	NA
H0448	353.1	63.1	2.5	5.1	24.5	220.4
H0466	277.8	8.9	0.1	0.9	3.8	27.7
H0467	19710172.3	81788.5	0.1	0.3	1.1	16.3
H0468	63.3	7.3	0.1	1.8	5.0	22.9
H0471	375.7	29.9	0.3	5.7	17.6	95.1
H0507	12.8	1.3	0.1	0.3	0.7	4.0
H0529	286.2	92.5	16.0	34.5	86.4	184.7
H0530	13369.5	337.9	16.6	40.8	112.7	923.9
H0573	353.0	7.8	0.0	0.1	1.4	24.1
H0574	163.9	13.7	0.9	2.8	5.2	68.1
H0588	100.0	19.2	0.9	3.0	10.7	61.1
H0591	1791.1	203.3	10.7	18.7	77.3	777.2
H0616	2630430.7	14255.6	0.1	0.5	3.1	2802.8
H0617	96.0	31.2	3.0	17.5	29.2	65.6
H0625	401.7	8.6	0.1	0.2	0.5	24.7
H0627	44.7	7.2	0.3	2.5	5.8	18.0
H0783	18.6	4.1	0.5	1.2	3.3	9.3
H0787	43.1	16.1	3.4	7.4	14.7	29.5
H0788	203.1	55.5	6.9	20.9	45.3	129.3
H0789	40.1	7.7	2.7	3.2	7.0	14.1
H0790	280.0	46.8	6.9	15.2	38.8	116.3

H0791	0.7	0.2	0.0	0.2	0.2	0.4
H0793	26.8	3.9	0.0	0.6	2.0	12.7
H0899	115.4	14.9	1.2	4.2	11.9	36.2

- H0016:
MAX_Q: 491604543.898 m³/s.
PROM_Q: 1898109.715 m³/s.

Estos valores extremadamente altos para el caudal máximo y promedio son bastante inusuales y podrían indicar errores en la recolección o registro de datos en esta estación. Se requeriría una revisión cuidadosa de estos datos para determinar su validez.

- H0385
MAX_Q: Inf (infinito).
PROM_Q: NA (no disponible).

El valor "Inf" para el caudal máximo indica que no hay un límite superior definido para los datos registrados en esta estación. La ausencia de un valor promedio ("PROM_Q") sugiere que puede haber problemas con la disponibilidad o calidad de los datos en esta estación.

- H0467
MAX_Q: 19710172.327 m³/s.
PROM_Q: 81788.450 m³/s.

Al igual que en el caso de la estación H0016, estos valores extremadamente altos para el caudal máximo y promedio son muy inusuales y necesitarían una revisión exhaustiva para verificar la precisión de los datos.

- H0530
MAX_Q: 13369.451 m³/s.
PROM_Q: 337.915 m³/s.

Esta estación muestra una gran disparidad entre el caudal máximo y el promedio, lo que podría indicar eventos de crecida excepcionales en ciertos períodos, lo que justificaría una revisión más detallada de los datos.

3.1.3 Series máximas anuales

En esta sección, se muestran gráficos de las series de caudales máximos anuales para cada estación. En estos gráficos, el eje de las ordenadas representa el caudal máximo anual, mientras que en las abscisas se representa el periodo en años de la estación,

además, aquí se presenta un resumen de los resultados del apartado anterior que correspondería el máximo por año de cada estación.

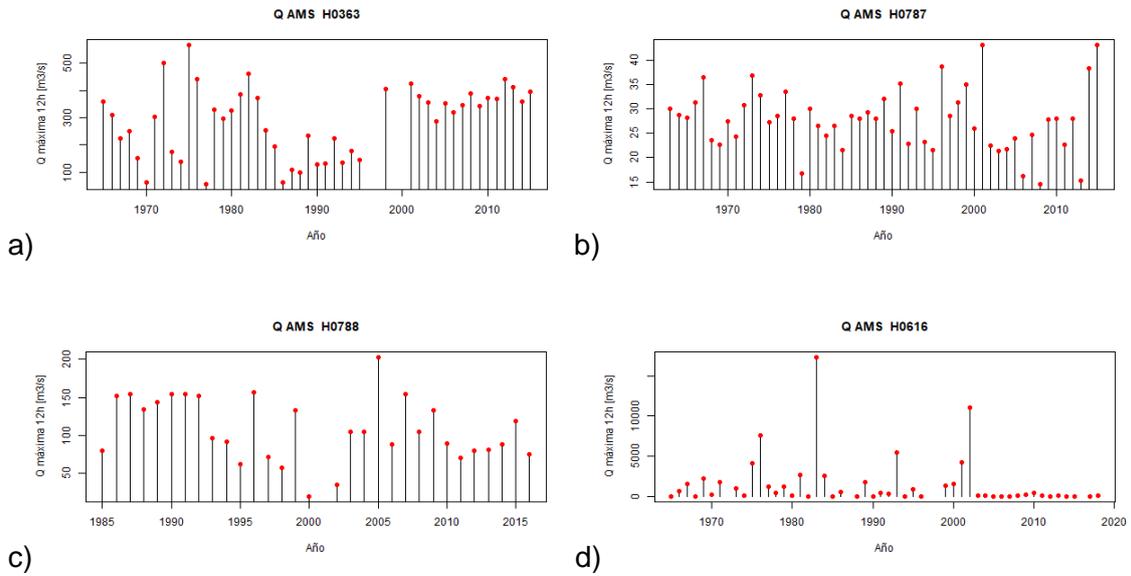


Figura 6. Series máximas anuales con comportamiento similar entre ciertas estaciones

Fuente: Elaboración propia

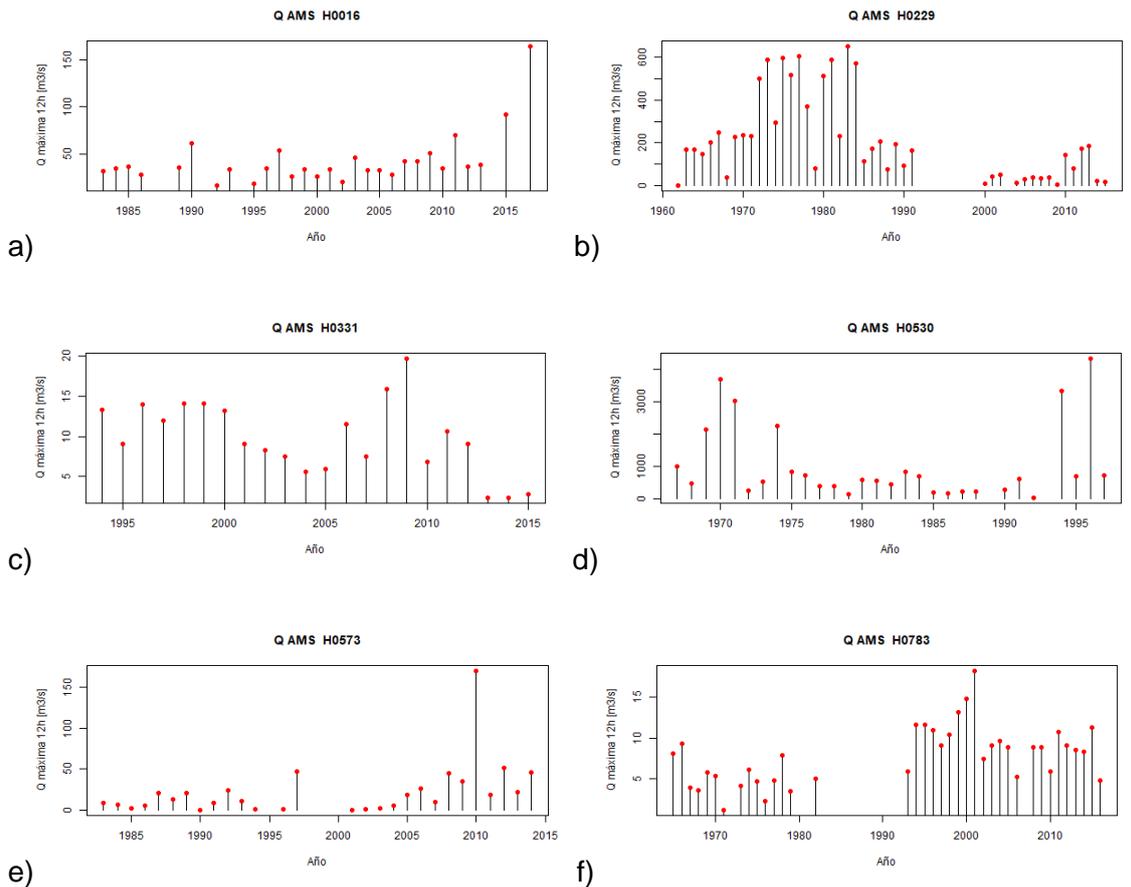


Figura 7. Series máximas anuales con comportamiento diferente entre ciertas estaciones

Fuente: Elaboración propia

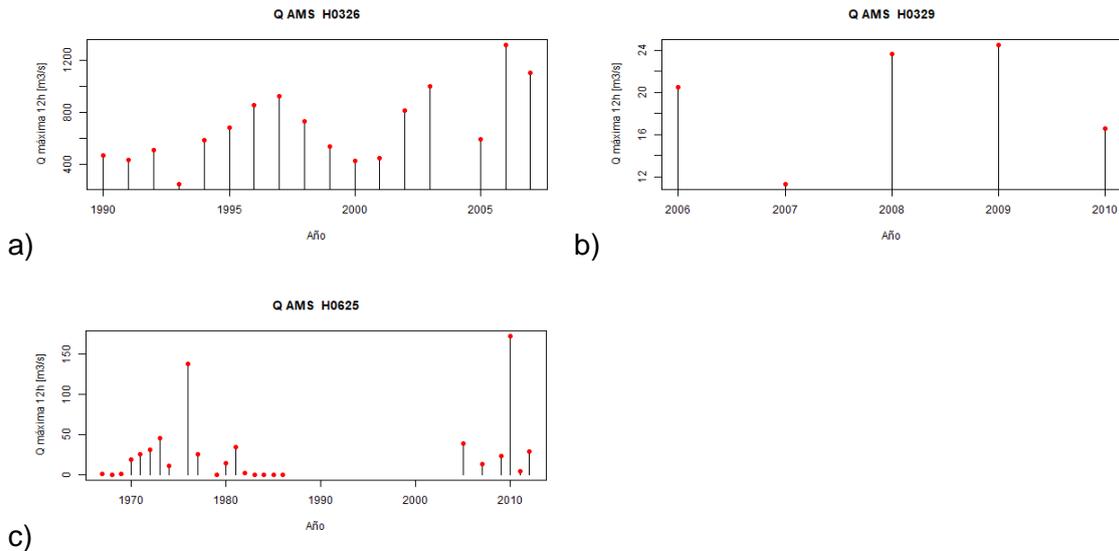


Figura 8. Series máximas anuales con datos dispersos o insuficientes

Fuente: Elaboración propia

Se presenta un resumen de lo que representa cada gráfica de AMS:

Estaciones con comportamiento similar:

H0363 y H0787: Estas estaciones exhiben una homogeneidad en sus datos a lo largo del tiempo.

H0616 y H0788: Presentan valores homogéneos en la mayoría de los años, con excepciones en años específicos.

Estaciones con comportamiento diferente:

H0016: Se eliminaron datos en varios años debido a que no se ajustaban a la distribución.

H0229: Experimentó una reducción de caudales después del año 2000, con un vacío de datos entre 1991 y 2000.

H0331: También muestra una reducción de caudales después de 2012.

H0530: Tiene valores bajos en la mayoría de los años, con excepciones en algunos períodos.

H0573: Se destaca por un valor anómalo en 2010.

H0783: Experimentó un vacío de datos entre 1983 y 1992.

Estaciones con datos dispersos o insuficientes:

H0326, H0329, H0617: Tienen datos limitados o insuficientes para un estudio hidrológico completo.

H0625: Presenta un vacío de datos entre 1987 y 2005, con valores dispersos en otros períodos.

Estaciones con otros patrones específicos:

H0091: Se eliminaron datos en 2010, con un máximo en 2009.

H0233: Muestra homogeneidad en sus datos.

H0347: Tiene valores homogéneos con vacíos en algunos períodos.

H0371: Experimentó caudales bajos en 2005.

H0448: Tiene un vacío de datos entre 1991 y 2003.

H0466: Presenta caudales bajos hasta 2009.

H0471 y H0627: Tienen un máximo en 1994 y 1999, respectivamente.

H0507: Muestra un máximo en 2006.

H0791: Experimentó una reducción de caudales después de 1995.

H0793: Experimentó un incremento de caudales después de 2001.

3.1.4 Ajuste de distribución de frecuencias y pruebas de bondad de ajuste

Durante el proceso de ajuste de distribuciones y pruebas de bondad de ajuste, se llevaron a cabo análisis detallados utilizando las pruebas de Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov. Estas pruebas permitieron seleccionar la metodología más adecuada para estimar los caudales correspondientes a diferentes períodos de retorno. Es importante mencionar que se consideró tanto el método de Máxima Verosimilitud (MLE) como el de Momentos de Mínimos (MME) para el ajuste de las distribuciones, dependiendo de la disponibilidad de datos y la precisión requerida en los resultados. El método de MLE se utilizó en aquellos casos en los que se contaba con un conjunto de datos lo suficientemente grande y representativo. Este método busca estimar los parámetros de la distribución que maximizan la probabilidad de observar los datos proporcionados. Se consideró especialmente útil cuando se disponía de una cantidad suficiente de datos para obtener estimaciones precisas de los parámetros de las distribuciones. Por otro lado, el método de MME se empleó en situaciones en las que el número de datos disponibles era limitado o cuando se requería una aproximación más robusta basada en momentos estadísticos. Este método busca estimar los parámetros de la distribución de manera que los momentos teóricos coincidan con los momentos empíricos de los datos observados. Se aplicó con éxito en casos donde la cantidad de datos era insuficiente para una estimación precisa utilizando el método de

MLE. Durante el proceso de selección de la prueba de bondad de ajuste más apropiada, se buscó obtener una evaluación precisa de las distribuciones de frecuencia para calcular los caudales correspondientes a diferentes periodos de retorno. Sin embargo, se observó que, en algunos casos, no fue posible aplicar la distribución Gumbel debido a la falta de datos, especialmente cuando había menos de tres aforos disponibles. Aunque se plantea la posibilidad de que la distribución Gumbel no sea aplicable en estos casos, es importante tener en cuenta que esta afirmación puede requerir una validación adicional. Por esta razón, se tomó la precaución de no ajustar la distribución Gumbel en situaciones donde la cantidad de datos no era suficiente, con el fin de evitar resultados poco confiables.

Tabla 7. Prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov

Fuente: Elaboración propia

Estación	CHI	Kolmogorov -
	CUADRADO	Smirnov
	Mayor P	Menor D
H0011	Pearson III	Pearson III
H0016	Gumbel	Log Normal
H0017	Log Normal	Log Normal
H0045	Log Normal	Log Normal
H0143	Log Pearson III	Log Pearson III
H0158	Pearson III	Pearson III
H0159	Log Pearson III	Log Pearson III
H0166	Gumbel	Log Normal
H0168	Pearson III	Gumbel
H0170	Gumbel	Pearson III
H0172	Log Pearson III	Pearson III
H0173	Log Pearson III	Log Pearson III
H0229	Log Pearson III	Log Pearson III
H0233	Log Pearson III	Log Pearson III
H0272	Log Pearson III	Log Pearson III
H0326	Log Normal	Log Normal
H0331	Gumbel	Pearson III
H0333	Log Normal	Log Pearson III
H0334	Log Pearson III	Log Pearson III
H0337	Pearson III	Pearson III
H0338	Gumbel	Pearson III
H0340	Gumbel	Pearson III
H0343	Pearson III	Pearson III

H0347	Log Normal	Pearson III
H0363	Pearson III	Pearson III
H0365	Log Pearson III	Log Pearson III
H0371	Pearson III	Pearson III
H0448	Gumbel	Log Pearson III
H0466	Log Pearson III	Log Pearson III
H0467	Log Pearson III	Log Pearson III
H0468	Gumbel	Log Pearson III
H0471	Gumbel	Log Pearson III
H0529	Pearson III	Pearson III
H0530	Log Pearson III	Log Pearson III
H0573	Gumbel	Log Pearson III
H0574	Log Pearson III	Log Pearson III
H0591	Gumbel	Log Normal
H0617	Log Pearson III	Log Pearson III
H0625	Log Pearson III	Log Pearson III
H0627	Gumbel	Log Pearson III
H0783	Gumbel	Log Pearson III
H0787	Log Normal	Log Normal
H0788	Log Normal	Gumbel
H0789	Log Pearson III	Log Pearson III
H0790	Gumbel	Gumbel
H0791	Log Normal	Log Pearson III
H0793	Log Pearson III	Log Pearson III
H0899	Gumbel	Pearson III

Tabla 8. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov con pocos valores

Fuente: Elaboración propia

Estación	KS con pocos valores
	Menor D
H0091	Log Normal
H0329	Log Normal
H0346	Pearson III
H0348	Pearson III
H0507	Pearson III
H0588	Log Normal

3.1.5 Elaboración de curvas envolvente de caudales máximos observados y de periodos de retorno

3.1.5.1 Caudales máximos observados

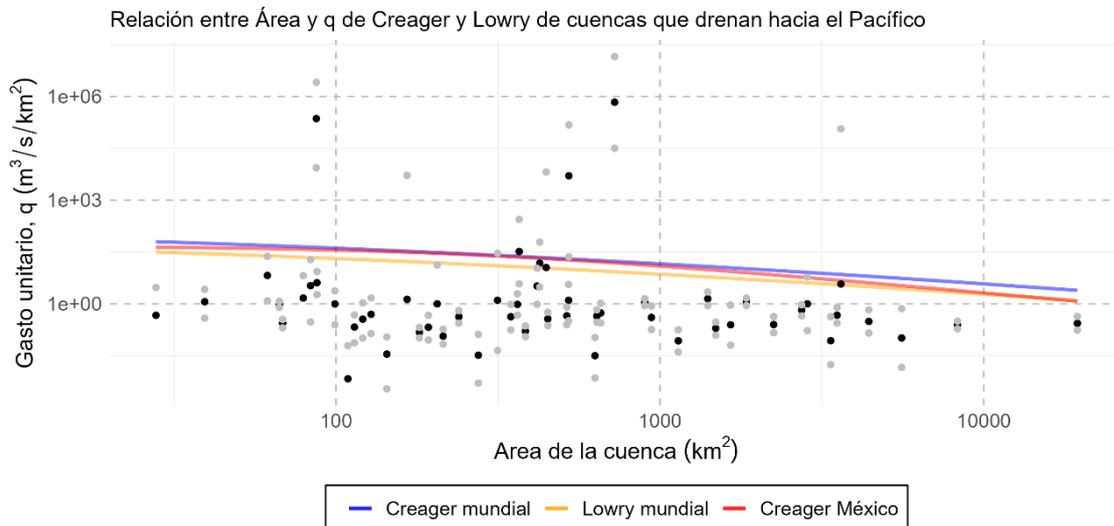


Figura 9. Curva envolvente de caudales máximos. Los puntos de color negro indican los caudales máximos y los puntos de color gris indican un rango del cuál se espera esté el verdadero caudal máximo de la estación

Fuente: Elaboración propia

Se observa en el gráfico que la mayoría de los puntos que representan el gasto unitario de cada cuenca hidrológica, basados en una estación, se sitúan dentro de las curvas envolventes de Creager a nivel mundial, Creager con un coeficiente mexicano y Lowry a nivel mundial. Esto indica que los resultados obtenidos en este estudio están dentro de los límites establecidos por las envolventes mundiales o regionales utilizadas aquí. Además, se han representado puntos en color gris que reflejan el 95% de incertidumbre tanto para un caudal superior como para un caudal inferior.

Sin embargo, es importante prestar especial atención a tres estaciones que se encuentran significativamente por encima de las curvas envolventes mundiales y regionales. Si se pretende utilizar estos datos, sería necesario analizar primero la fiabilidad de estos, ya que representan valores muy elevados. Utilizar un caudal de diseño para cualquier tipo de obra basado en estos datos podría resultar en costos excesivos. Estas estaciones son las siguientes:

Tabla 9. Estaciones con caudales unitarios atípicos

Fuente: Elaboración propia

Estación	Caudal calculado (m ³ /s)
H0016	678449.5
H0067	223814.4
H0616	5025.66

3.1.5.2 Caudales periodo de retorno

Se utilizaron los resultados de las pruebas de bondad de ajuste para seleccionar los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, con el propósito de generar las curvas envolventes.

Tabla 10. Caudales para 25, 50 y 100 años de periodo de retorno

Fuente: Elaboración propia

Estación	Q (m ³ /s) TR=25		Q (m ³ /s) TR=50		Q (m ³ /s) TR=100	
	Caudal	Distrib. Ajuste	Caudal	Distrib. Ajuste	Caudal	Distrib. Ajuste
H0011	982.2	Pearson III	1076.0	Pearson III	1163.2	Pearson III
H0016	76.6	Gumbel	86.3	Gumbel	95.8	Gumbel
H0017	95.0	Log Normal	108.5	Log Normal	122.3	Log Normal
H0045	83.3	Log Normal	98.2	Log Normal	113.8	Log Normal
H0091	45.5	Log Normal	56.4	Log Normal	68.5	Log Normal
H0143	145.4	Log Pearson III	195.2	Log Pearson III	255.1	Log Pearson III
H0158	4.1	Pearson III	4.3	Pearson III	4.5	Pearson III
H0159	37.5	Log Pearson III	60.2	Log Pearson III	96.3	Log Pearson III
H0166	271.5	Gumbel	313.3	Gumbel	354.8	Gumbel
H0168	5101.4	Pearson III	5597.0	Pearson III	6057.1	Pearson III
H0170	1811.0	Gumbel	2046.4	Gumbel	2280.1	Gumbel
H0172	1558.1	Log Pearson III	3042.3	Log Pearson III	5491.0	Log Pearson III
H0173	4271.7	Log Pearson III	5849.8	Log Pearson III	7558.3	Log Pearson III
H0229	645.7	Log Pearson III	712.7	Log Pearson III	760.6	Log Pearson III
H0233	20.8	Log Pearson III	23.7	Log Pearson III	26.2	Log Pearson III
H0272	10778.2	Log Pearson III	20203.4	Log Pearson III	35571.5	Log Pearson III
H0326	1252.6	Log Normal	1407.4	Log Normal	1563.0	Log Normal
H0329	28.9	Log Normal	31.2	Log Normal	33.4	Log Normal
H0331	20.7	Gumbel	23.5	Gumbel	26.4	Gumbel

H0333	11.9	Log Normal	14.3	Log Normal	16.9	Log Normal
H0334	35.0	Log Pearson III	44.5	Log Pearson III	55.1	Log Pearson III
H0337	8.1	Pearson III	8.6	Pearson III	9.1	Pearson III
H0338	64.2	Gumbel	73.1	Gumbel	81.9	Gumbel
H0340	365.2	Gumbel	416.3	Gumbel	467.0	Gumbel
H0343	221.2	Pearson III	240.2	Pearson III	257.5	Pearson III
H0346	1712.4	Pearson III	1861.5	Pearson III	1996.3	Pearson III
H0347	2005.4	Log Normal	2246.5	Log Normal	2488.1	Log Normal
H0348	1000.3	Pearson III	1000.7	Pearson III	1000.8	Pearson III
H0363	503.1	Pearson III	537.4	Pearson III	567.6	Pearson III
H0365	1577.2	Log Pearson III	1598.4	Log Pearson III	1610.6	Log Pearson III
H0371	242.5	Pearson III	244.2	Pearson III	245.2	Pearson III
H0448	372.3	Gumbel	430.5	Gumbel	488.2	Gumbel
H0466	84.5	Log Pearson III	119.5	Log Pearson III	163.9	Log Pearson III
H0467	59.1	Log Pearson III	89.9	Log Pearson III	132.3	Log Pearson III
H0468	28.2	Gumbel	32.3	Gumbel	36.5	Gumbel
H0471	141.5	Gumbel	163.4	Gumbel	185.2	Gumbel
H0507	9.4	Pearson III	10.8	Pearson III	12.3	Pearson III
H0529	263.3	Pearson III	280.0	Pearson III	295.0	Pearson III
H0530	3886.5	Log Pearson III	5335.9	Log Pearson III	7088.9	Log Pearson III
H0573	100.3	Gumbel	136.0	Gumbel	175.6	Gumbel
H0574	219.5	Log Pearson III	306.5	Log Pearson III	411.4	Log Pearson III
H0588	113.4	Log Normal	131.0	Log Normal	149.2	Log Normal
H0591	1374.8	Gumbel	1561.1	Gumbel	1746.1	Gumbel
H0617	98.5	Log Pearson III	119.6	Log Pearson III	144.3	Log Pearson III
H0625	184.0	Log Pearson III	304.5	Log Pearson III	473.5	Log Pearson III
H0627	29.6	Gumbel	33.6	Gumbel	37.6	Gumbel
H0783	15.9	Gumbel	18.0	Gumbel	20.2	Gumbel
H0787	39.8	Log Normal	42.6	Log Normal	45.2	Log Normal
H0788	192.3	Log Normal	215.1	Log Normal	237.9	Log Normal
H0789	21.4	Log Pearson III	26.2	Log Pearson III	31.4	Log Pearson III
H0790	218.3	Gumbel	248.4	Gumbel	278.2	Gumbel
H0791	0.6	Log Normal	0.7	Log Normal	0.8	Log Normal
H0793	32.1	Log Pearson III	44.3	Log Pearson III	59.5	Log Pearson III
H0899	56.1	Gumbel	63.8	Gumbel	71.5	Gumbel

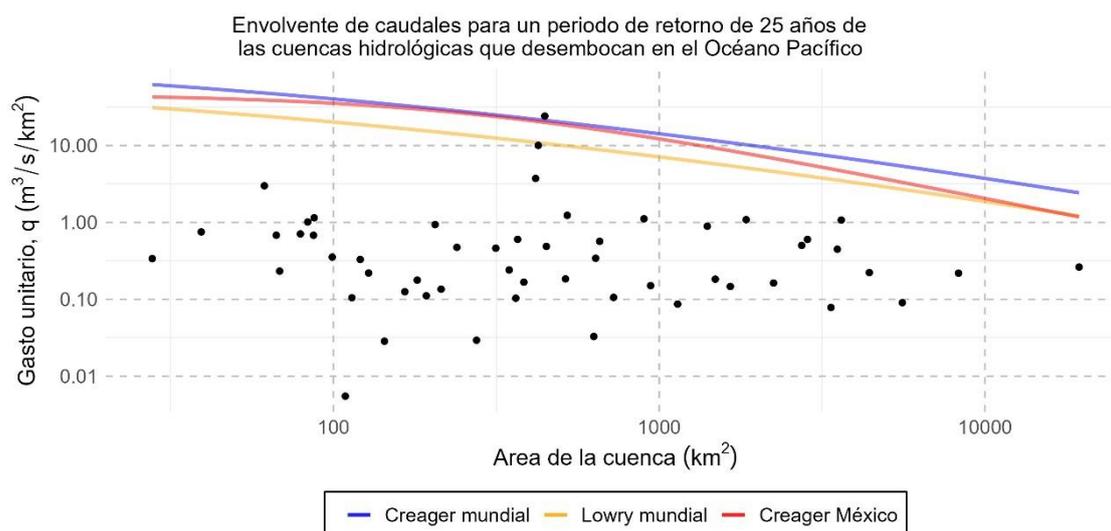


Figura 10. Curva envolvente de caudales unitarios para un TR de 25 años. Los puntos de color negro indican los caudales máximos

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de las envolventes de gasto unitario por cuenca hidrológica, basado en un período de retorno de 25 años, la gran mayoría de los puntos se alinean dentro de los límites definidos por las curvas envolventes de Creager a nivel mundial, Creager con un coeficiente mexicano y Lowry a nivel mundial. Este patrón refleja una coherencia general entre los datos obtenidos y las tendencias globales o regionales. No obstante, se ha identificado una estación la H0173 que sobresale ligeramente por encima de la envolvente de Creager a nivel mundial, con un valor de $10.04 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Es esencial examinar con detenimiento la fiabilidad de este dato antes de considerarlo para el diseño de obras hidráulicas. Esta observación resalta la importancia de realizar análisis rigurosos de los datos y evaluar su validez para garantizar la precisión en el proceso de diseño hidrológico.

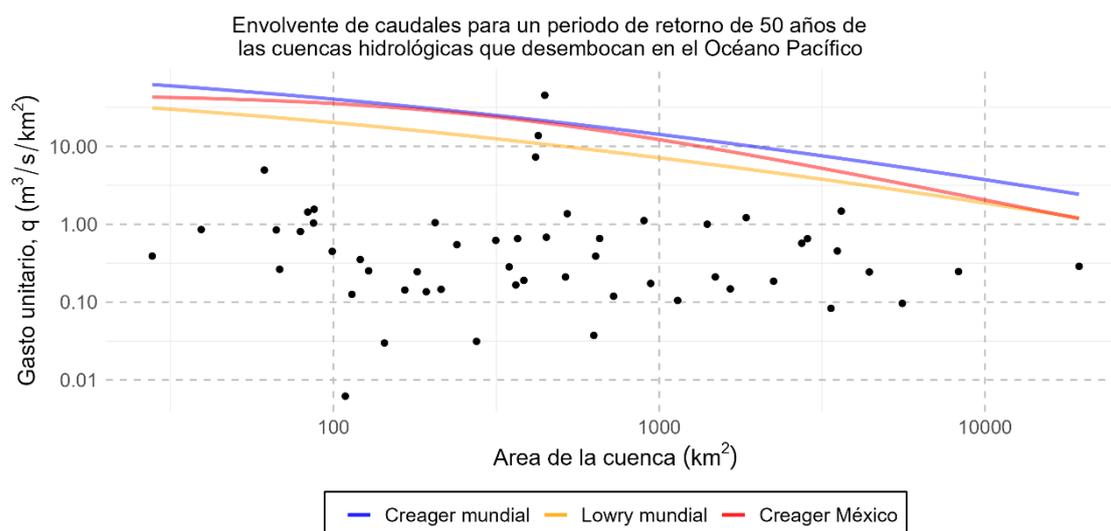


Figura 11. Curva envolvente de caudales unitarios para un TR de 50 años. Los puntos de color negro indican los caudales máximos.

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica correspondiente al periodo de retorno de 50 años, se destacan dos estaciones con valores de caudal notablemente diferentes. En la estación H0173, se registra un caudal de $13.75 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, ubicado por encima de la curva de Lowry, pero por debajo de las de Creager, lo que sugiere una posición intermedia en términos de gasto unitario. Por otro lado, la estación H0272 presenta un caudal de $45.35 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, superando todas las curvas de envolventes utilizadas. Estos resultados plantean la necesidad de un análisis detallado sobre la fiabilidad y consistencia de estos valores atípicos debido a que la primera estación ya superó los límites en la curva envolvente anterior.

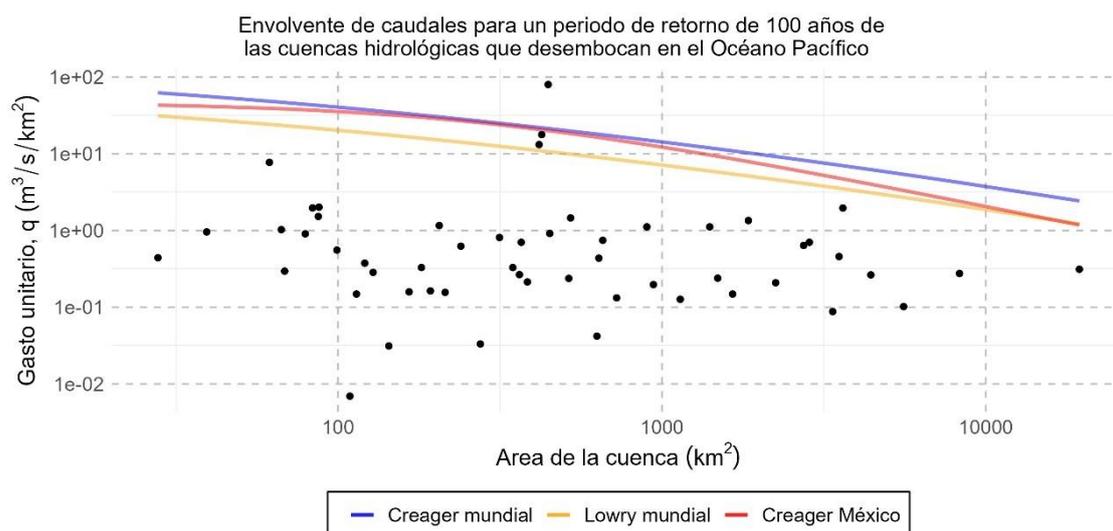


Figura 12. Curva envolvente de caudales unitarios para un TR de 100 años. Los puntos de color negro indican los caudales máximos

Fuente: Elaboración propia

En la nueva representación gráfica, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, la mayoría de las estaciones se encuentran dentro de las curvas envolventes establecidas, lo que indica una concordancia adecuada con los estándares de gasto unitario esperados. Sin embargo, se identifican tres estaciones con valores de caudal que sobresalen de manera significativa. Las estaciones H0172 y H0173 registran caudales de $13.15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ y $17.77 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, respectivamente, ubicados entre las curvas envolventes de Lowry y Creager. Por otro lado, la estación HH272 presenta un caudal de $79.84 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, superando todas las curvas de envolventes utilizadas.

3.1.6 Análisis de las propiedades físicas de la cuenca vs caudales máximos

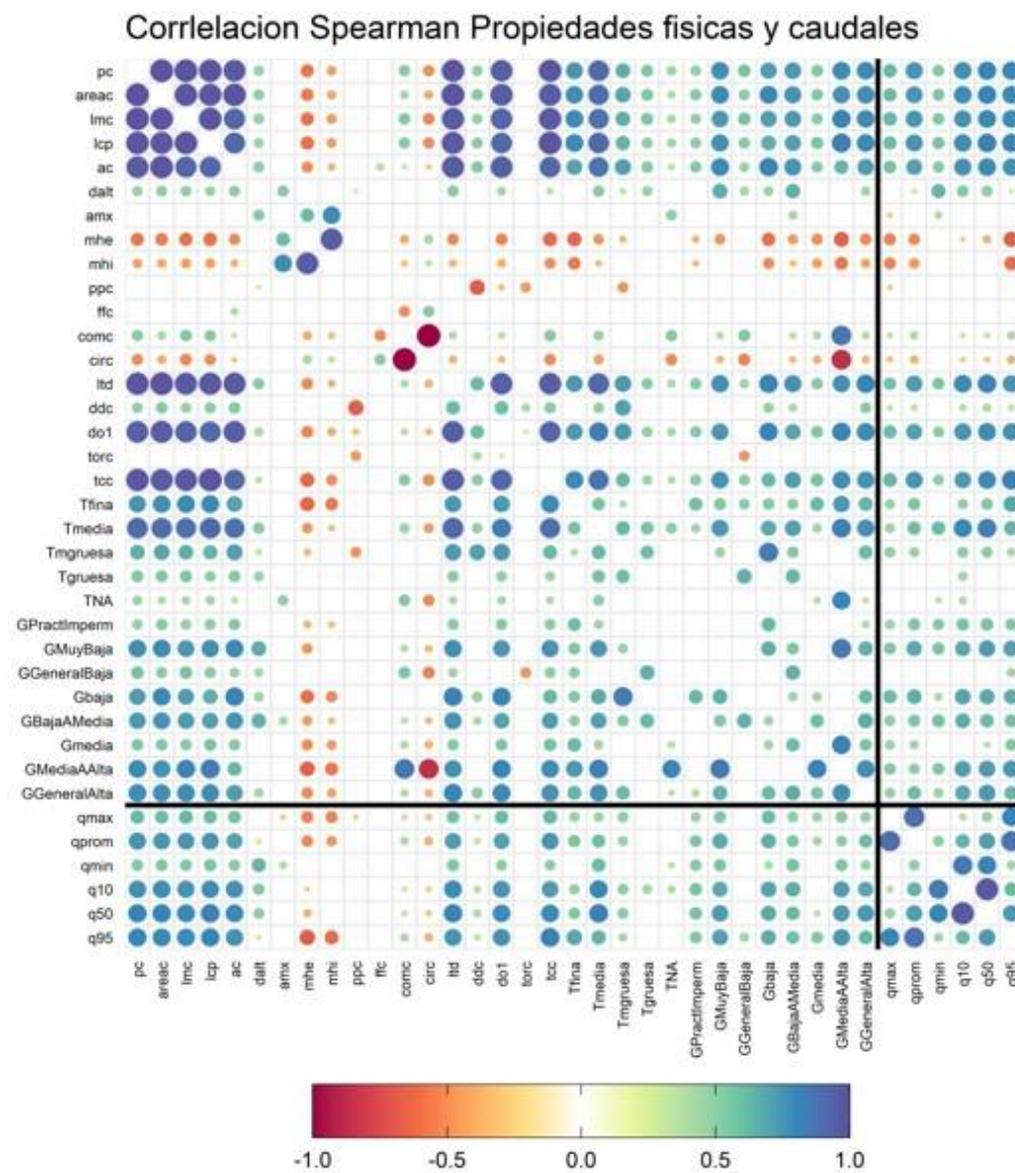


Figura 13. Correlación de Spearman de propiedades físicas de las cuencas versus caudales

Fuente: Elaboración propia

En este caso, se observa una relación significativa entre el perímetro de la cuenca y los caudales. Esto sugiere que a medida que el perímetro de la cuenca aumenta, también lo hacen los caudales registrados. Esta relación implica que a medida que la cuenca se vuelve más extensa, tiene una mayor capacidad para captar y transportar agua.

Un coeficiente de correlación de Spearman entre 0.5 y 1 para la relación entre los caudales y el área de la cuenca muestra una correlación positiva moderada a fuerte entre estas variables. Esto implica que a medida que aumenta el área de la cuenca, los caudales tienden a incrementarse. El incremento en el área de la cuenca significa una mayor superficie para la recolección y el flujo de agua.

Se observa también una relación significativa entre la longitud máxima de la cuenca y los caudales registrados. A medida que la longitud máxima de la cuenca aumenta, los caudales tienden a aumentar también. Esto sugiere que cuanto más larga es la cuenca, mayor es su capacidad para captar y transportar agua.

De manera similar, cuando la longitud del cauce principal aumenta, los caudales tienden a aumentar también. Esto implica que un cauce principal más largo proporciona un mayor flujo de agua, lo que contribuye al aumento de los caudales registrados. El aumento en el ancho de la cuenca probablemente conlleve a un aumento en los caudales ya que una cuenca más ancha tiene una mayor capacidad para contener agua.

Asimismo, un aumento en el desnivel altitudinal probablemente se traduzca en un aumento en los caudales ya que un desnivel altitudinal mayor proporciona una mayor energía potencial para el flujo de agua. Un coeficiente de correlación de Spearman de aproximadamente 0.3 entre el caudal mínimo y la cota máxima sugiere una correlación débil entre estas dos variables. Esto indica que otros factores podrían tener una influencia más significativa en el caudal mínimo que la cota máxima.

Un coeficiente de correlación de Spearman cercano a cero indica que no hay una relación lineal clara entre las dos variables, como entre el caudal y la cota mínima. Esto sugiere que los cambios en la cota mínima no están consistentemente correlacionados con los cambios en el caudal mínimo de la cuenca.

La relación entre los caudales máximos y promedio con la altitud media de la cuenca muestra que a medida que la altitud media de la cuenca aumenta, tiende a disminuir el caudal máximo y promedio. Sin embargo, esta relación no es extremadamente fuerte, lo que sugiere que otros factores también pueden influir en el comportamiento de los caudales. Un coeficiente de correlación positivo entre el coeficiente de compacidad y el caudal sugiere que a medida que la cuenca se vuelve más compacta, es decir, más redondeada, el caudal tiende a aumentar. Esto se debe a que una cuenca más compacta puede retener más eficientemente el agua.

Por otro lado, una relación negativa entre el coeficiente de circularidad y el caudal sugiere que a medida que la forma de la cuenca se aleja de la circularidad y se vuelve más alargada o irregular, el caudal tiende a disminuir. Esto podría deberse al mayor tiempo de concentración en cuencas más alargadas o irregulares, lo que resulta en caudales más bajos en comparación con cuencas más circulares.

Una correlación positiva entre los caudales y la longitud total de los drenajes, los drenajes de orden 1 y el tiempo de concentración sugiere que a medida que estas variables aumentan, los caudales tienden a aumentar también. Esto podría deberse a una mayor capacidad de recoger y transportar agua en cuencas con una mayor longitud de drenaje total, más drenajes de primer orden o un tiempo de concentración más largo.

Por otro lado, una relación positiva entre los caudales y la textura media del suelo sugiere que a medida que la textura media aumenta, los caudales tienden a aumentar también. Esto podría explicarse por la mayor capacidad de retención de agua y la mayor infiltración en suelos con una textura media, lo que conduce a mayores caudales en los ríos y arroyos.

Finalmente, una correlación positiva entre los caudales y la geología de muy baja a generalmente alta sugiere una relación moderada entre estas dos variables. Esto podría indicar que ciertos tipos de formaciones geológicas pueden influir en los caudales de los ríos y arroyos.

3.2 Discusión

- Generación de Curvas de Descarga:

La discrepancia entre las ecuaciones de curva de descarga proporcionadas por INAMHI y las generadas en este estudio revela posibles problemas en la consistencia y disponibilidad de los datos. La presencia de periodos con valores sin datos (NA) en las ecuaciones generadas, como se observa en la estación H0385, sugiere falta de datos suficientes para generar curvas de descarga adecuadas, posiblemente debido a interrupciones en la recolección de datos.

La similitud entre las ecuaciones generadas y las proporcionadas por INAMHI indica consistencia, pero se destacan anomalías como fechas repetidas en las ecuaciones proporcionadas por INAMHI, mientras que el script en R las elimina automáticamente, lo que podría indicar errores de registro o procesamiento en los datos suministrados por INAMHI.

- Aplicación de Curvas de Descarga:

La presencia de valores extremadamente altos o ausentes en los caudales máximos y promedios registrados en algunas estaciones indica posibles irregularidades en la recolección o registro de datos. Valores extremadamente altos para el caudal máximo y promedio, como se observa en la estación H0016, podrían sugerir problemas en la calibración de los instrumentos de medición o errores en los registros. La ausencia de datos para el caudal máximo y promedio en la estación H0385 podría indicar problemas con la disponibilidad o calidad de los datos recolectados, lo que requeriría una revisión de los procedimientos de recolección y registro de datos.

El efecto de la curva de descarga en los caudales máximos puede ser importante para la precisión de los datos hidrológicos. La detección de valores extremadamente altos o la ausencia de datos en estaciones como H0016 y H0385 sugiere posibles irregularidades en la recolección o registro de datos. Por ejemplo, en la estación H0016, donde se observan valores extremadamente altos tanto en el caudal máximo como en el promedio, esto podría indicar problemas en la calibración de los instrumentos de medición o errores en los registros. Por otro lado, la ausencia total de datos para el caudal máximo y promedio en la estación H0385 podría señalar problemas con la disponibilidad o calidad de los datos recolectados. Esto indica necesidad de aplicar las curvas de descarga a datos de aforos que hayan seguido un proceso de validación para garantizar la precisión de los datos hidrológicos y la fiabilidad de los análisis posteriores.

- Elaboración de Curvas Envolventes:

Los resultados de las curvas envolventes muestran coherencia general con los estándares mundiales o regionales, pero se identifican valores atípicos que requieren una evaluación cuidadosa. Tres estaciones, como la H0016, se destacan al estar por encima de las curvas envolventes mundiales y regionales, lo que indica la necesidad de analizar la fiabilidad de estos datos antes de utilizarlos en el diseño de obras hidráulicas. Estos valores atípicos podrían ser el resultado de eventos extremos poco comunes o de errores en la medición y registro de datos.

Tabla 11. Gastos máximos observados en el mundo

Fuente: (Ramírez Orozco et al., 2005)

Río	País	Fuente	Área	Gasto (m ³ /s)	Año	k
Amazonas	Brasil	Rakhecha, 2001	4,640,000	370,000		6.76
Quaierne	Francia	IAHS, 1984	330	10,400	1981	6.38
Banquiao	China	ICOLD, 1994	762	13,000	1975	6.31
Amazonas, Obidos	Brasil	IAHS, 1984/COLD, 1994	4,620,000	320,000	1953	6.29

Shingu Oga	Japon	IAHS, 1984	2,350	19,025	1959	6.28
Narnada	India	ICOLD, 1994	88,000	71,000	1994	6.24
Amazonas, Obidos	Brasil	ICOLD, 1994	4,620,000	313,000	1989	6.22
Cho Shui	Taiwan	IAHS, 1984	259	7,780	1979	6.22
Narnada	India	IAHS, 1984	88,000	69,400	1970	6.21
Machhu	India	IAHS, 1984/ICOLD, 1994	1,930	16,308	1979	6.21
Coyuca	Mexico	Ramirez, 2004	1,533	13,623	1984	6.21
Tarn Shui West	Taiwan	IAHS, 1984	2,110	16,700	1963	6.2
Nueces	Estados Unidos	IAHS, 1984	1,800	15,600	1959	6.19
La Parada	Mexico	Ramirez, 2004	1,533	14,253	1986	6.17
Cihuatl-n()	Mexico	IAHS, 1984	1,370	13,500	1959	6.16
Yate	Francia	ICOLD, 1994	436	8,680	1988	6.15
Pecos	Estados Unidos	IAHS, 1984	9,100	26,800	1954	6.11
Nyodo Ino	Jap6n	IAHS, 1984	1,560	13,510	1963	6.11
Shirnantan	China	ICOLD, 1994	230	6,280	1975	6.09
Teodong Gang	Corea del Norte	IAHS, 1984	12,175	29,000	1967	6.07
Han Koan	Corea del Sur	IAHS, 1984	23,880	37,000	1925	6.05
Narnada	India	ICOLD, 1994	88,000	61,229	1973	6.03
Chungju	Corea	ICOLD, 1994	6,648	21,899	1990	6.03
Hualien	Taiwan	IAHS, 1984	1,500	11,900	1973	6.01
Cagayan	Filipinas	Rakhecha, 2001	4,244	17,550		5.98
Misantla	Mexico	Ramirez, 2004	456	6,860	1995	5.95
Badiraguato	Mexico	Ramirez, 2004	1,018	9,245	1981	5.93
Eel	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	8,060	21,300		5.92
Kiso	Japon	Rakhecha, 2001	1,680	11,150		5.91
Quinne	Francia	Rakhecha, 2001	143	4,000		5.9
Pedernales	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	2,450	12,500		5.87
Tone	Japon	Rakhecha, 2001	5,110	16,900		5.87
Nueces	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	5,504	17,400		5.87
Hanjiang	China	Rakhecha, 2001	41,400	40,000		5.87
Daeryong Gang	Corea del Norte	Rakhecha, 2001	3,020	13,500		5.86
San Bartolo ()	Mexico	Rakhecha, 2001	81	3,000		5.86
Yoshino	Japon	Rakhecha, 2001	3,750	14,470		5.84
Pioneer	Australia	Rakhecha, 2001	1,490	9,840		5.84
Little Nernaha	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	549	6,370		5.83
SFWailua	Estados Unidos	Rakhecha, 2001	58	2,470		5.82
Yale	Francia	Rakhecha, 2001	435	5,700		5.81
Betsiboka	Magadascar	Rakhecha, 2001	11,800	22,000		5.78
Midfork	Eslados Unidos	Rakhecha, 2001	1,360	8,780		5.77
Haast	Nueva Zelanda	Rakhecha, 2001	1,020	7,690		5.76
Coahuayana	Mexico	Ramirez, 2004	6,835	17,000	1959	5.76
Jhelum	Paquistan	Rakhecha, 2001	29,000	31,100		5.74
Mangoky	Magadascar	Rakhecha, 2001	50,000	38,000		5.7
Papenoo	Francia	Rakhecha, 2001	78	2,200		5.65
Buey	Cuba	Rakhecha, 2001	73	2,060		5.62
Zoyatenco	Mexico	Ramirez ,2004	2,551	9,350	1980	5.59

Los caudales máximos en Ecuador, en comparación con otras regiones del mundo, reflejan una combinación única de factores geográficos y climáticos. La ubicación ecuatorial del país y su topografía diversa, que incluye regiones montañosas en los Andes y áreas costeras, influyen significativamente en los patrones hidrológicos. Los eventos de precipitación intensa, típicos de la temporada de lluvias y agravados por la influencia de fenómenos climáticos como El Niño, son una característica destacada en la generación de caudales máximos en el país. Esta combinación de factores conduce a la presencia de caudales moderadamente altos en comparación con otras áreas del mundo.

Al analizar la tabla de datos anterior y compararla con estudios hidrológicos globales, se evidencia que Ecuador experimenta caudales máximos que reflejan su ubicación geográfica y sus condiciones climáticas particulares. La variabilidad geográfica y climática del país se traduce en una amplia gama de caudales, desde moderadamente altos en algunas regiones hasta extremadamente altos en otras.

- Análisis de las Propiedades Físicas de la Cuenca vs Caudales Máximos:

La relación entre las propiedades físicas de la cuenca y los caudales máximos registrados proporciona información valiosa sobre los factores que influyen en el comportamiento hidrológico. Por ejemplo, se observa una relación significativa entre el perímetro de la cuenca y los caudales máximos, donde un aumento en el perímetro sugiere una mayor capacidad para captar y transportar agua, como se evidencia en la estación H0173.

Además, la longitud máxima del cauce principal muestra una relación positiva con los caudales máximos, lo que indica que un cauce más largo proporciona un mayor flujo de agua, como se observa en la estación H0272. La relación entre el desnivel altitudinal y los caudales máximos sugiere que un mayor desnivel proporciona una mayor energía potencial para el flujo de agua, como se observa en la estación H0467.

Sin embargo, es importante considerar que factores como la textura del suelo, la geología y la forma de la cuenca también pueden influir en los caudales máximos, como se observa en las estaciones H0229, H0334 y H0340, respectivamente. Estas relaciones destacan la complejidad del sistema hidrológico y la importancia de considerar múltiples variables al analizar el comportamiento de los caudales máximos en una cuenca.

El "Unravelling runoff processes in Andean basins in northern Ecuador through hydrological signatures" (Gordillo & Pineda, 2021), se examinan los controles hidrológicos mediante análisis de firmas hidrológicas y descriptores de cuencas. Se identifican diferencias significativas entre las regiones del noreste y suroeste en términos de régimen hidrológico

y capacidad de almacenamiento de agua. La investigación resalta la influencia del clima, la topografía y la geología en la distribución del agua y la variabilidad de los caudales, especialmente en relación con el comportamiento del suelo y la interacción entre las capas geológicas.

Por otro lado, en el análisis de correlación entre las propiedades físicas de las cuencas y los caudales máximos, se observa una relación significativa entre variables como el perímetro, la longitud del cauce principal, el desnivel altitudinal y los caudales registrados. Esto sugiere que la morfología de la cuenca, incluyendo su extensión, longitud y desnivel, desempeña un papel crucial en la regulación de los caudales.

Ambos estudios coinciden en destacar la importancia de considerar múltiples factores físicos de la cuenca, como la topografía, la geología y la morfología, para comprender completamente los procesos hidrológicos en estas regiones andinas. Sin embargo, mientras que el primer estudio se centra en identificar los controles hidrológicos a través de análisis detallados de firmas hidrológicas, el segundo estudio se enfoca en establecer relaciones cuantitativas entre las propiedades físicas de la cuenca y los caudales máximos observados. Juntos, estos enfoques ofrecen una visión integral de la complejidad de los sistemas hidrológicos en las cuencas andinas del norte de Ecuador.

3.3 Conclusiones

- La comparación entre las ecuaciones de curva de descarga proporcionadas por INAMHI y las generadas en este estudio resalta la importancia de la consistencia y disponibilidad de los datos para la generación precisa de curvas de descarga.
- En la tabla generada mediante R, se identificaron periodos donde no se tiene ecuación de curva de descarga. Esto se debe a que la cantidad de aforos no fue suficiente para generar una ecuación que represente adecuadamente esa estación en dicho periodo, lo que resulta en valores NA. Estos valores NA son significativos en algunas estaciones, ya que hay periodos donde hasta el 90% de los datos carecen de ecuación de curva de descarga.
- Se evidencia que, en las ecuaciones proporcionadas por el INAMHI, muchos coeficientes se repiten para una estación o estaciones específicas. Esto sugiere que, debido a la falta de datos, se asume que estos coeficientes no varían significativamente con el tiempo.

- Se observó una anomalía en las ecuaciones proporcionadas por el INAMHI, donde existían fechas repetidas. Esto no sucedía en las ecuaciones generadas en R, ya que el script las eliminaba automáticamente.
- Las ecuaciones generadas tienen un comportamiento consistente con las proporcionadas por el INAMHI, a pesar de las diferencias en la disponibilidad de datos y en la metodología utilizada.
- El ancho de la banda en las curvas de descarga está estrechamente relacionada con la disponibilidad y distribución de datos. Una banda delgada indica datos abundantes y bien distribuidos, lo que resulta en estimaciones de caudal más precisas. Por el contrario, una banda más gruesa sugiere datos escasos o dispersos, lo que conlleva a una mayor incertidumbre en las estimaciones de caudal.

3.4 Recomendaciones

- Fomentar la colaboración entre instituciones académicas, gubernamentales y organizaciones dedicadas al monitoreo hidrológico para compartir datos, conocimientos y recursos. Esto facilitará la realización de investigaciones interdisciplinarias y promoverá el desarrollo de soluciones integrales para la gestión de recursos hídricos.
- Dada la importancia del Océano Pacífico en los patrones climáticos globales, sería relevante investigar cómo el cambio climático está afectando los caudales en las cuencas hidrológicas que desembocan en este océano. Esto podría implicar analizar datos históricos y modelos climáticos para proyectar posibles cambios futuros en los caudales y su impacto en la gestión de recursos hídricos.
- Realizar una evaluación integral de los riesgos y vulnerabilidades asociados con los caudales en las cuencas hidrológicas del Océano Pacífico, considerando aspectos como inundaciones, sequías, contaminación del agua y conflictos por el uso del agua. Esto ayudaría a informar políticas y prácticas de gestión de riesgos para mejorar la resiliencia de las comunidades ante eventos extremos.
- Realizar una revisión de los procedimientos de recolección y registro de datos para garantizar la disponibilidad y calidad de los datos hidrológicos. Esto incluye la calibración regular de los instrumentos de medición y la implementación de protocolos de recolección de datos estandarizados.

- Realizar una validación cruzada entre las ecuaciones de curva de descarga proporcionadas por instituciones como INAMHI y las generadas mediante herramientas computacionales como R ayuda a identificar posibles discrepancias y mejorar la precisión en la estimación de los caudales.
- Realizar un análisis detallado de los datos para identificar y corregir valores atípicos que puedan afectar la precisión de las estimaciones hidrológicas. Esto incluye la identificación de eventos extremos poco representativos y la revisión de los procedimientos de detección de anomalías.
- Realizar una validación de las curvas envolventes obtenidas para asegurar su coherencia con los estándares mundiales o regionales. Esto implica comparar las curvas envolventes generadas con datos observados y evaluar su capacidad para capturar la variabilidad hidrológica de manera precisa.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, P., & Sierra, L. (2013). *Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidad y parámetros de ajuste*.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-11292013000200003&script=sci_arttext
- Biondi, D., Barbali, D., & Petraš, J. (2022). *Creager and Francou-Rodier envelope curves for extreme floods in the Danube River basin in Croatia*.
- Campos-Aranda, D. F. (2022). *Estimación de envolventes de diseño por subregiones hidrológicas*. 211.
- Chow, V. T. (1988). *Hidrología aplicada*.
<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mis-17677>
- De la Cruz, J. (2009). *Algoritmos [JEGU1] de cálculo de parámetros hidrológicos y meteorológicos a partir de información ingresada manualmente desde libretas meteorológicas, tarjetas de pluviometría, fajas de heliofanía, limnimetría y aforos*. (p. 57).
https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDAD_ES_V_FINAL.pdf
- Departamento de medio ambiente y desarrollo sostenible. (2011). *Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62341620/>
- Gómez, M., Pilar, J., Depettris, C., & Méndez, G. (2019). *Verificación de la estabilidad estadística de la serie de caudales del río Paraná en la sección Corrientes*.
<https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2019-v11-2-0>
- Gordillo, J., & Pineda, L. E. (2021). Unravelling runoff processes in Andean basins in northern Ecuador through hydrological signatures. *Hydrological Processes*, 35(9), e14354. <https://doi.org/10.1002/hyp.14354>

- IBM. (2022, septiembre 13). *Método de máxima verosimilitud*.
<https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=methods-maximum-likelihood-method>
- Lujano Laura, E., & Obando, F. (2015). *Análisis de frecuencia regional de las precipitaciones máximas diarias en la región hidrográfica del Tititcaca*. 12.
- Maity, R. (2022). Frequency Analysis, Risk and Uncertainty in Hydroclimatic Analysis. En R. Maity (Ed.), *Statistical Methods in Hydrology and Hydroclimatology* (pp. 141-184). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5517-3_5
- McGill, L. M. (2020). *Elevation and spatial structure explain most surface-water isotopic variation across five Pacific Coast basins*. 583.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124610>
- Medina, Y., & Muñoz, E. (2020). *Estimation of Annual Maximum and Minimum Flow Trends in a Data-Scarce Basin. Case Study of the Allipén River Watershed, Chile*.
<https://doi.org/w12010162>
- Mondragón, M. (2014). *Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5156978>
- O. Eduardo, & Planos Gutiérrez. (2015). *Influencia de las grandes precipitaciones en la garantía de entrega de agua anual*.
- Organización Meteorológica Mundial. (2021). *Reglamento Técnico Documentos fundamentales Nº 2 Volumen III — Hidrología*. Organización Meteorológica Mundial.
https://library.wmo.int/viewer/32543/download?file=49_III_es.pdf&type=pdf&navigator=1
- Orrala Vera, N. (2022). *Determinación de envolventes para caudales máximos asociados a periodos de retorno para la provincia de Santa Elena y la representación temática por subregiones hidrologicas* [Universidad de Guayaquil].

<https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a8d4f487-66d6-4afb-bbd4-434f09fc4575/content>

Perez, H. (1999). *Estadística para las ciencias sociales, del comportamiento y de la salud*.

3.

Quintana, A. (2000). *Determinación de la ecuación de curvas de descarga en cauces naturales*.

<https://rmdd.uchile.cl/index.php/AICH/article/download/50006/52434/174611>

Ramachandra, A., & Hamed, K. (2000). *Flood Frequency Analysis*. CRS.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xxKSZ5yzV98C&oi=fnd&pg=PR11&dq=flood+frequency+analysis&ots=vv79KbDO-_&sig=HK4JnzDCLPfxh4w7ODop8hdCi_k#v=onepage&q=flood%20frequency%20analysis&f=false

Ramírez Orozco, A. I., Gómez Martínez, J., & Campos Aranda, D. (2005). Actualización de las envolventes regionales de gastos máximos para la república mexicana. *Ingeniería Hidráulica en México (0186-4076)*, 20(1).

<http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/797>

Tacuri, C. (2023). *Análisis y verificación de las curvas de descarga y cálculo de la incertidumbre en las mediciones de nivel y caudal en la cuenca del río Matadero en Cuenca, Azuay* [Universidad del Azuay].

<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/14024/1/19547.pdf>

Torres Gallardo, A. del P. (2006). *Regionalización de caudales mínimos por métodos estadísticos de la cuenca Magdalena Cauca*.

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1559&context=ing_ambiental_sanitaria

USAL. (2023). *Distribuciones estadísticas*.

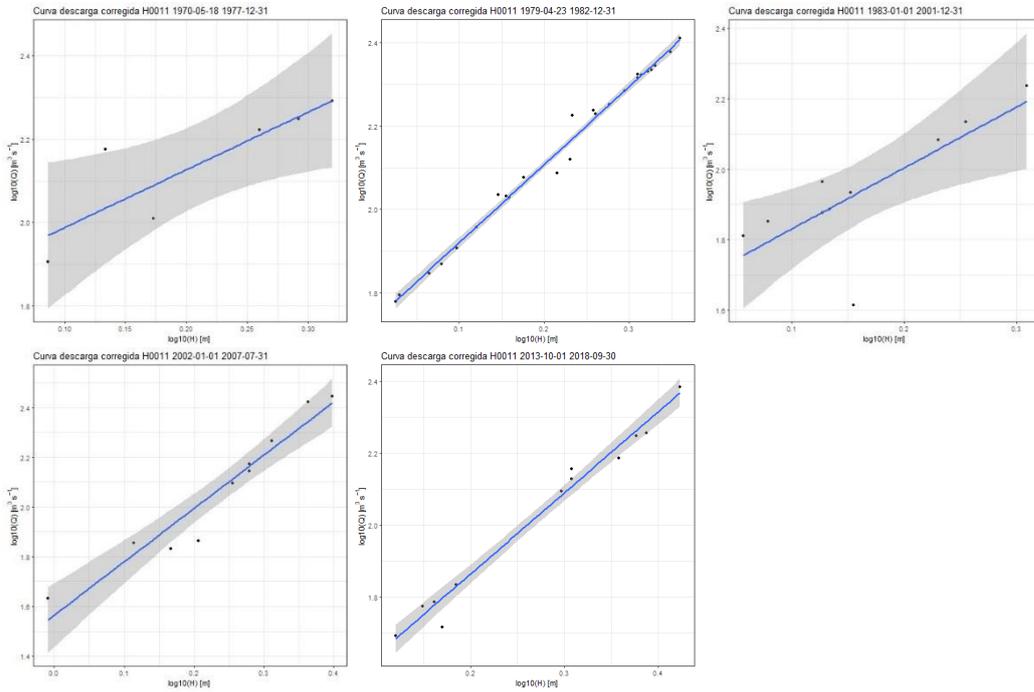
https://hidrologia.usal.es/Complementos/estadistica/distr_esta.pdf

- Varas, E. (2000). *Estimación de momentos ponderados regionales de caudales máximos diarios*. revistatyca.org.mx
- Varas, E., & Bois, P. (1998). *Hidrología probabilística* (Universidad Católica de Chile).
<https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-probabilistica-eduardo.html>
- Vargas Dominguez, L. M. (2023). *Exploración del producto satelital de precipitación IMERG V06 como insumo para la hidrología: Determinación de curvas intensidad-duración frecuencia (IDF) sub-diaria y diaria*. [Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24953>
- Villegas, C. A. M. (2011). *Determinación de curvas de duración de caudal para cuencas intermitentes*.
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Novena). Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.
https://bibliotecavirtualaserena.files.wordpress.com/2017/05/libro_probabilidad-y-estadistica-para-ingenerc3ada-y-ciencias-ronald-e-walpole-mayers.pdf

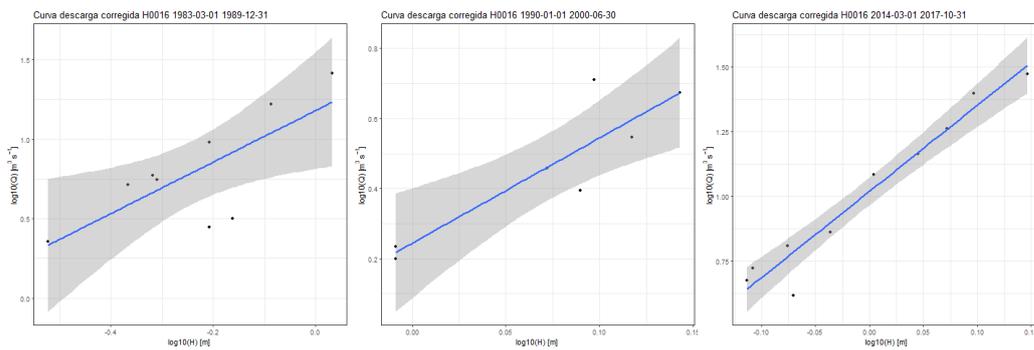
5 ANEXOS

Anexo 1. Imágenes de curvas de descarga para las estaciones trabajadas

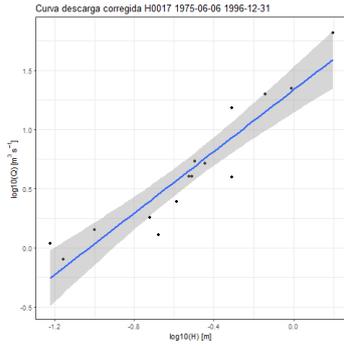
Estación H0011



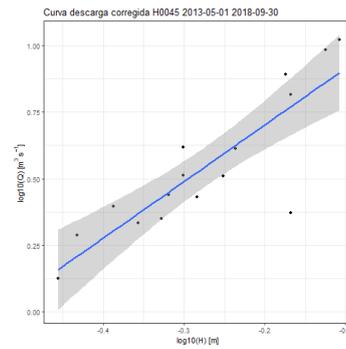
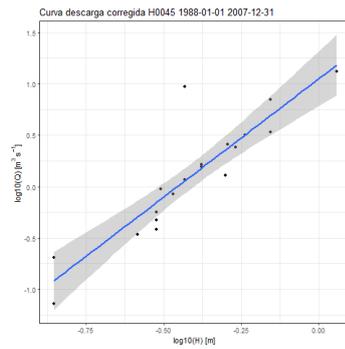
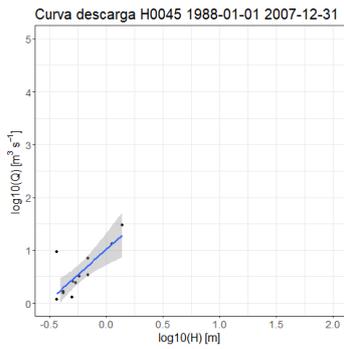
Estación H0016



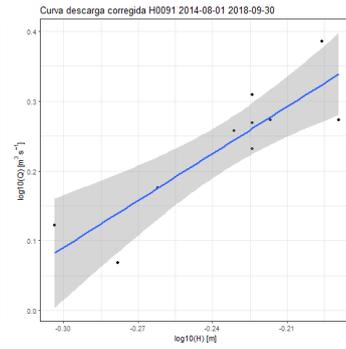
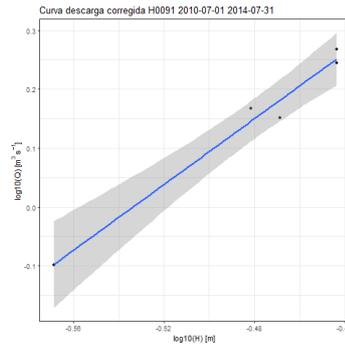
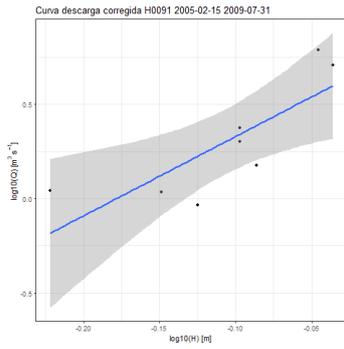
Estación H0017



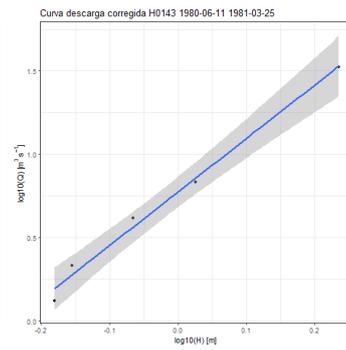
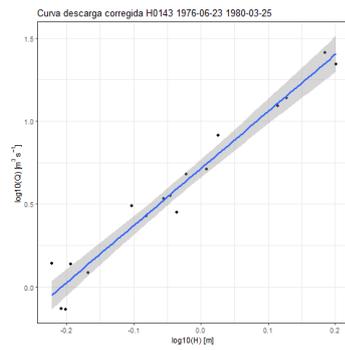
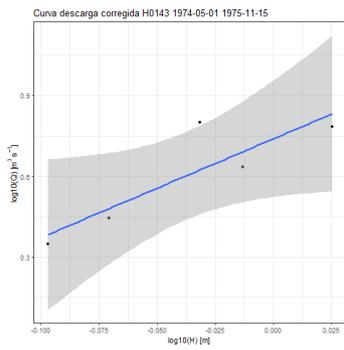
Estación H0045

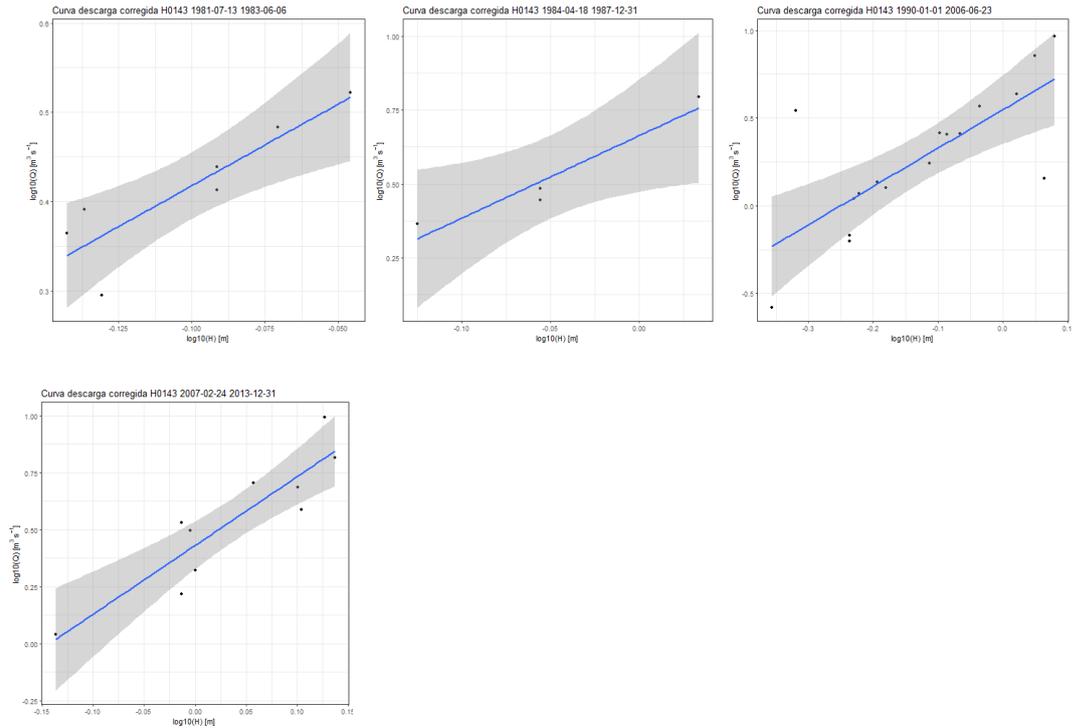


Estación H0091

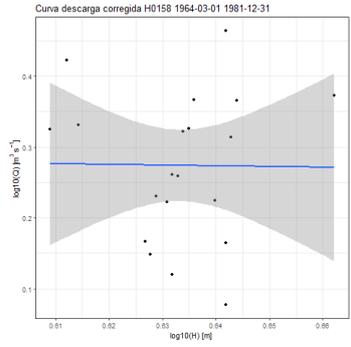


Estación H0143

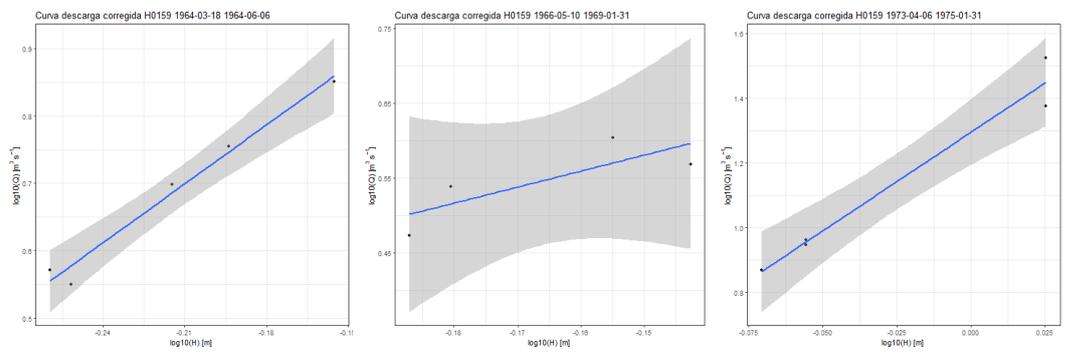


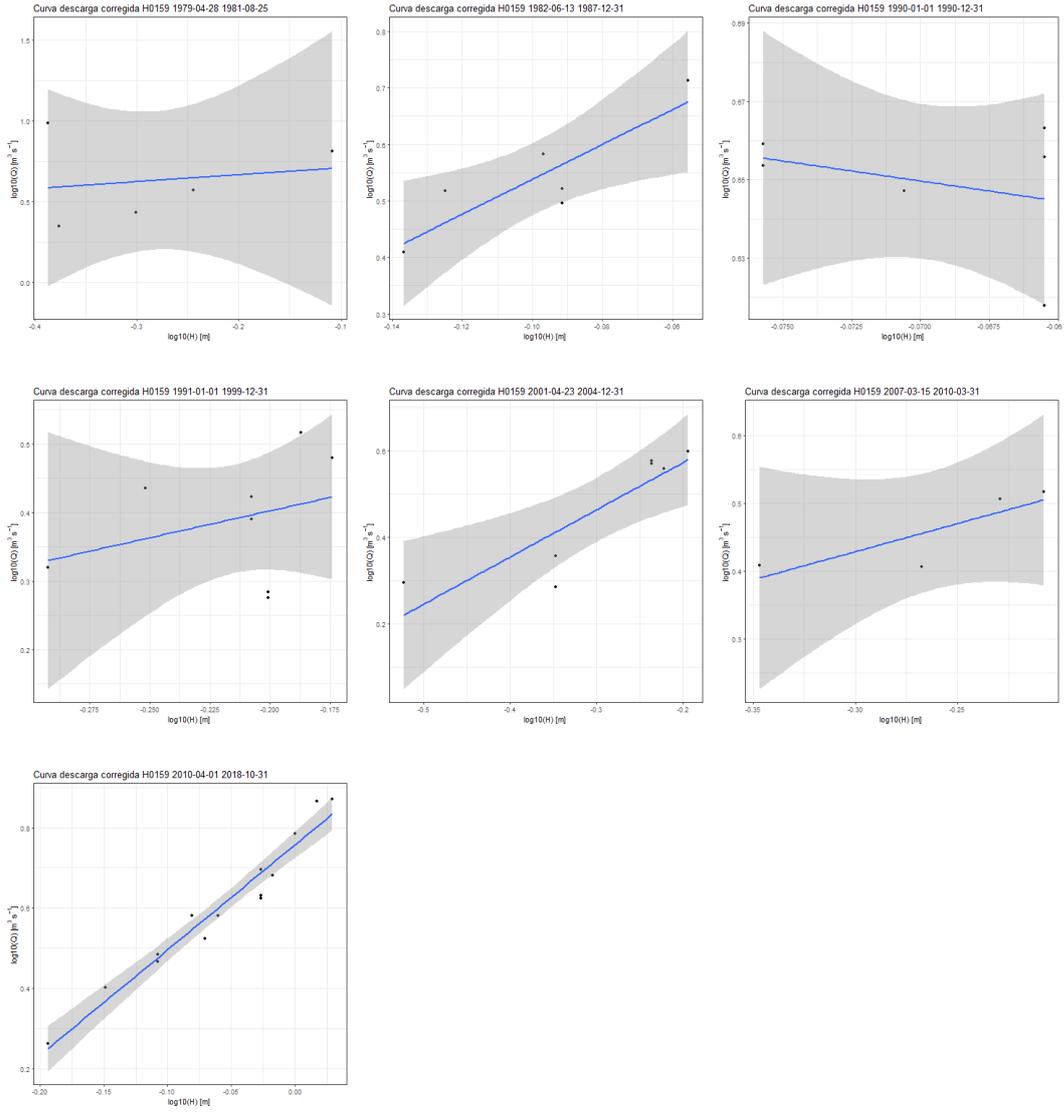


Estación H0158

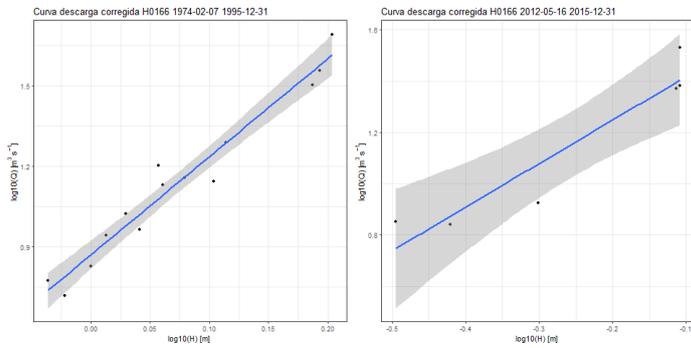


Estación H0159

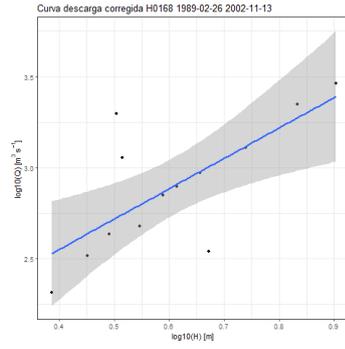
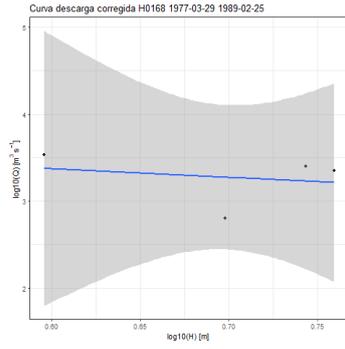




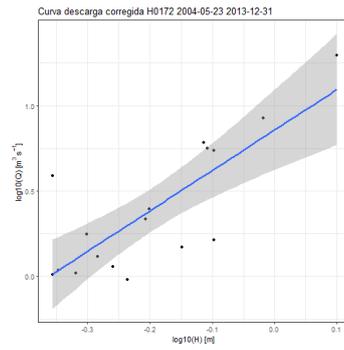
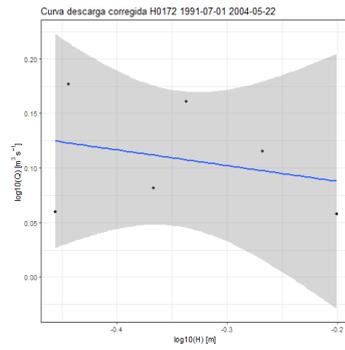
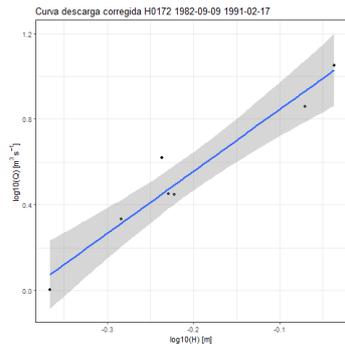
Estación H0166



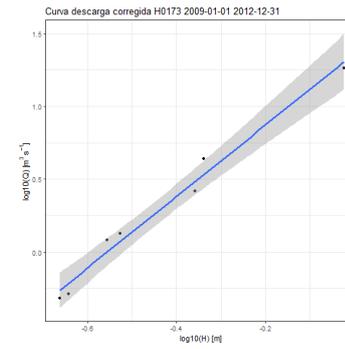
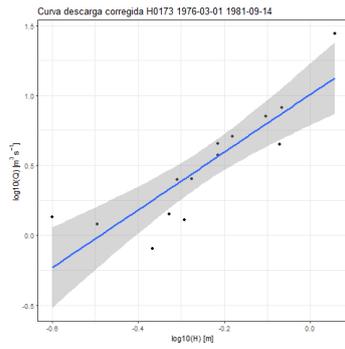
Estación H0168



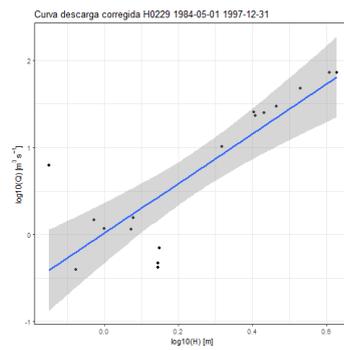
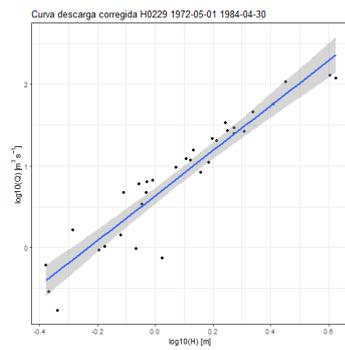
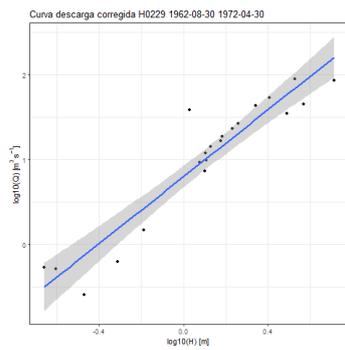
Estación H0172

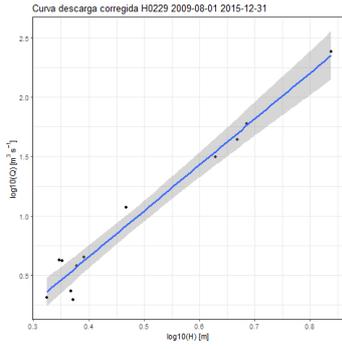
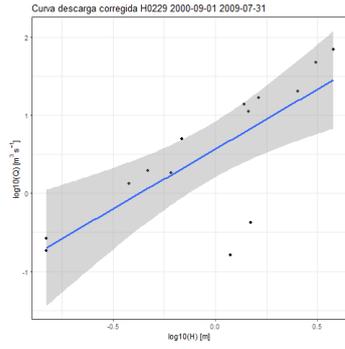


Estación H0173

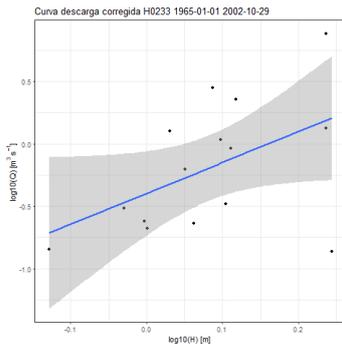


Estación H0229

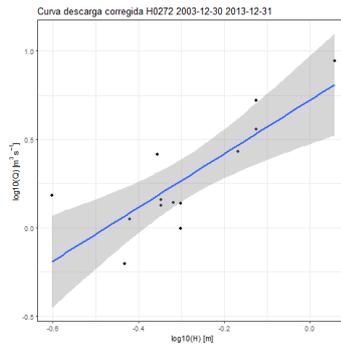
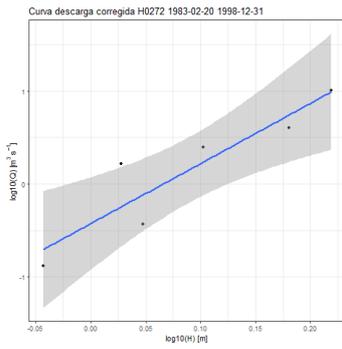




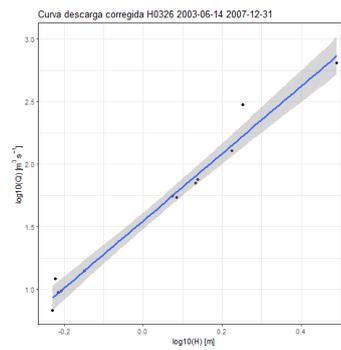
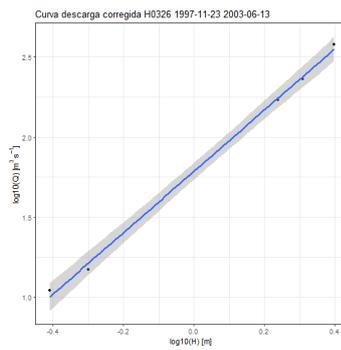
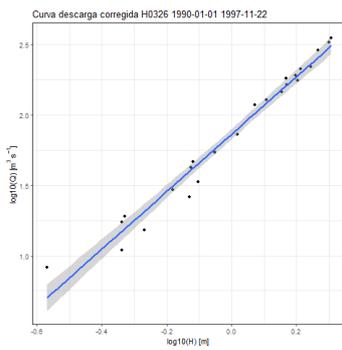
Estación H0233



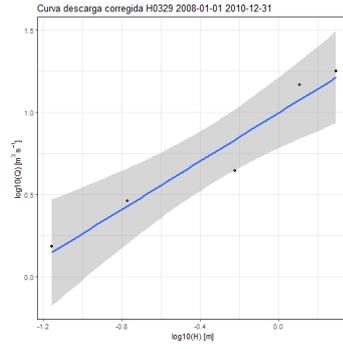
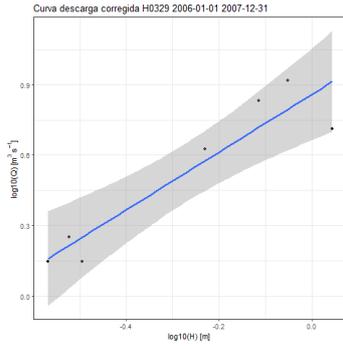
Estación H0272



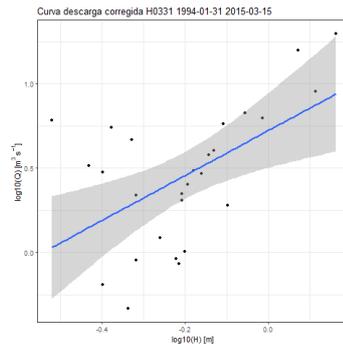
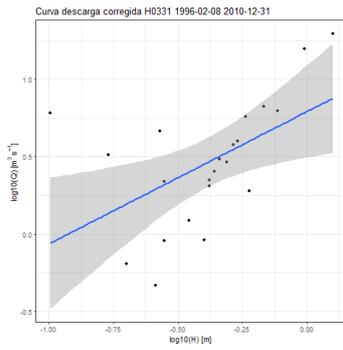
Estación H0326



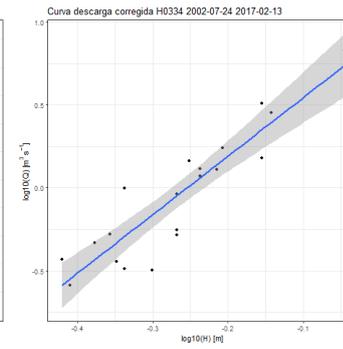
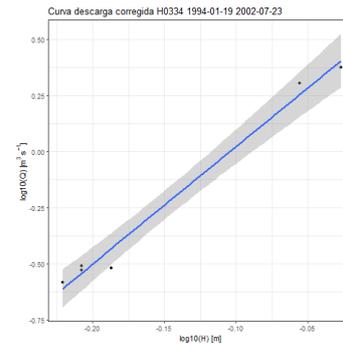
Estación H0329



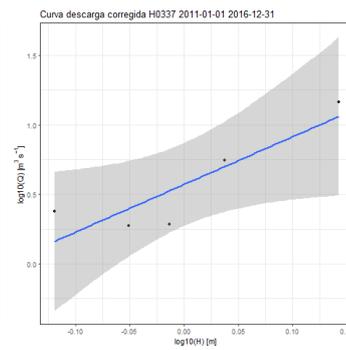
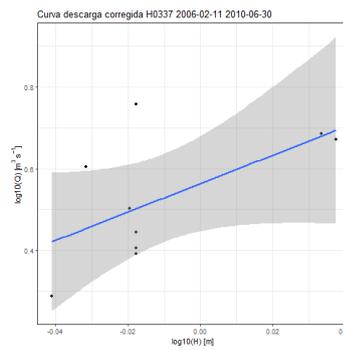
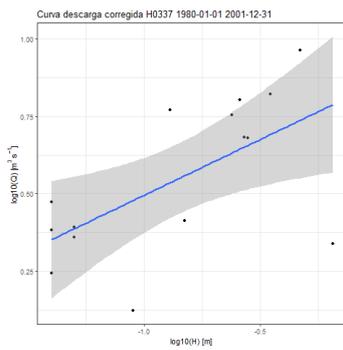
Estación H0331



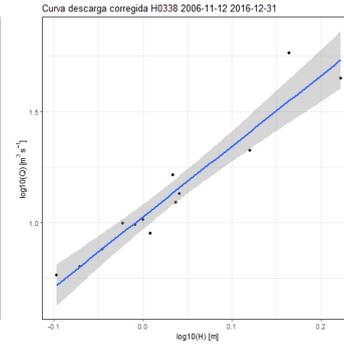
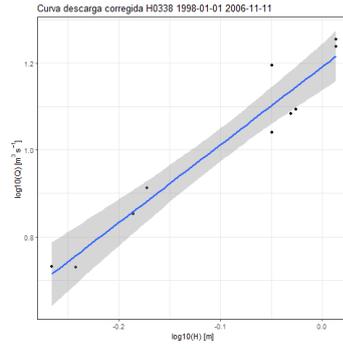
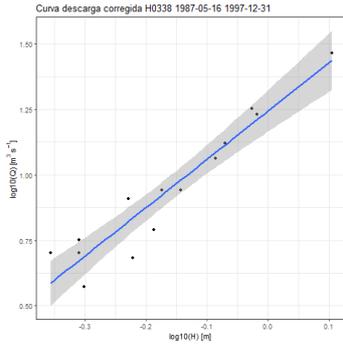
Estación H0334



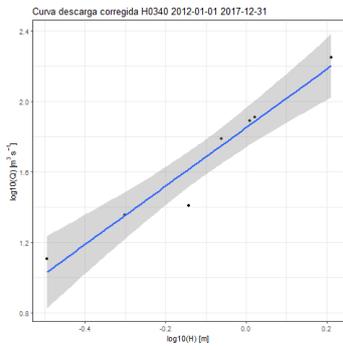
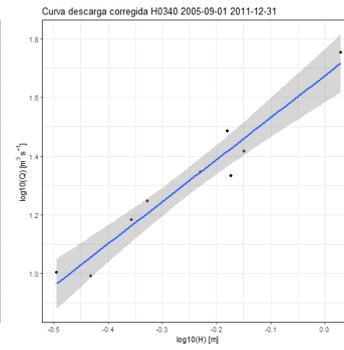
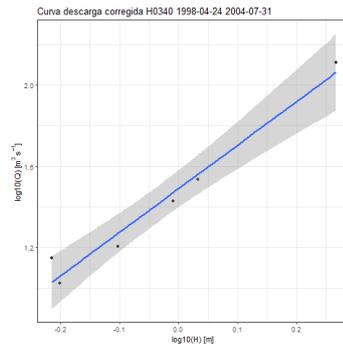
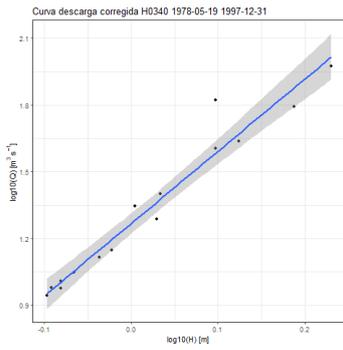
Estación H0337



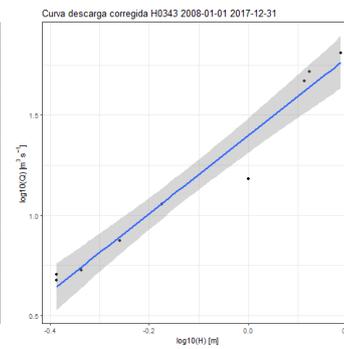
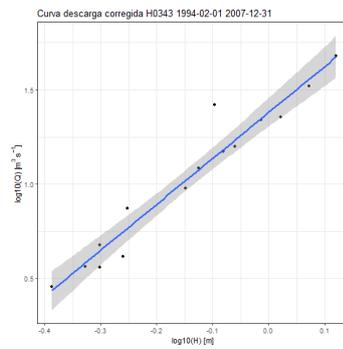
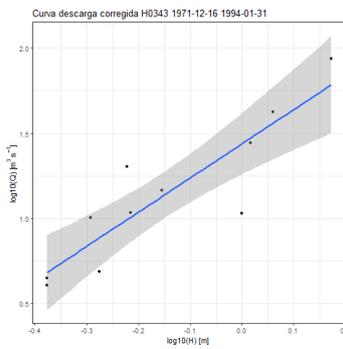
Estación H0338



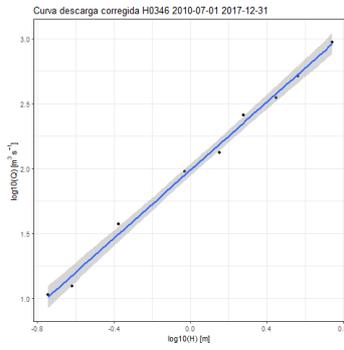
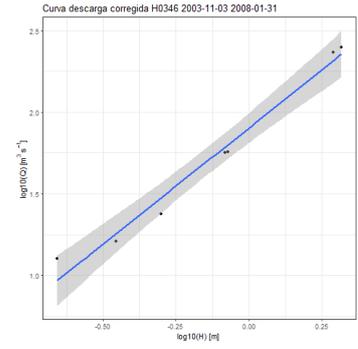
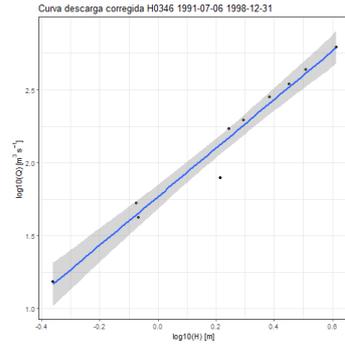
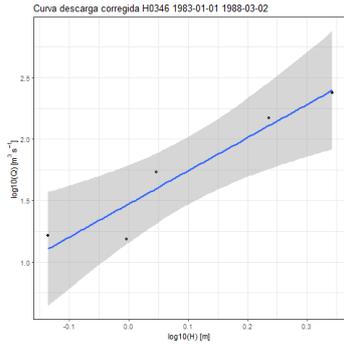
Estación H0340



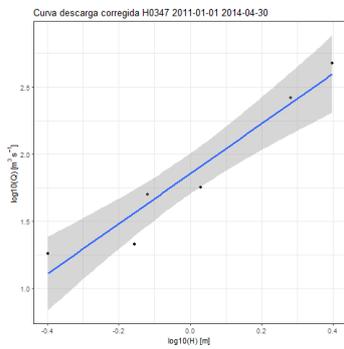
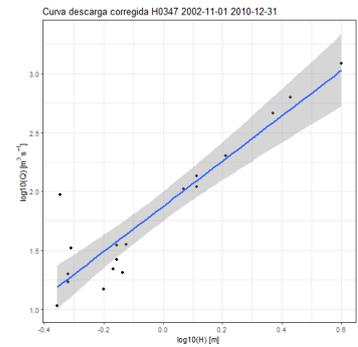
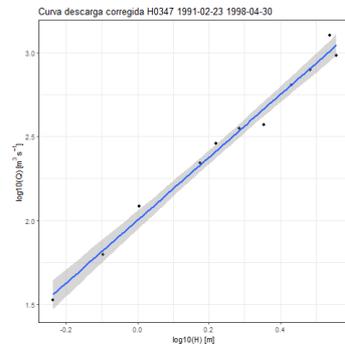
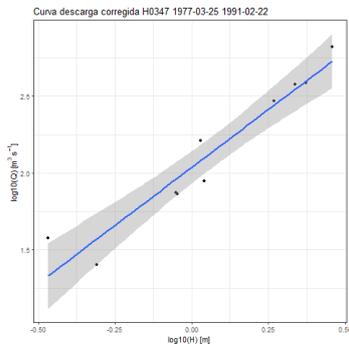
Estación H0343



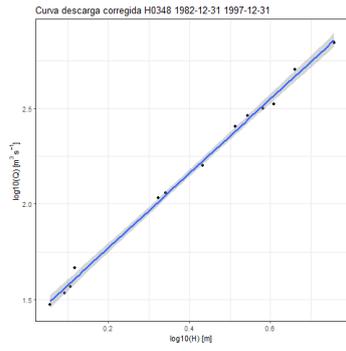
Estación H0346



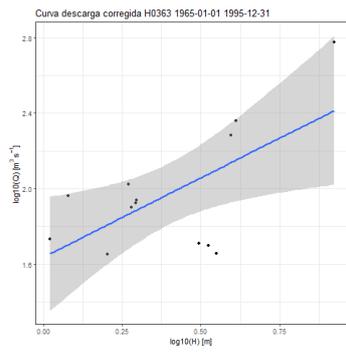
Estación H0347



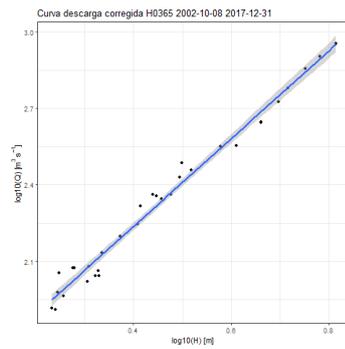
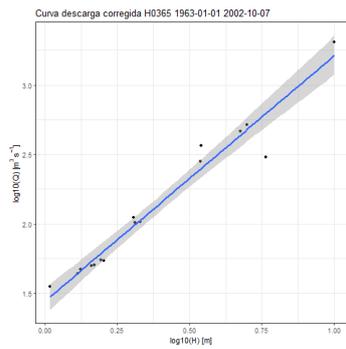
Estación H0348



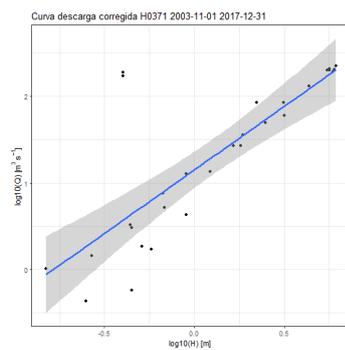
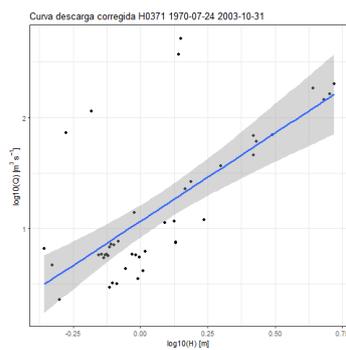
Estación H0363



Estación H0365



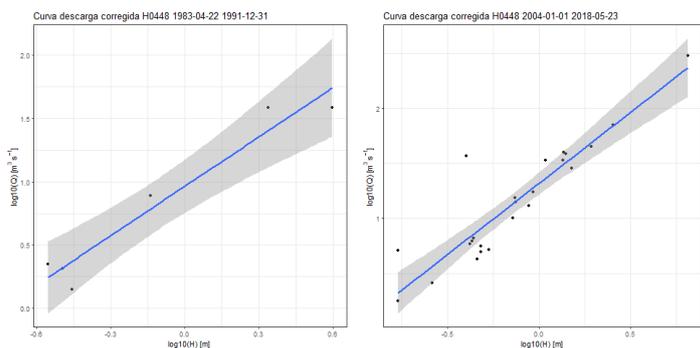
Estación H0371



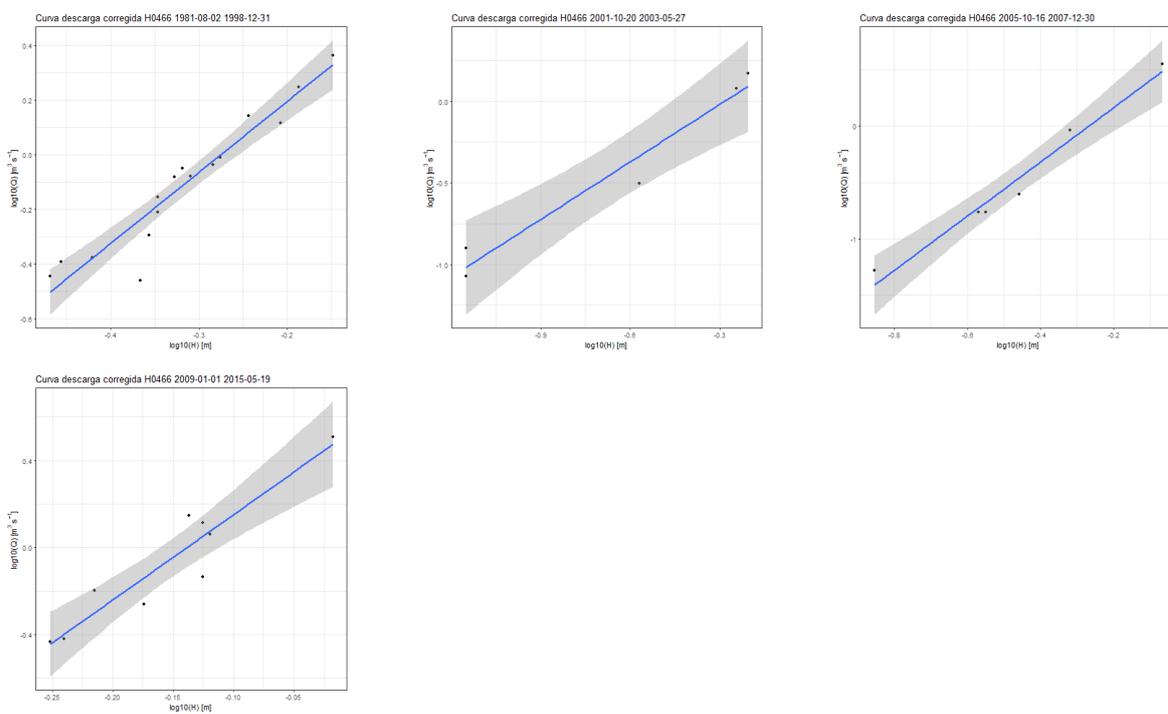
Estación H0385

No se tienen curvas de descarga

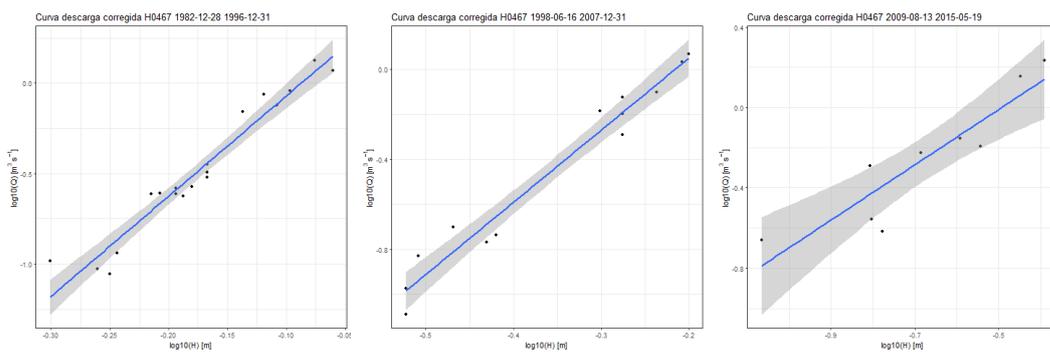
Estación H0448



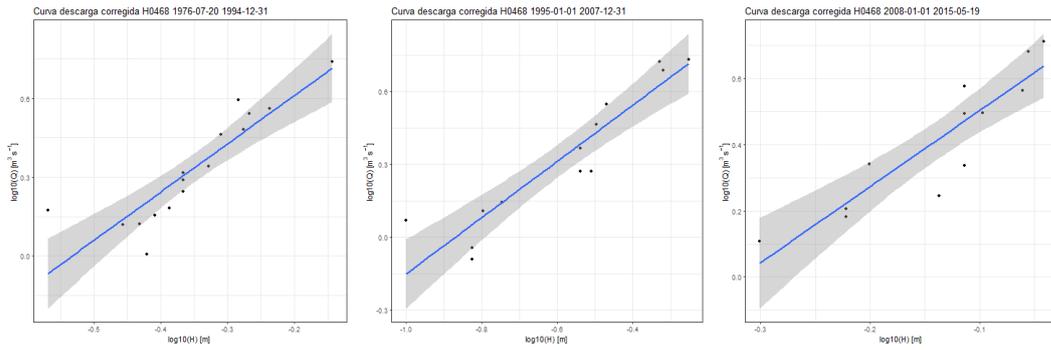
Estación H0466



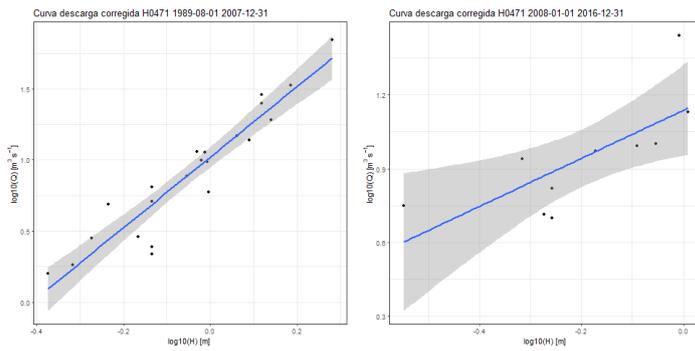
Estación H0467



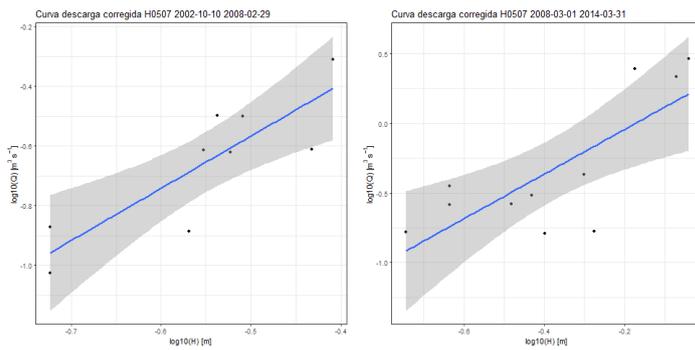
Estación H0468



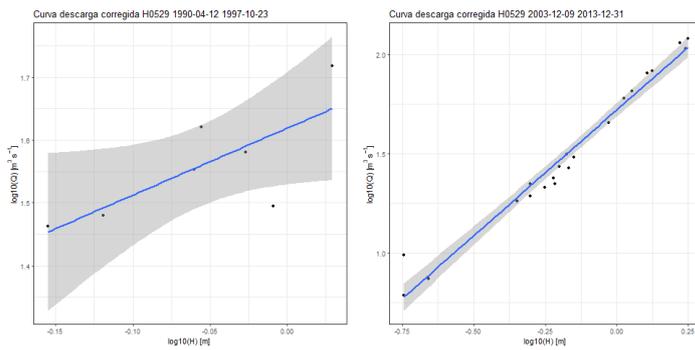
Estación H0471



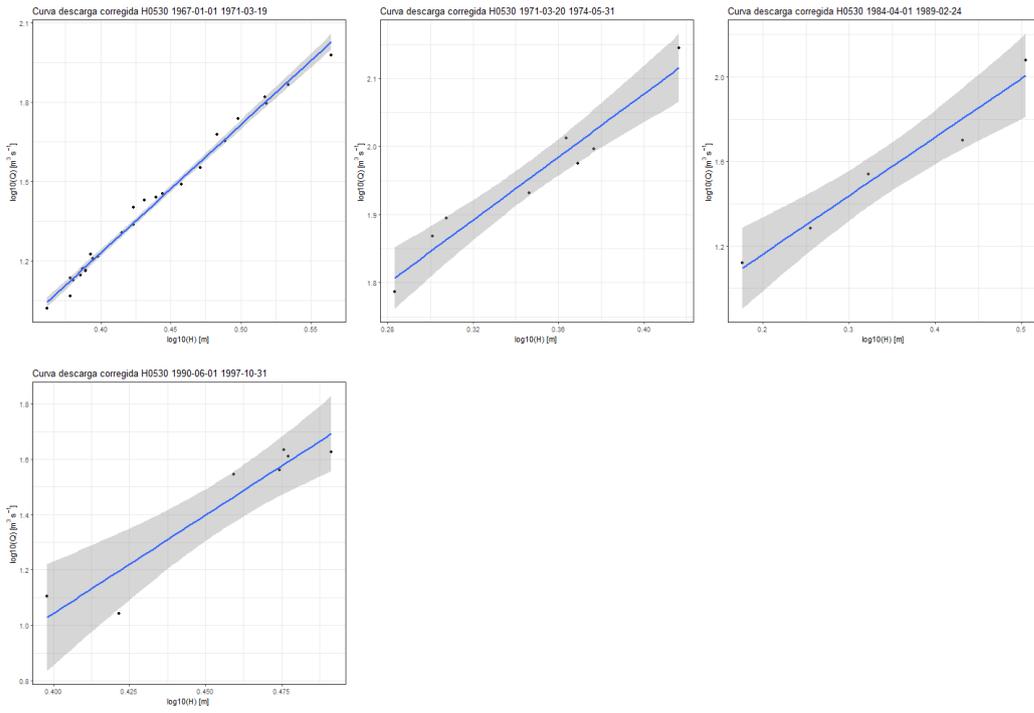
Estación H0507



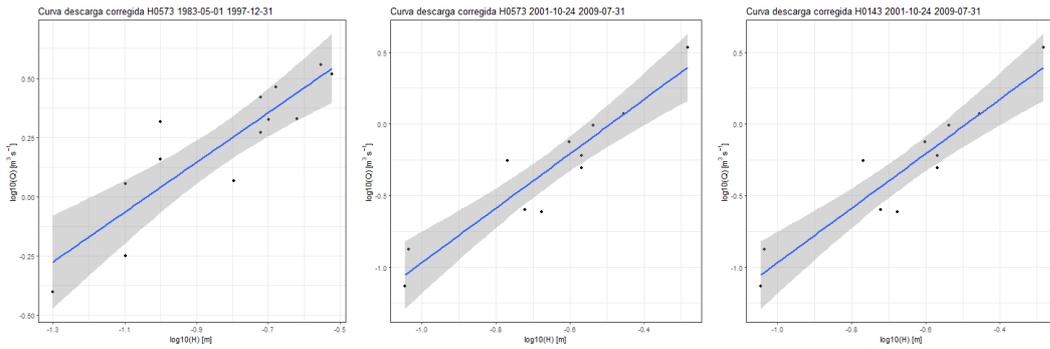
Estación H0529



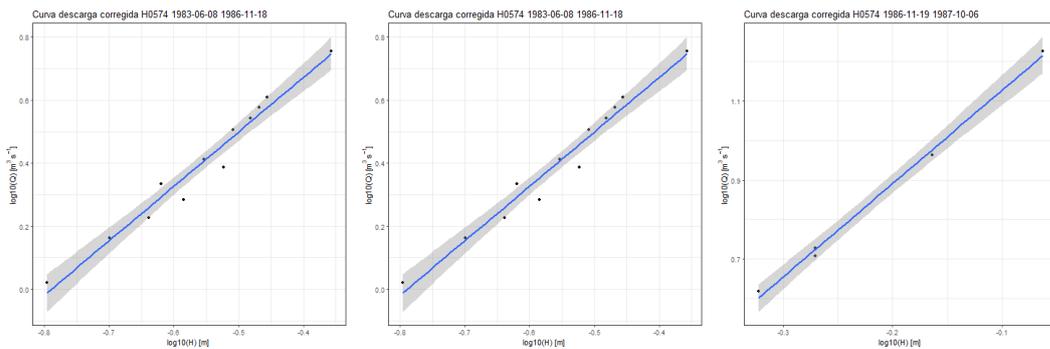
Estación H0530

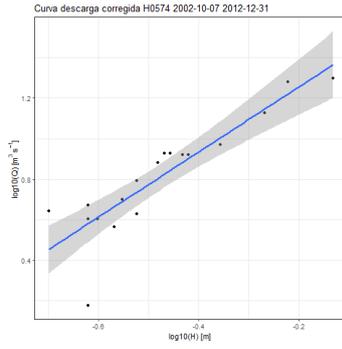
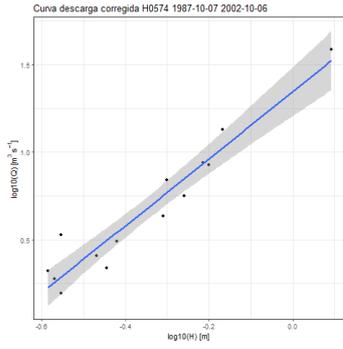


Estación H0573

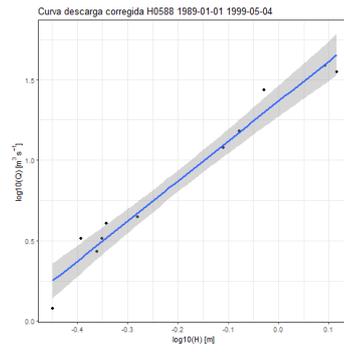
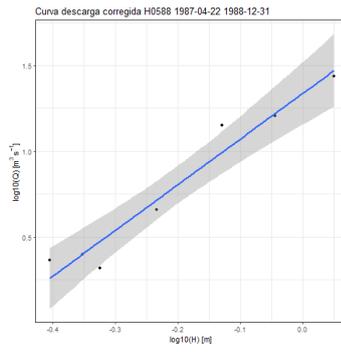
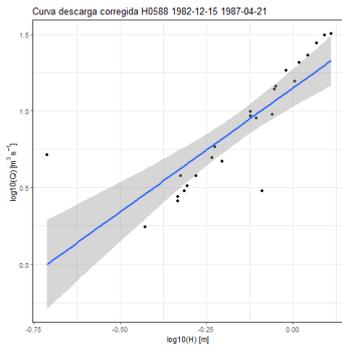


Estación H0574

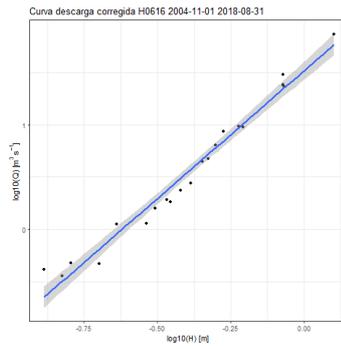
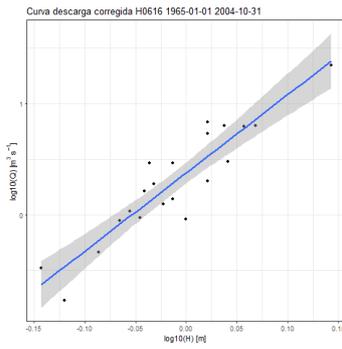




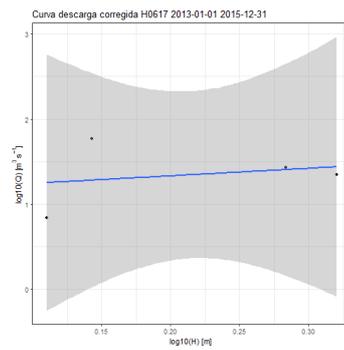
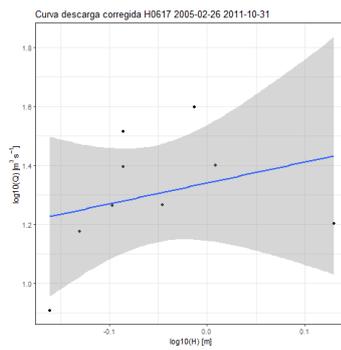
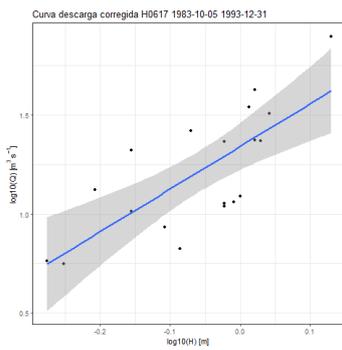
Estación H0588



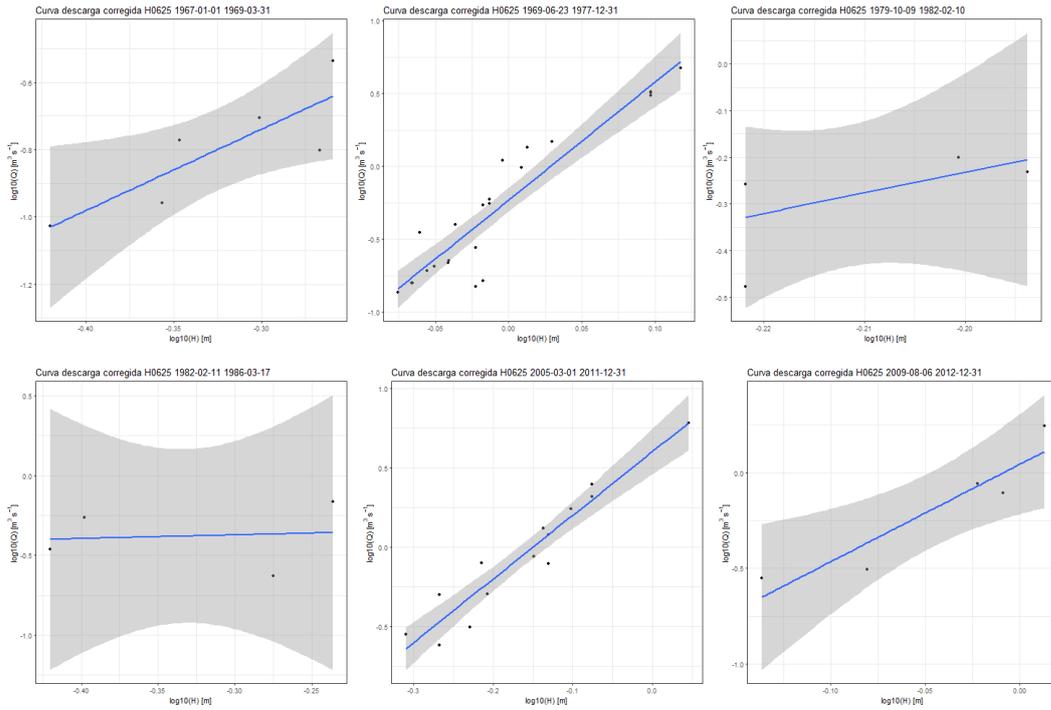
Estación H0616



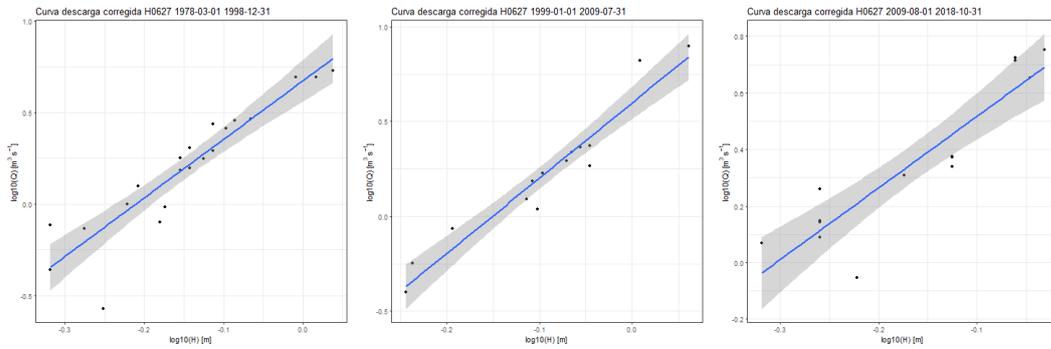
Estación H0617



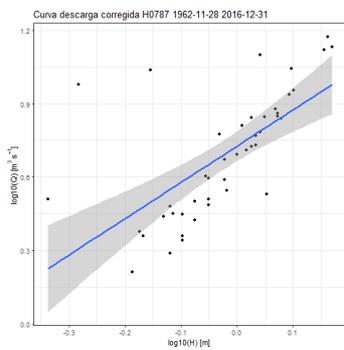
Estación H0625



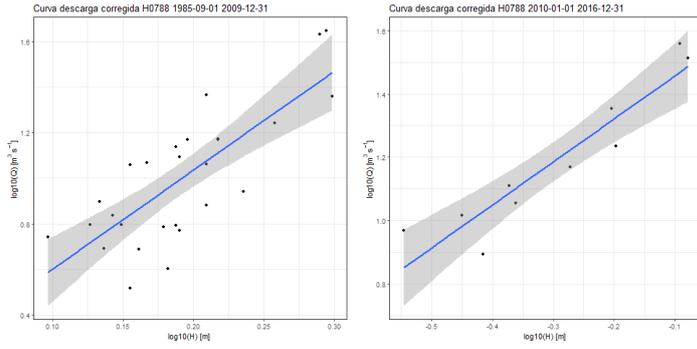
Estación H0627



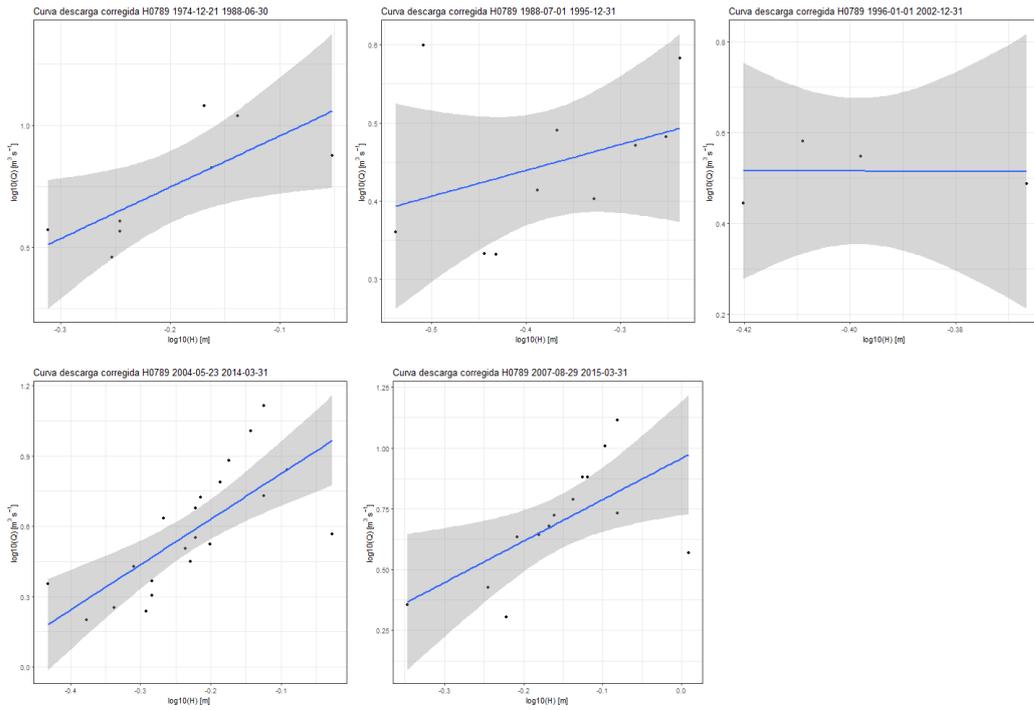
Estación H0787



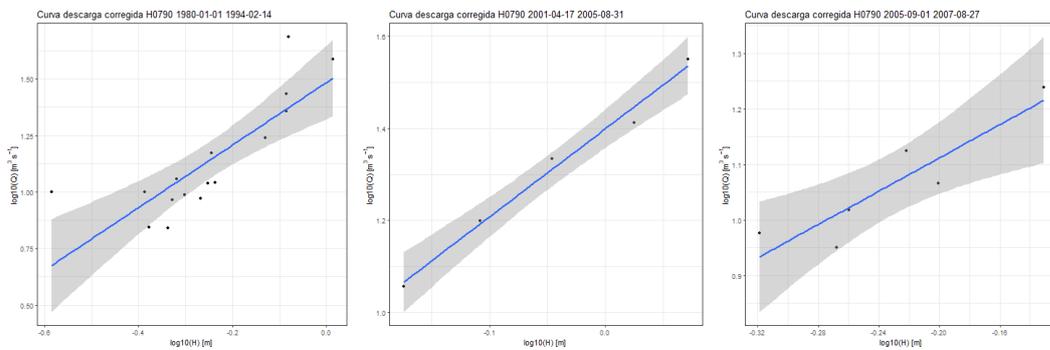
Estación H0788

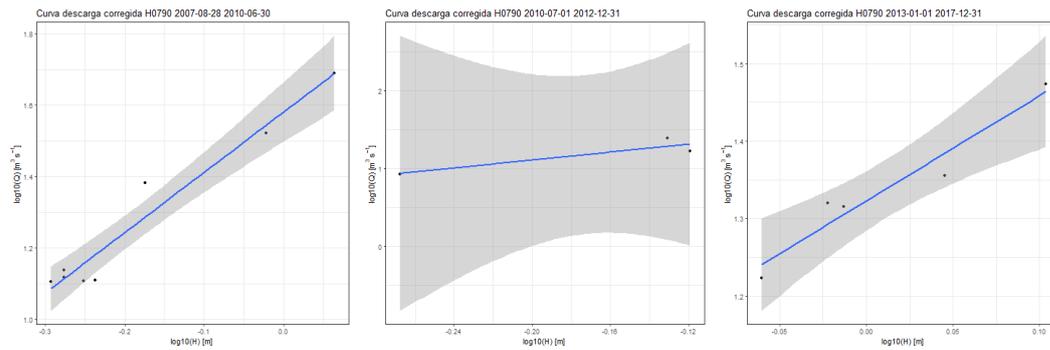


Estación H0789

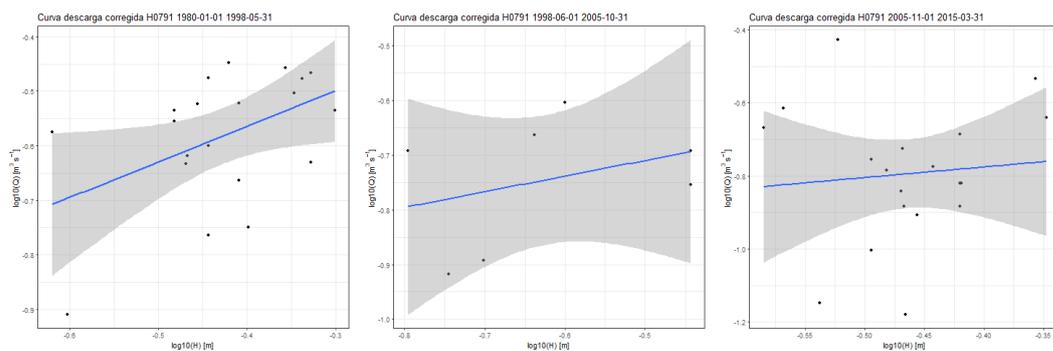


Estación H0790

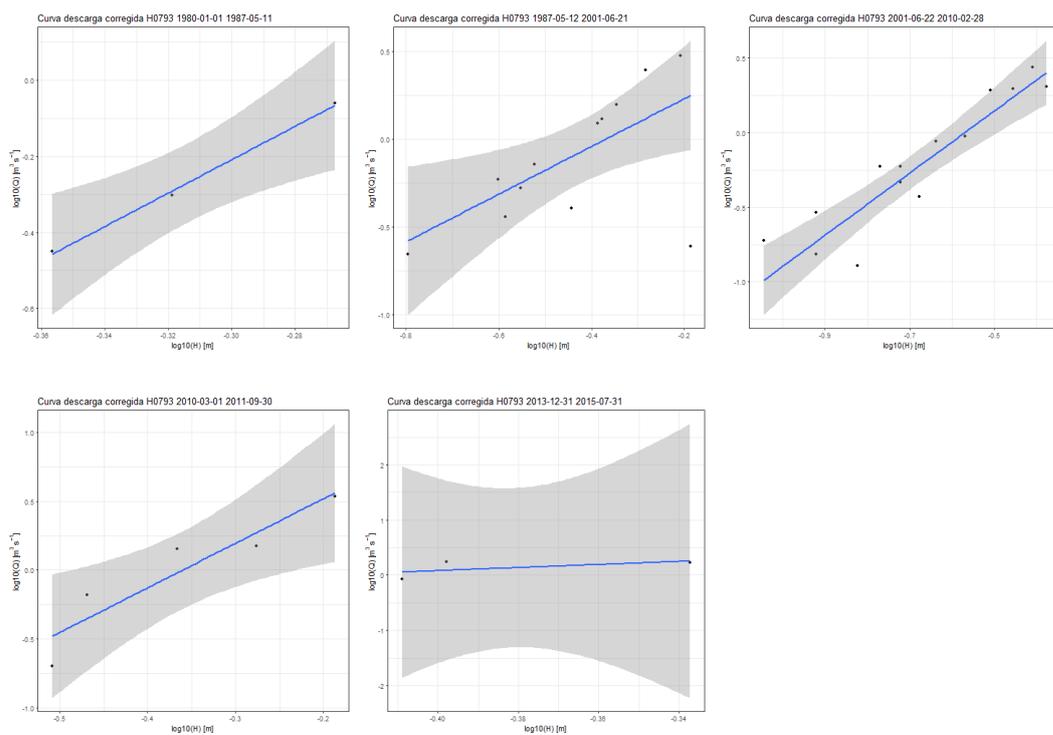




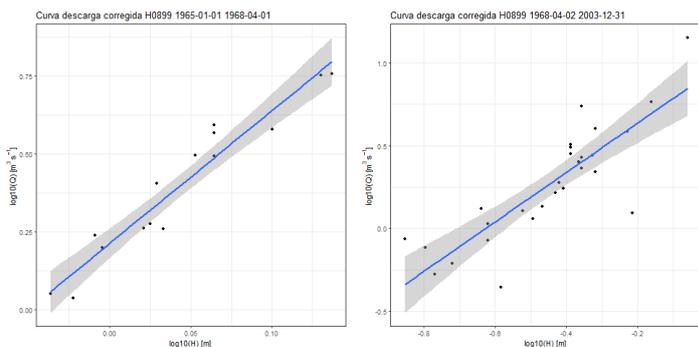
Estación H0791



Estación H0793



Estación H0899



Anexo 2. Valores de altura atípicos eliminados

Fuente: Elaboración propia

Estacion	Fecha Hora	Caudal	qlog	hlog	qlog_c
H0011	9/11/1998 8:50	45.561	1.659	-1.092	1.659
H0016	9/19/1998 17:10	3.183	0.503	-0.636	0.503
H0016	3/3/2007 9:20	4.338	0.637	-0.194	0.637
H0016	10/24/2003 15:45	2.695	0.431	1.838	0.431
H0045	11/18/2006 14:35	30.283	1.481	0.143	1.481
H0574	7/25/1984 10:25	8.351	0.922	0.651	0.922
H0091	6/10/2003 13:05	1.439	0.158	-0.377	0.158
H0091	8/22/2007 12:30	0.608	-0.216	-0.276	-0.216
H0091	9/1/2012 13:30	0.479	-0.320	-0.658	NA
H0091	6/23/2014 11:30	1.24	0.093	-0.268	0.093
H0143	6/19/1963 18:35	7.801	0.892	0.053	0.892
H0143	5/1/1965 16:35	19.334	1.286	0.111	NA
H0574	7/25/1984 10:25	8.351	0.922	0.651	0.922
H0143	9/27/1984 8:20	9.045	0.956	-0.697	0.956
H0143	8/1/2002 10:00	0	NA	-0.996	NA
H0573	3/12/2008 12:30	5.267	0.722	-0.143	0.722
H0158	1/8/1974 13:05	1.583	0.199	0.601	0.199
H0158	8/5/1976 11:55	3.499	0.544	0.671	0.544
H0158	4/18/1978 11:15	2.127	0.328	0.682	0.328
H0158	10/3/1989 11:30	3.957	0.597	-1.523	0.597
H0159	5/10/1966 10:20	7.018	0.846	-0.066	NA
H0159	11/25/1974 11:30	6.983	0.844	-3.000	0.844
H0159	4/15/1978 8:15	3.811	0.581	-0.260	NA
H0159	11/12/1984 11:00	4.241	0.627	-0.347	0.627
H0159	7/28/1990 10:00	2.19	0.340	-0.149	NA
H0159	9/11/1991 13:00	1.759	0.245	-0.319	0.245
H0159	5/8/1993 8:00	5.118	0.709	-0.097	0.709
H0159	3/21/1994 11:55	5.295	0.724	-0.097	0.724
H0159	6/21/2006 14:18	3.657	0.563	-0.137	0.563
H0159	7/5/2008 12:40	6.182	0.791	-0.086	NA
H0168	11/12/1986 13:00	286.165	2.457	0.195	2.457
H0170	9/8/2005 12:00	52.687	1.722	-0.420	1.722

H0173	10/19/2000 11:30	1.168	0.067	-3.000	0.067
H0173	6/15/2006 12:00	0	NA	-3.000	NA
H0229	9/4/1963 13:00	0.005	-2.301	-1.495	NA
H0229	10/19/1974 16:00	0.16	-0.796	-1.721	-0.796
H0229	9/16/1982 12:50	0.047	-1.328	-0.764	-1.328
H0229	6/19/1995 9:00	0.26	-0.585	-1.097	-0.585
H0229	10/22/1989 11:32	0.482	-0.317	-0.959	-0.317
H0233	6/25/1990 9:00	0.199	-0.701	-0.550	-0.701
H0233	4/22/1994 14:00	4.538	0.657	0.314	0.657
H0272	2/20/2006 10:00	27.698	1.442	0.330	NA
H0272	4/9/2013 12:30	56.589	1.753	0.502	NA
H0331	9/11/1985 16:10	1.697	0.230	-0.678	0.230
H0331	10/3/2011 13:30	2.345	0.370	-1.301	0.370
H0333	2/2/1991 16:05	0.216	-0.666	-1.046	-0.666
H0333	11/30/1991 9:05	0.213	-0.672	-1.000	-0.672
H0333	9/18/1992 13:40	0.194	-0.712	-1.000	-0.712
H0337	5/21/2008 10:36	13.421	1.128	0.114	NA
H0337	3/14/2014 9:00	52.978	1.724	0.511	1.724
H0338	4/19/2011 10:10	103.906	2.017	0.301	NA
H0340	4/21/2001 18:30	69.159	1.840	-0.821	1.840
H0340	11/22/2011 15:00	8.831	0.946	-0.770	0.946
H0343	2/4/1980 9:00	43.704	1.641	-3.000	1.641
H0343	10/10/1993 13:40	5.939	0.774	0.828	0.774
H0343	9/29/2000 6:45	4.485	0.652	-0.697	0.652
H0365	4/27/2001 10:55	1141.741	3.058	-3.000	3.058
H0365	10/6/1983 12:30	166.731	2.222	-3.000	2.222
H0371	2/8/1973 17:00	108.669	2.036	0.769	2.036
H0371	8/7/1973 14:40	5.987	0.777	0.927	0.777
H0448	4/9/2013 10:30	30.246	1.481	-3.000	1.481
H0466	5/14/1985 11:40	0.106	-0.975	-0.600	NA
H0466	4/16/2011 9:00	3.702	0.568	0.021	0.568
H0467	12/10/2010 16:10	0.053	-1.276	-1.252	NA
H0468	3/8/1986 14:45	0.694	-0.159	-0.721	-0.159
H0468	8/22/1995 11:13	0.96	-0.018	-1.699	-0.018
H0471	10/17/1984 11:50	5.749	0.760	-0.339	0.760
H0471	10/17/2000 11:15	3.877	0.588	-0.631	0.588
H0471	9/6/2003 10:50	3.411	0.533	-0.631	0.533
H0471	11/24/2011 11:25	2.189	0.340	-0.738	0.340
H0507	6/4/2007 13:20	2.263	0.355	-0.201	NA
H0529	9/7/1991 12:00	9.142	0.961	-0.420	NA
H0530	3/17/1968 15:30	153.997	2.188	0.638	2.188
H0530	2/28/1975 13:15	273.212	2.436	0.520	2.436
H0530	12/21/1974 12:20	53.934	1.732	1.016	1.732
H0530	5/6/1987 13:30	0.46	-0.337	-0.538	NA
H0573	7/21/1987 9:00	1.003	0.001	-1.699	0.001

H0573	5/19/1987 11:50	2.325	0.366	1.357	0.366
H0573	3/12/2008 12:30	5.267	0.722	-0.143	0.722
H0573	8/7/2014 17:18	0.844	-0.074	1.638	-0.074
H0574	7/25/1984 10:25	8.351	0.922	0.651	0.922
H0574	8/29/1987 16:00	2.906	0.463	-0.500	0.463
H0574	10/26/2000 13:40	2.069	0.316	-3.000	0.316
H0574	3/11/2008 9:30	44.307	1.646	0.124	NA
H0574	3/11/2008 11:30	44.307	1.646	0.124	NA
H0588	8/6/1986 11:50	3.288	0.517	1.324	0.517
H0591	11/14/1984 10:00	19.154	1.282	0.971	1.282
H0591	7/20/2007 12:15	35.721	1.553	1.251	1.553
H0591	1/8/1986 11:40	59.313	1.773	1.327	1.773
H0616	4/28/1998 10:10	111.609	2.048	0.362	NA
H0617	10/30/2011 14:20	15.258	1.183	-0.301	1.183
H0617	6/7/2010 9:30	29.508	1.470	0.182	1.470
H0625	2/22/1973 17:15	5.288	0.723	0.188	0.723
H0625	2/22/1973 16:15	6.003	0.778	0.207	0.778
H0625	10/9/1979 17:30	0.265	-0.577	-0.252	-0.577
H0625	2/20/2012 10:10	12.521	1.098	0.167	NA
H0627	9/3/1984 15:00	0.357	-0.447	-0.733	-0.447
H0627	3/13/1986 14:00	0.72	-0.143	-0.495	-0.143
H0627	10/6/2005 8:15	0.234	-0.631	-0.276	NA
H0627	6/4/2004 9:20	11.426	1.058	0.130	NA
H0787	4/18/2001 11:30	13.177	1.120	-0.996	1.120
H0787	6/24/2003 14:05	40.581	1.608	0.326	1.608
H0787	3/20/2014 14:00	31.899	1.504	0.375	1.504
H0787	6/11/1990 8:00	93.102	1.969	0.493	NA
H0788	9/27/2000 15:15	16.635	1.221	0.030	1.221
H0788	6/25/2003 9:20	56.01	1.748	0.336	1.748
H0788	1/18/2007 9:22	60.266	1.780	0.336	1.780
H0788	12/12/2010 9:00	3.706	0.569	-1.602	0.569
H0789	6/11/1990 12:00	34.985	1.544	0.083	NA
H0789	11/9/2002 12:38	3.451	0.538	-0.523	0.538
H0790	6/11/1990 15:00	281.66	2.450	0.415	NA
H0790	9/26/2011 10:45	52.149	1.717	0.107	1.717
H0791	10/14/1996 13:10	0.005	-2.301	-0.876	NA
H0791	2/25/2005 15:00	0.068	-1.167	-1.155	-1.167
H0791	9/1/2005 14:12	0.057	-1.244	-1.102	-1.244
H0791	4/14/2011 16:05	0.021	-1.678	-0.625	NA
H0793	8/3/1984 10:00	1.2	0.079	0.236	0.079
H0899	7/25/1966 9:30	27.473	1.439	0.301	NA
H0899	10/4/1968 13:30	4.908	0.691	0.100	0.691

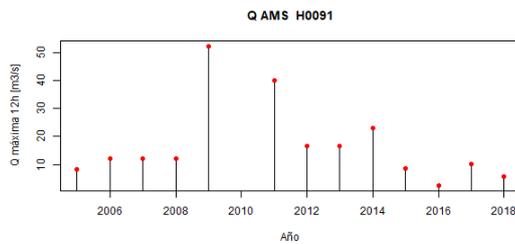
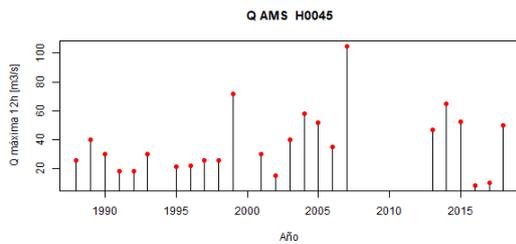
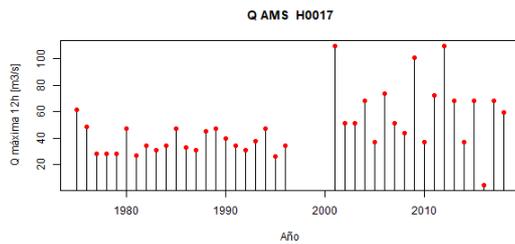
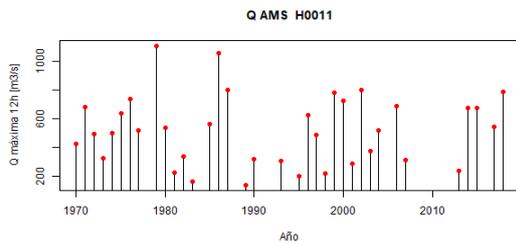
Anexo 3. Valores de caudal atípicos eliminados

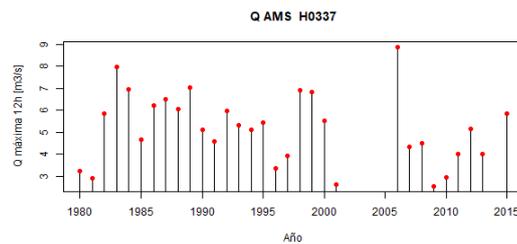
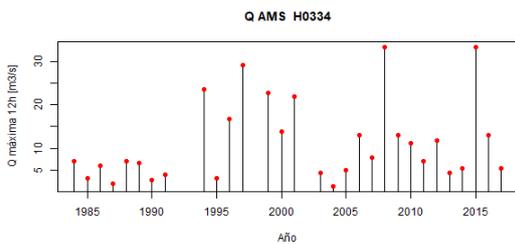
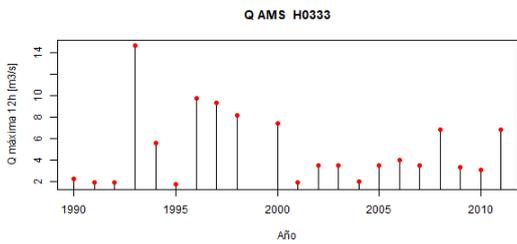
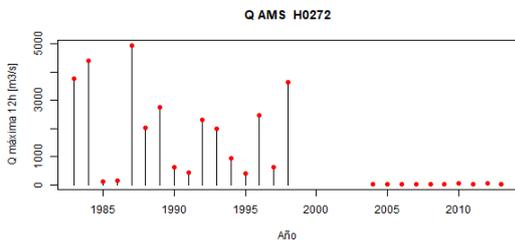
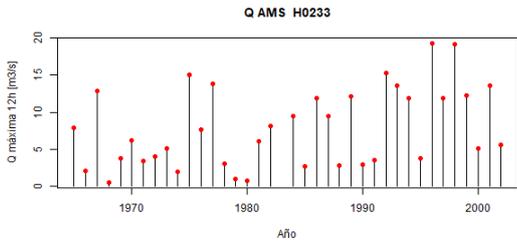
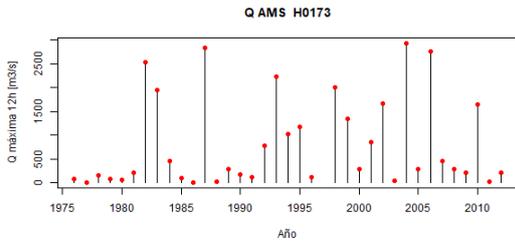
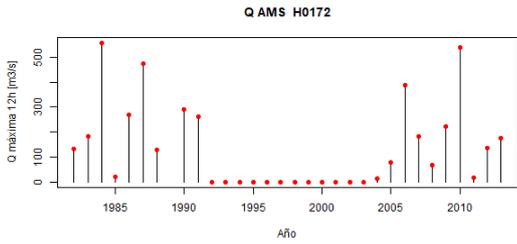
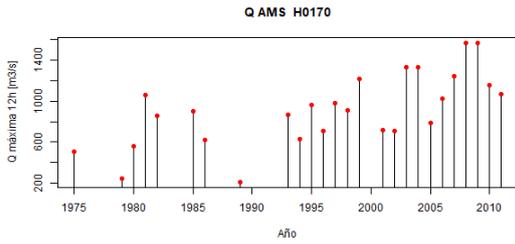
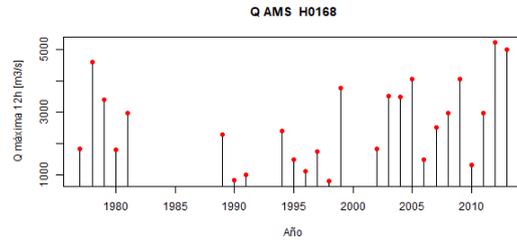
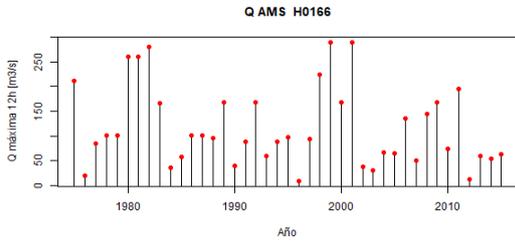
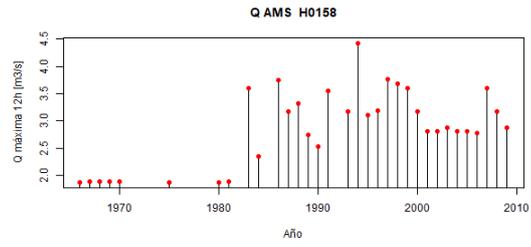
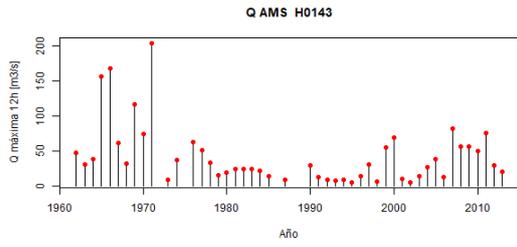
Fuente: Elaboración propia

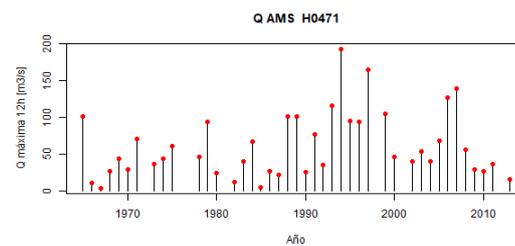
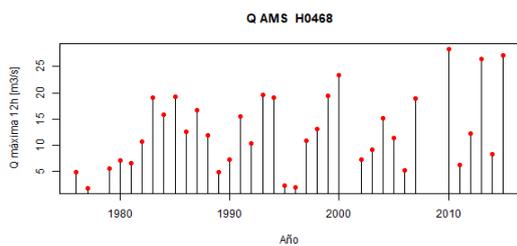
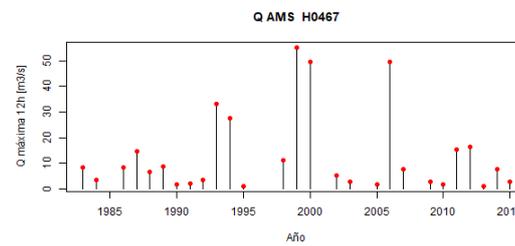
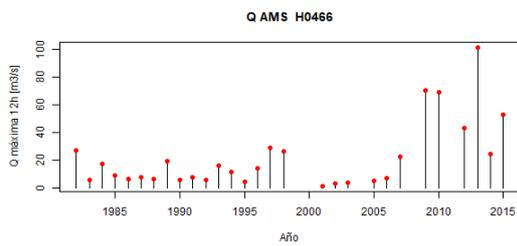
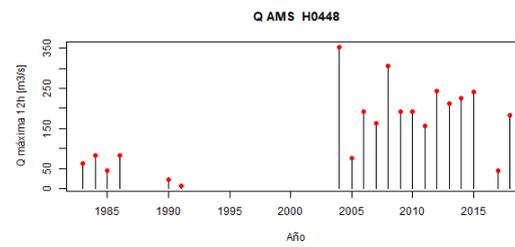
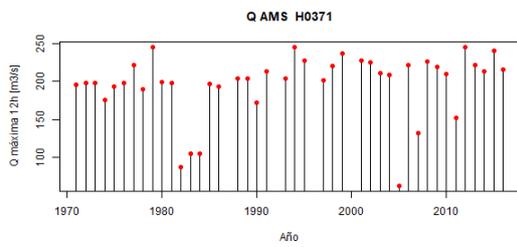
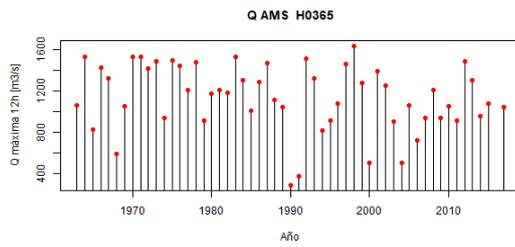
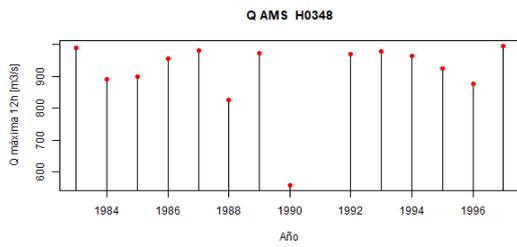
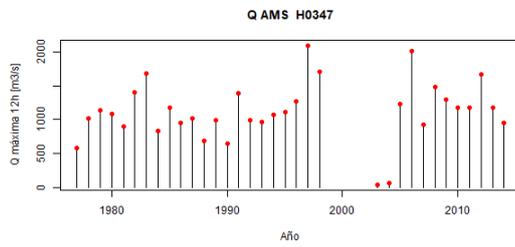
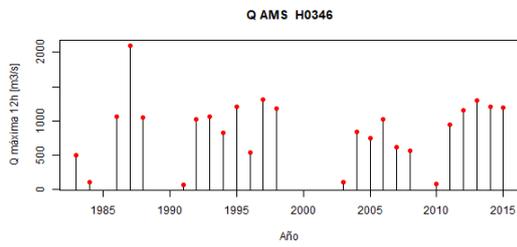
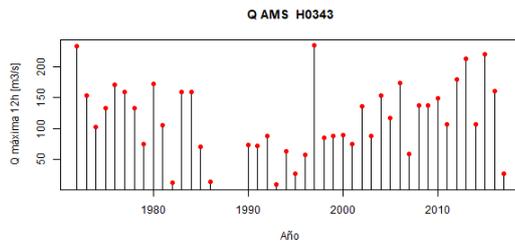
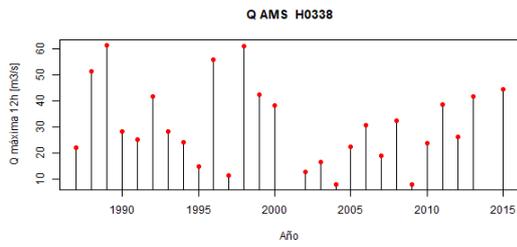
Estacion	Fecha Hora	Caudal	qlog	hlog
H0011	9/20/1978 8:35	26.162	1.418	0.025
H0011	1/30/1996 8:25	333.477	2.523	0.403
H0016	8/16/1990 9:00	19.307	1.286	0.100
H0017	8/18/2014 14:55	55.759	1.746	0.130
H0091	7/2/2002 15:05	3.389	0.530	-0.481
H0091	9/1/2012 13:30	0.479	-0.320	-0.658
H0091	5/12/2013 10:20	6.377	0.805	-0.387
H0091	8/17/2014 15:25	0.914	-0.039	-0.331
H0143	5/1/1965 16:35	19.334	1.286	0.111
H0143	6/2/1976 10:30	9.961	0.998	0.079
H0158	5/3/1979 13:15	0.756	-0.121	0.634
H0158	1/20/1965 8:45	5.188	0.715	0.626
H0158	9/9/1964 10:35	4.056	0.608	0.652
H0158	9/8/1964 13:10	4.972	0.697	0.654
H0158	6/3/2003 10:05	49.478	1.694	-0.222
H0158	6/20/2003 11:05	49.251	1.692	-0.222
H0159	5/10/1966 10:20	7.018	0.846	-0.066
H0159	4/15/1978 8:15	3.811	0.581	-0.260
H0159	8/16/1986 14:30	1.859	0.269	-0.167
H0159	7/28/1990 10:00	2.19	0.340	-0.149
H0159	1/11/2007 11:15	2.882	0.460	-0.201
H0159	7/5/2008 12:40	6.182	0.791	-0.086
H0172	4/17/1994 9:05	4.831	0.684	-0.319
H0172	6/11/2003 11:45	6.609	0.820	-0.244
H0229	9/4/1963 13:00	0.005	-2.301	-1.495
H0272	2/20/2006 10:00	27.698	1.442	0.330
H0272	4/9/2013 12:30	56.589	1.753	0.502
H0331	4/21/2011 9:45	39.705	1.599	0.100
H0334	5/15/1987 10:00	7.87	0.896	-0.051
H0337	5/21/2008 10:36	13.421	1.128	0.114
H0338	4/19/2011 10:10	103.906	2.017	0.301
H0363	3/27/1992 14:00	947.887	2.977	1.023
H0466	5/14/1985 11:40	0.106	-0.975	-0.600
H0466	8/22/1995 9:42	0.048	-1.319	-0.510
H0467	12/10/2010 16:10	0.053	-1.276	-1.252
H0471	4/17/2011 9:40	39.903	1.601	0.180
H0507	8/21/2004 11:50	0.024	-1.620	-0.614
H0507	6/4/2007 13:20	2.263	0.355	-0.201
H0529	9/7/1991 12:00	9.142	0.961	-0.420
H0530	2/6/1974 15:30	44.543	1.649	0.255
H0530	5/6/1987 13:30	0.46	-0.337	-0.538

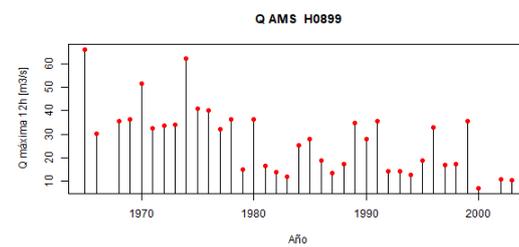
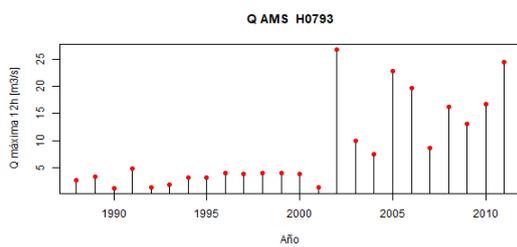
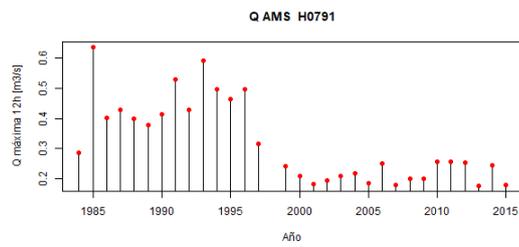
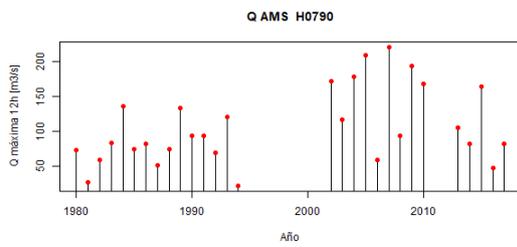
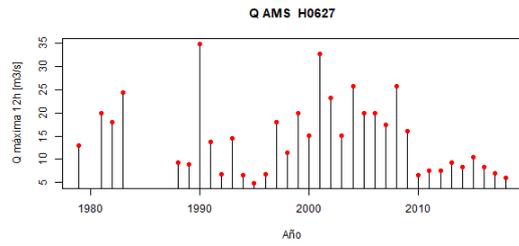
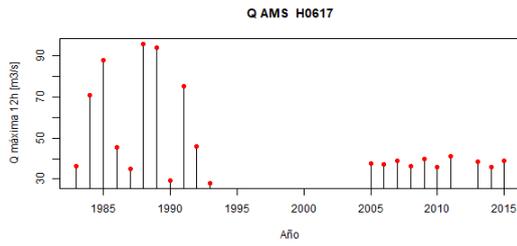
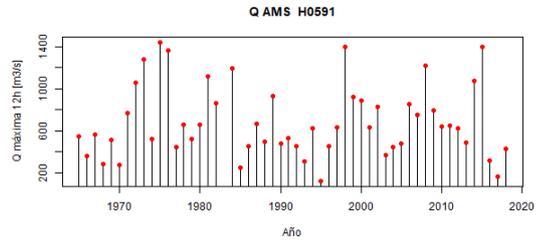
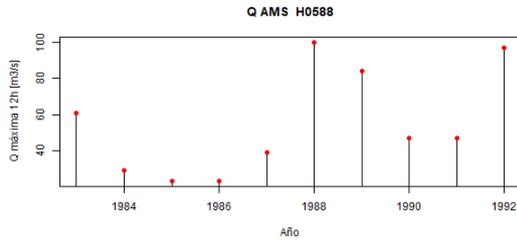
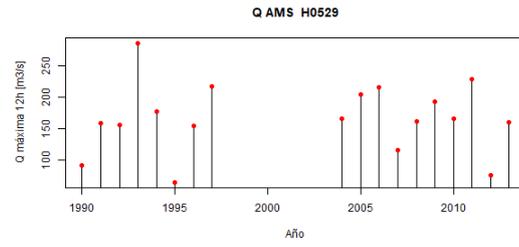
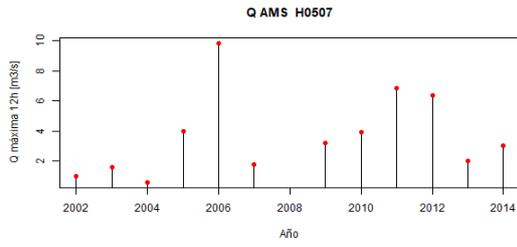
H0574	3/11/2008 9:30	44.307	1.646	0.124
H0574	3/11/2008 11:30	44.307	1.646	0.124
H0591	8/26/1985 15:50	1.626	0.211	0.065
H0616	4/28/1998 10:10	111.609	2.048	0.362
H0617	10/5/2005 9:15	3.623	0.559	-0.119
H0625	5/25/1967 16:00	0.941	-0.026	-0.187
H0625	2/20/2012 10:10	12.521	1.098	0.167
H0627	10/6/2005 8:15	0.234	-0.631	-0.276
H0627	6/4/2004 9:20	11.426	1.058	0.130
H0787	6/11/1990 8:00	93.102	1.969	0.493
H0788	6/10/1990 14:00	101.047	2.005	0.283
H0789	6/11/1990 12:00	34.985	1.544	0.083
H0790	6/11/1990 15:00	281.66	2.450	0.415
H0790	7/11/2014 8:30	65.429	1.816	0.176
H0791	10/14/1996 13:10	0.005	-2.301	-0.876
H0791	5/31/1991 12:40	0.098	-1.009	-0.570
H0791	11/24/1984 12:00	0.015	-1.824	-0.406
H0791	4/14/2011 16:05	0.021	-1.678	-0.625
H0791	6/11/2006 11:52	9.792	0.991	-0.444
H0899	7/25/1966 9:30	27.473	1.439	0.301
H0899	2/28/1980 8:20	0.188	-0.726	-0.721
H0899	8/13/1989 10:05	15.295	1.185	-0.041

Anexo 4. Imágenes de ajuste de distribución de frecuencias

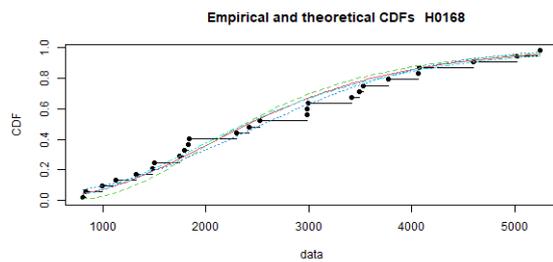
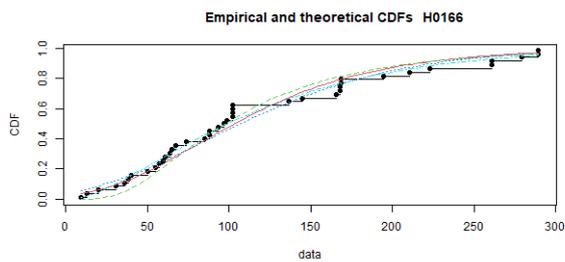
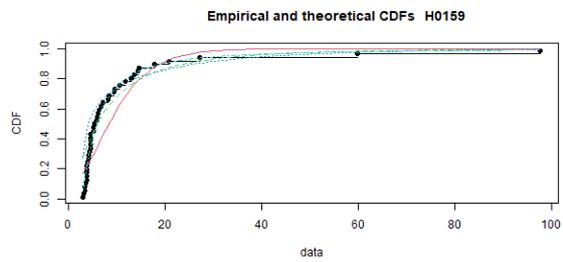
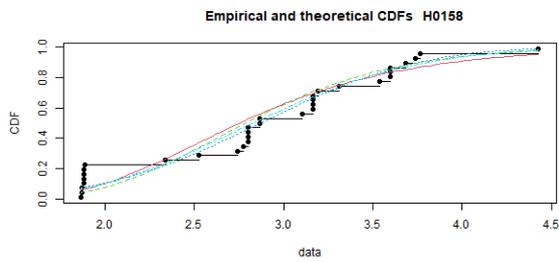
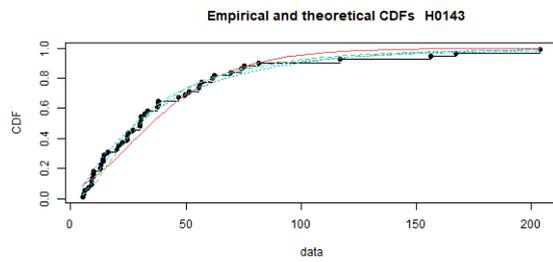
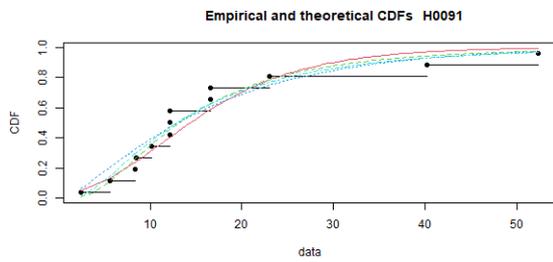
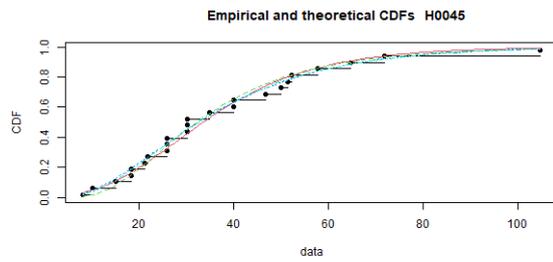
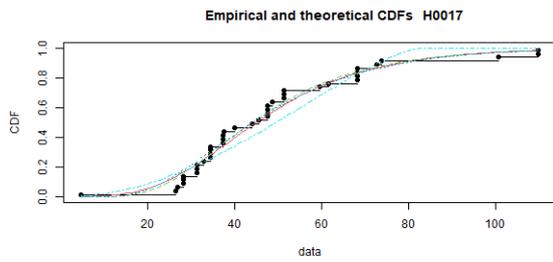
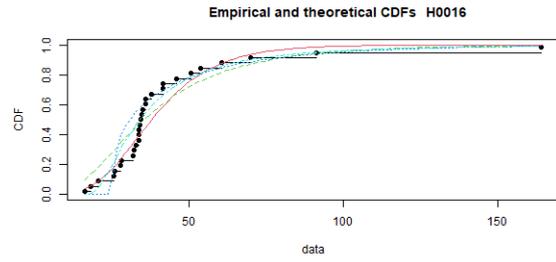
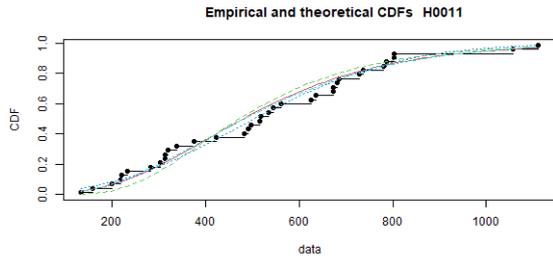


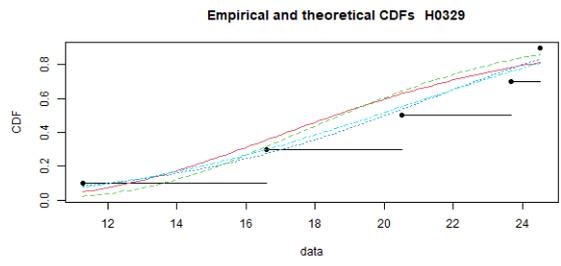
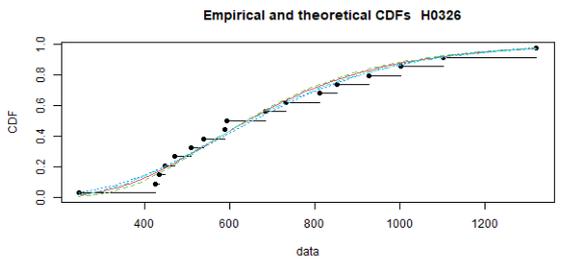
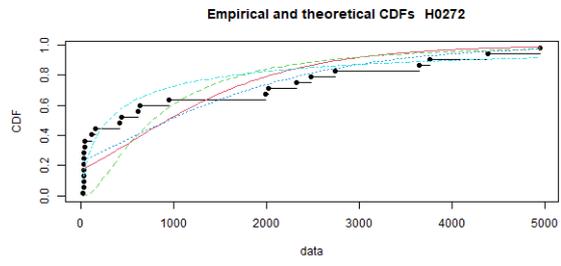
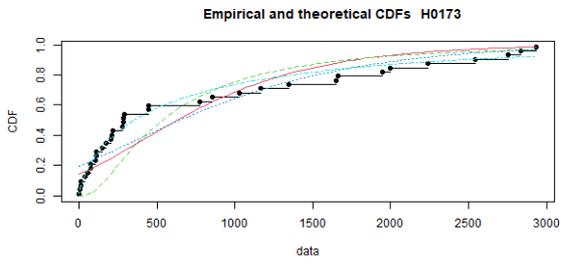
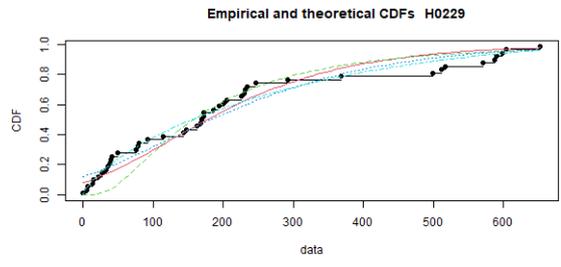
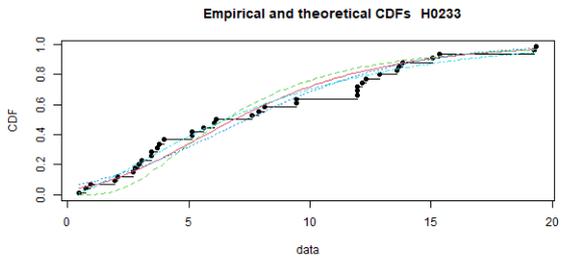
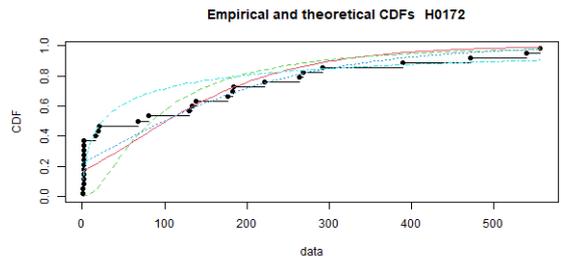
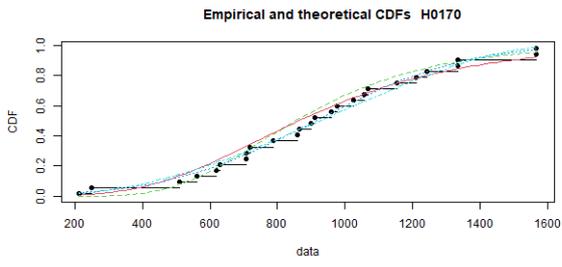


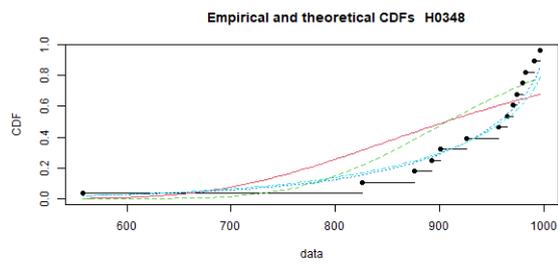
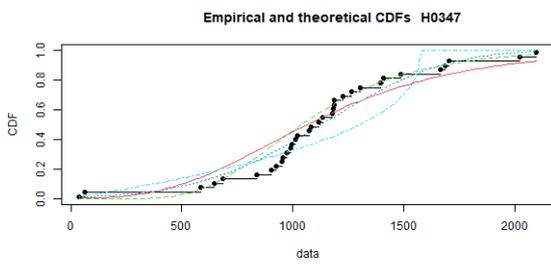
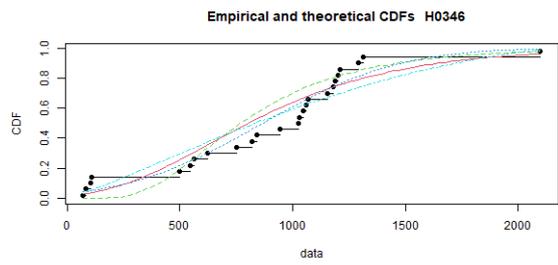
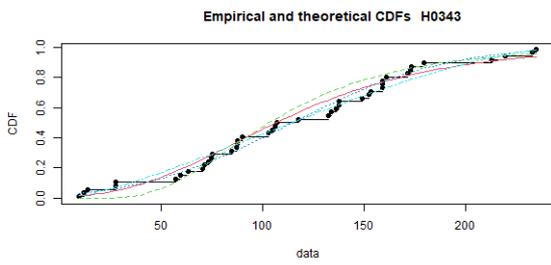
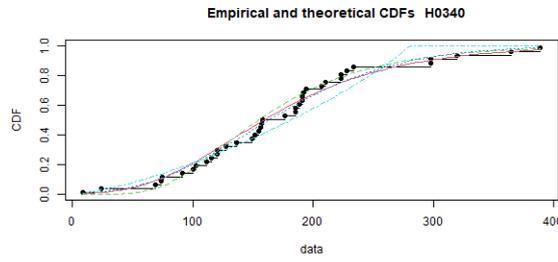
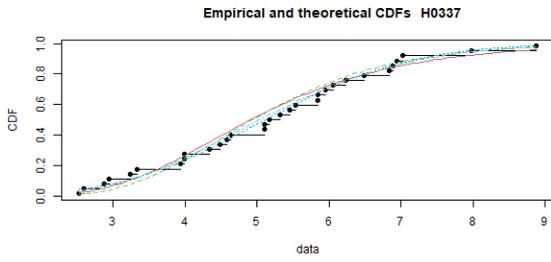
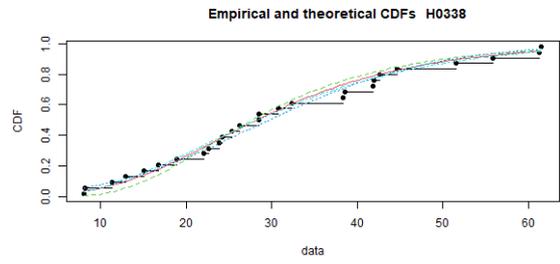
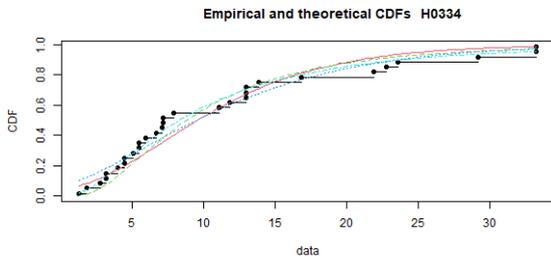
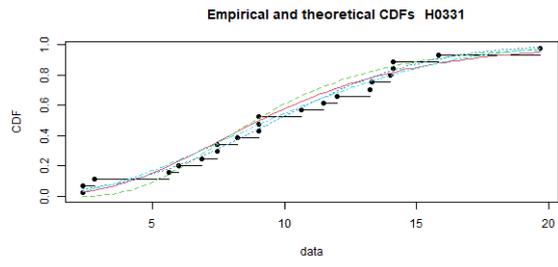
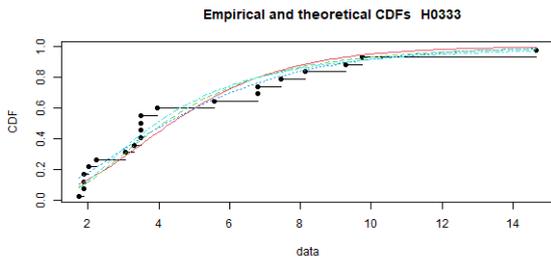


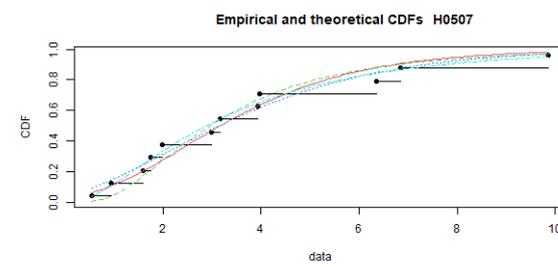
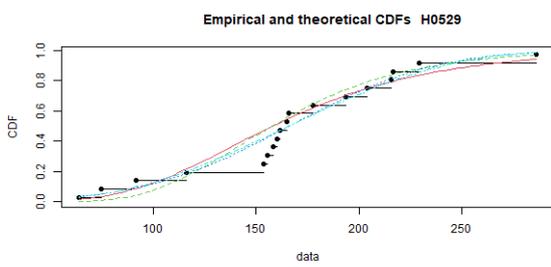
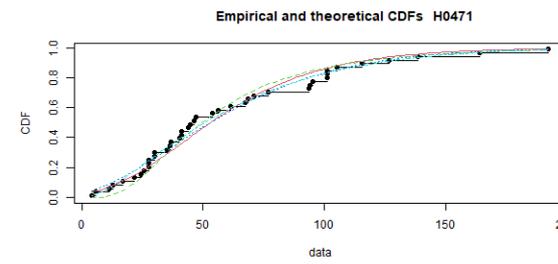
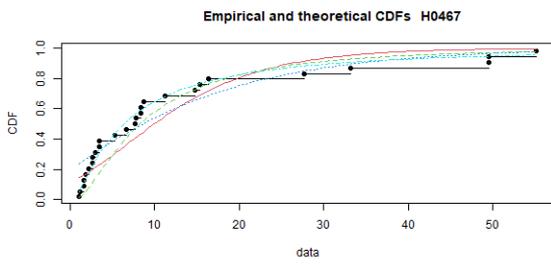
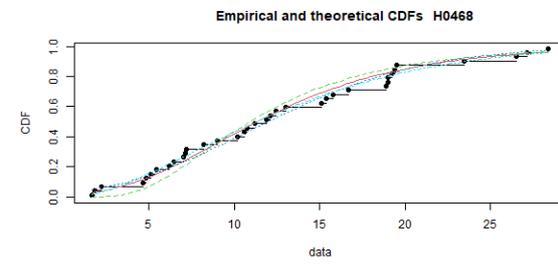
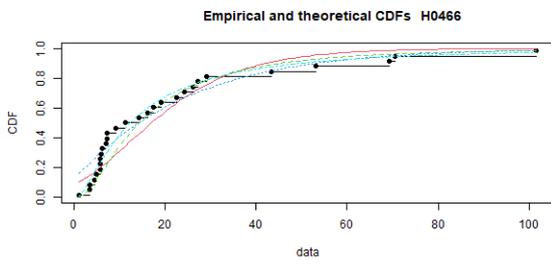
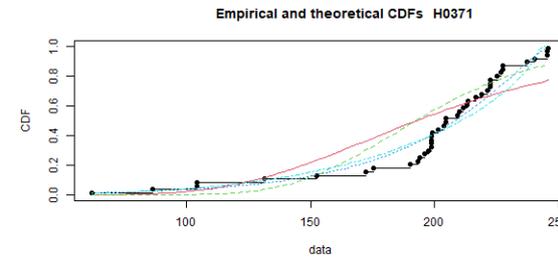
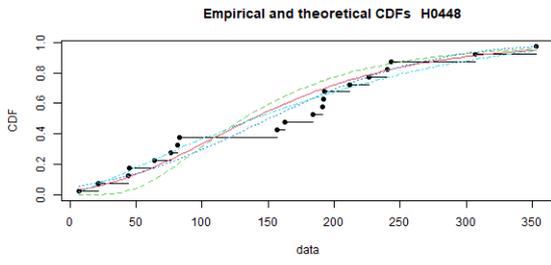
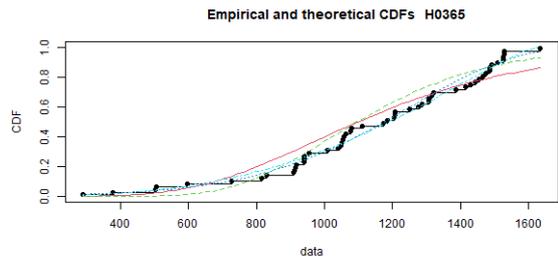
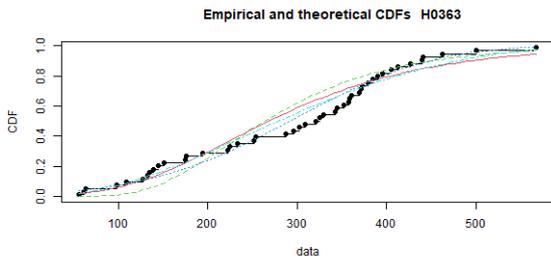


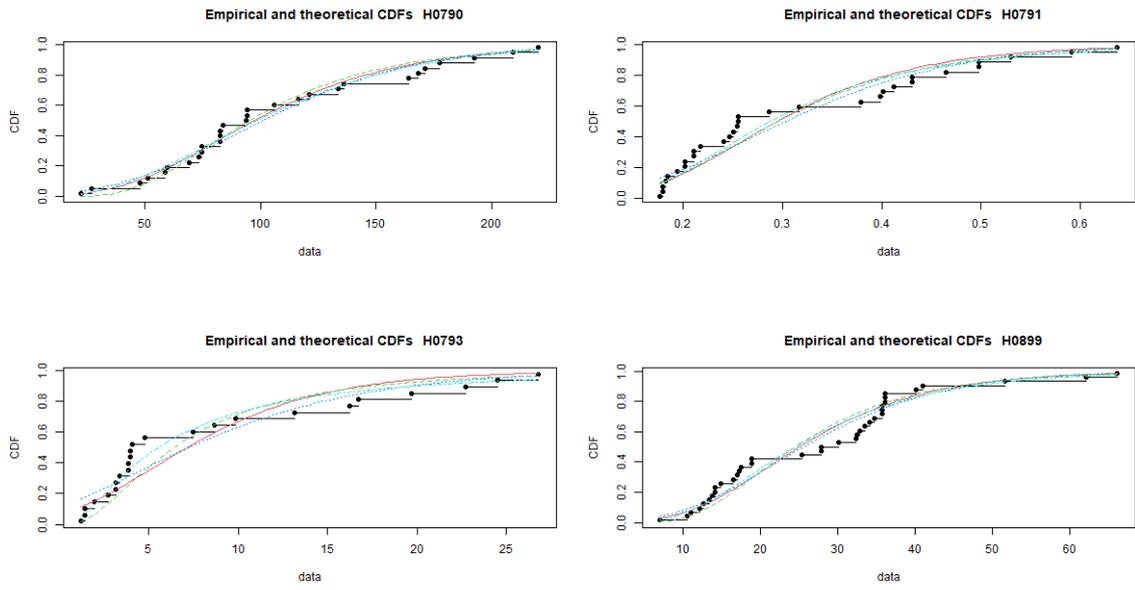
Anexo 5. Imágenes de ajuste de distribución de frecuencias





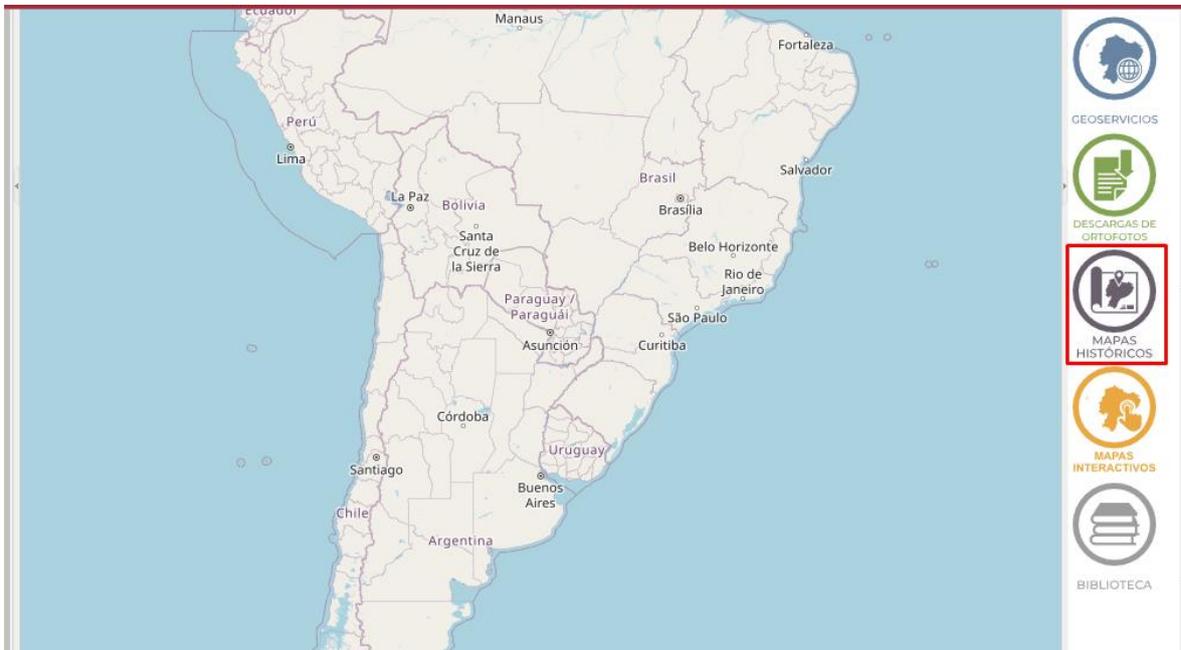






Anexo 6. Descargar información de la textura del suelo

<http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/visor-geo>





Anexo 7 . Script generación de ecuaciones de curvas de descarga

```

#----- TIC ENVOLVENTES -----

#----- BECERRA ALEXIS - VILLACÍS EMILIO - PÁEZ SEBASTIÁN -----

#----- FEBRERO 2024 -----

#----- CURVAS DE DESCARGA -----

library(stringr)

library(ggplot2)

#####

##1. Abrir y preparar datos INAMHI

#####

#borrar variables anteriores

rm(list=ls())

#cargar aforos INAMHI

aforos = read.csv("INAMHI_aforos2.csv",header=T) #los valores 0m en la regleta se han
reemplazado con 0.001m

#cargar curvas descarg INAMHI

curvad = read.csv("INAMHI_curva_descarga2.csv",header=T)

```

#guardar los nombres de las estaciones en un vector, deben estar los archivos .csv en la carpeta del proyecto

```
inamhi<- aforos$Estacion[!duplicated(aforos$Estacion)]
```

```
#Buscar valores de ho para cada estacion
```

```
#Reporte rangos duplicados
```

```
duplic0 = NA
```

```
for (i in 1:length(inamhi)) {
```

```
  a = curvad[curvad$codigo == inamhi[i],]
```

```
  duplic = a[duplicated(a$fechai),]
```

```
  duplic0= rbind.data.frame(duplic0,duplic)
```

```
}
```

```
duplic0 = duplic0[-1,] #curvas duplicadas
```

```
dulpinamhi = duplic0$codigo[!duplicated(duplic0$codigo)] #estacion con curvas duplicadas
```

```
write.csv(duplic0,file=paste("Curva_descarga-dupl_eliminadas",".csv",sep = ""))
```

```
#Eliminar las curvas duplicadas
```

```
deldupli = row.names(duplic0)
```

```
curvad2 = curvad[-as.numeric(deldupli),]
```

```
#ordenar curvad2 x codigo y luego numec
```

```
curvad2 = curvad2[with(curvad2, order(codigo,numec)),]
```

```
curvad2$id = 1:nrow(curvad2)
```

```
#variables para las ecuaciones
```

```
eq2_0=data.frame(NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)
```

```
colnames(eq2_0)=c("estacion","rango_inicio","rango_fin","ecuacion","a","b","ho")
```

```

eq4_0=data.frame(NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)

colnames(eq4_0)=c("estacion","rango_inicio","rango_fin","ecuacion","a","b","ho")

#modelo vacio

#modelos = vector(mode='list', length=nrow(curvad2))

modelos = data.frame(NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)

colnames(modelos)
=
c("estacion","fi","ff","Intercept_est","hlog_c_est","Intercept_stderr","hlog_c_stderr")

cont2= 0

#####

##2. Curva de descarga (ecuaciones y plots)

#####

for (j in 1:length(inamhi)){

  a = curvad2[curvad2$codigo == inamhi[j],]

  a$fechai = paste(substr(a$fechai,1,4),substr(a$fechai,5,6),substr(a$fechai,7,8),sep="-")
  a$fechaf = paste(substr(a$fechaf,1,4),substr(a$fechaf,5,6),substr(a$fechaf,7,8),sep="-")

  aforos2 = aforos

  aforos2$FechaHora = as.POSIXct(aforos2$FechaHora, format=c("%m/%d/%Y
%H:%M"))

  b = aforos2[aforos2$Estacion == inamhi[j],]

  for (k in 1:nrow(a)) {

    #contador curvad2

    cont =1

    cont2 = cont2+cont

    print(paste(j,inamhi[j],a$numec[k],cont2, sep=" _"))
  }
}

```

```

fi = as.POSIXct(a$fechai[k], format=c("%Y-%m-%d"))
ff = as.POSIXct(a$fechaf[k], format=c("%Y-%m-%d"))

#indices aforos en el rango k

indk = which(b$FechaHora >= fi & b$FechaHora <= ff)

#aforos en el rango k

aforosk = b[indk,]

if (nrow(aforosk) < 2){ # si hay menos de 2 aforos no se realiza la curva de descarga

  print(paste("error<2aforos",inamhi[j],k))

  model_cor_coef = data.frame(NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)

  colnames(model_cor_coef) =
c("estacion", "fi", "ff", "Intercept_est", "hlog_c_est", "Intercept_stderr", "hlog_c_stderr")

  modelos = rbind.data.frame(modelos,model_cor_coef)

  eq4_1=data.frame(inamhi[j],fi,ff,NA,NA,NA,NA)

  colnames(eq4_1)=c("estacion", "rango_inicio", "rango_fin", "ecuacion", "a", "b", "ho")

  eq4_0=rbind.data.frame(eq4_0,eq4_1)

  next

}

#caudal, nivel log

ho=a$coef2[k]

aforosk$qlog = log10(aforosk$Caudal)

aforosk$hlog = log10(aforosk$ProfPromMedMGH+ho)

```

```

if (length(which(!is.na(aforosk$hlog))) < 2){ # si hay menos de 2 aforos con datos
efectivos (no NA) no se realiza la curva de descarga

  print(paste("error<2aforos efectivos",inamhi[j],k))

  model_cor_coef = data.frame(NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)

  colnames(model_cor_coef) =
c("estacion", "fi", "ff", "Intercept_est", "hlog_c_est", "Intercept_stderr", "hlog_c_stderr")

  modelos = rbind.data.frame(modelos,model_cor_coef)

  eq4_1=data.frame(inamhi[j],fi,ff,NA,NA,NA,NA)

  colnames(eq4_1)=c("estacion", "rango_inicio", "rango_fin", "ecuacion", "a", "b", "ho")

  eq4_0=rbind.data.frame(eq4_0,eq4_1)

  next
}

aforosk$qlog[which(is.infinite(aforosk$qlog))] = NA
aforosk$hlog[which(is.infinite(aforosk$hlog))] = NA

#regresion lineal

model <- lm(qlog ~ hlog, data=aforosk) #y ~ x ; v. ind ~ v.dep

sum_model = summary(model)

c = round(model$coefficients[1],4) # intersección

b_eq2 = round(model$coefficients[2],4) # pendiente

a_eq2 = round(10^c,4)

r2= round(summary(model)$r.squared,4) #R2

eq1 = paste("y = ",b_eq2, "* x + ", c, ", r2=", r2)

eq2 = paste("Q = ",a_eq2, "* (H+ho)^", b_eq2)

```

```

assign(paste('Eq1',inamhi[j],fi,ff,sep='_'),eq1)
assign(paste('Eq2',inamhi[j],fi,ff,sep='_'),eq2)

#plot curva descarga sin correccion
plot_qvsh1 = ggplot(aforosk, aes(x=hlog, y=qlog ))+
  geom_point()+
  theme_bw() +
  geom_smooth(method = "lm", level=0.95)+
  #geom_text(x = 1.5, y = 4.5, label = eq1, parse = F)+
  #geom_text(x = 1.5, y = 4.7, label = eq2, parse = F)+
  labs (title=paste("Curva descarga",inamhi[j],fi,ff,sep = " "))+ #CAMBIAR A J
  labs(y = expression(paste("log10(Q) [",m^3," ",s^-1,"]",sep = " "))) +
  labs(x = expression(paste("log10(H) [",m,"]",sep = " "))) +
  ylim(0,5)+ xlim(-0.5,2)+
  theme(plot.title = element_text(size = 20), legend.position = "bottom",
        legend.text = element_text(size=14), legend.title = element_blank(),
        axis.title.x = element_text(size=16), axis.title.y = element_text(size=16),
        axis.text.y = element_text(size=14), axis.text.x = element_text(size=14))
png(file=paste("Curva descarga",inamhi[j],"_",fi,"_",ff,".png",sep = ""))
plot_qvsh1
dev.off()

#Plot valores atípicos Q
png(file=paste("Box Plot Q",inamhi[j],"_",fi,"_",ff,".png",sep = ""), height=300, width=600)
boxplot(aforosk$qlog, ylab= "Caudal m3/s", main=paste("Box plot Q",inamhi[j],"_",fi,"_",ff,".png",sep = ""))

```

```

dev.off()

#Plot valores atípicos H

png(file=paste("Box Plot H",inamhi[j],"_",fi,"_",ff,".png",sep = ""), height=300, width=600)

boxplot(aforosk$hlog, ylab= "Nivel m", main=paste("Box plot H",inamhi[j],"_",fi,"_",ff,".png",sep = ""))

dev.off()

#Eliminación valores atípicos Q

qt1 = quantile(aforosk$qlog,0.25, na.rm = T)

qt3 = quantile(aforosk$qlog,0.75, na.rm = T)

iqr1= qt3-qt1

iqr2= IQR(aforosk$qlog, na.rm = T)

thr_out1 = qt1-(1.5*iqr1)

thr_out2 = qt3+(1.5*iqr1)

ind_out1 = which(aforosk$qlog< thr_out1)#indice de outliers inferior

ind_out2 = which(aforosk$qlog> thr_out2)#indice de superior

ind_out=c(ind_out1, ind_out2)

elim= aforosk[ind_out,]

write.csv(elim,file=paste("Curva_descarga-
ValoresQ_eliminados",inamhi[j],"_",fi,"_",ff,".csv",sep = ""))

aforosk$qlog_c = aforosk$qlog

aforosk$qlog_c[ind_out] = NA

#Eliminación valores atípicos H

qt1 = quantile(aforosk$hlog,0.25, na.rm = T)

```

```

qt3 = quantile(aforosk$hlog,0.75, na.rm = T)

iqr1= qt3-qt1

iqr2= IQR(aforosk$hlog, na.rm = T)

thr_out1 = qt1-(1.5*iqr1)

thr_out2 = qt3+(1.5*iqr1)

ind_out1h = which(aforosk$hlog< thr_out1)#indice de outliers inferior

ind_out2h = which(aforosk$hlog> thr_out2)#indice de superior

ind_outh=c(ind_out1h, ind_out2h)

elim_h= aforosk[ind_outh,]

write.csv(elim_h,file=paste("Curva_descarga-
ValoresH_eliminados",inamhi[j],"_",fi,"_",ff,".csv",sep = ""))

aforosk$hlog_c = aforosk$hlog

aforosk$hlog_c[ind_outh] = NA

#actualizar aforos k sin na

ind_na = which(is.na(aforosk$qlog_c) | is.na(aforosk$hlog_c))

if (length(ind_na) > 0){

  aforosk = aforosk[-ind_na,]

}

#next si hay menos de 3 aforos para el modelo

if (nrow(aforosk) < 4){ # si hay menos de 2 aforos no se realiza la curva de descarga

  print(paste("error<3aforos para el modelo",inamhi[j],k))

  model_cor_coef = data.frame(NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)

  colnames(model_cor_coef) =
c("estacion", "fi", "ff", "Intercept_est", "hlog_c_est", "Intercept_stderr", "hlog_c_stderr")

```

```

modelos = rbind.data.frame(modelos,model_cor_coef)

eq4_1=data.frame(inamhi[j],fi,ff,NA,NA,NA,NA)

colnames(eq4_1)=c("estacion","rango_inicio","rango_fin","ecuacion","a","b","ho")

eq4_0=rbind.data.frame(eq4_0,eq4_1)

next

}

#Regresion lineal corregida

model_cor <- lm(qlog_c ~ hlog_c, data=aforosk) #y ~ x ; v. ind ~ v.dep

sum_model_cor = summary(model_cor)

#guardar modelo corregido

model_cor_coef = data.frame(inamhi[j],as.character(fi),as.character(ff),

                             sum_model_cor$coefficients[1,1],

                             sum_model_cor$coefficients[2,1],

                             sum_model_cor$coefficients[1,2],

                             sum_model_cor$coefficients[2,2])

colnames(model_cor_coef) =
c("estacion","fi","ff","Intercept_est","hlog_c_est","Intercept_stderr","hlog_c_stderr")

modelos = rbind.data.frame(modelos,model_cor_coef)

c = round(model_cor$coefficients[1],4) # intersección

b_eq4 = round(model_cor$coefficients[2],4) # pendiente

a_eq4 = round(10^c,4)

r2= round(summary(model_cor)$r.squared,4) #R2

eq3 = paste("y = ",b_eq4, "* x + ", c," , r2=", r2)

eq4 = paste("Q = ",a_eq4, "* (H+ho)^", b_eq4)

assign(paste('Eq3',inamhi[j],fi,ff,sep='_'),eq3)

assign(paste('Eq4',inamhi[j],fi,ff,sep='_'),eq4)

```

```

#Guardar ecuaciones sin/con corrección

eq2_1 = data.frame(inamhi[j],fi,ff,eq2,a_eq2,b_eq2,ho)

colnames(eq2_1)=c("estacion","rango_inicio","rango_fin","ecuacion","a","b","ho")

eq2_0=rbind.data.frame(eq2_0,eq2_1)

eq4_1=data.frame(inamhi[j],fi,ff,eq4,a_eq4,b_eq4,ho)

colnames(eq4_1)=c("estacion","rango_inicio","rango_fin","ecuacion","a","b","ho")

eq4_0=rbind.data.frame(eq4_0,eq4_1)

#Plot corregido

plot_qvsh2 = ggplot(aforosk, aes(x=hlog_c, y=qlog_c ))+

  geom_point()+

  theme_bw() +

  geom_smooth(method = "lm", level=0.95)+

  #geom_text(x = 0.25, y = 1, label = eq1, parse = F)+

  #geom_text(x = 0.25, y = 1.3, label = eq2, parse = F)+

  labs (title=paste("Curva descarga corregida",inamhi[j],fi,ff,sep = " "))+

  labs(y = expression(paste("log10(Q) [",m^3," ",s^-1,"]",sep = " "))) +

  labs(x = expression(paste("log10(H) [",m,"]",sep = " "))) +

  #ylim(0,1500)+ xlim(0,1500)+

  #theme(plot.title = element_text(size = 20), legend.position = "bottom",

  #   legend.text = element_text(size=14), legend.title = element_blank(),

  #   axis.title.x = element_text(size=16), axis.title.y = element_text(size=16),

  #   axis.text.y = element_text(size=14), axis.text.x = element_text(size=14))

png(file=paste("Curva descarga corregida",inamhi[j],"_",fi,"_",ff,".png",sep = ""))

plot_qvsh2

```

```

dev.off()

}

}

eq2_final=eq2_0[-1,]
eq4_final=eq4_0[-1,]
eq4_final$rancho_inicio = as.POSIXct(eq4_final$rancho_inicio)
eq4_final$rancho_fin = as.POSIXct(eq4_final$rancho_fin)
write.csv(eq2_final, "ecuaciones_sin_corregir20240115.csv", row.names = FALSE)
write.csv(eq4_final, "ecuaciones_corregidas20240115.csv", row.names = FALSE)
save(eq2_final,file="eq2_final20240115.RData")
save(eq4_final,file="eq4_final20240115.RData")
modelos = modelos [-1,]
save(modelos, file = "modelos20240115.RData")
save(curvad2, file = "curvad220240115.RData")

```

Anexo 8. Script Aplicación de ecuaciones de curvas de descarga

```

#----- TIC ENVOLVENTES -----
#----- BECERRA ALEXIS - VILLACÍS EMILIO – PÁEZ SEBASTÍAN -----
#----- FEBRERO 2024-----
#----- APLICACION CURVAS DE DESCARGA -----

#DATOS

library(stringr)

library(ggplot2)

library(zoo)

```

```
library(broom)
```

```
library(dplyr)
```

```
rm(list=ls())
```

```
#cargar curvas
```

```
load("eq4_final20240115.RData")
```

```
load("modelos20240115.RData")
```

```
load("curvad220240115.RData")
```

```
#Guardar archivos de cotas en un vector
```

```
cota<-list.files(pattern = "NIV_")
```

```
#cambiar nombre
```

```
y<-substr(cota,5,9)
```

```
est_cota<-gsub('-', '_',y)
```

```
#cargar archivo niveles instantaneos maximos mensuales
```

```
niv3_0 = NA
```

```
for (i in 1:length(cota)) {
```

```
  print(i)
```

```
  niv1 = read.csv(cota[i], skip = 12, header=F)
```

```
  niv1 = niv1[,c(1:13)]
```

```
  colnames(niv1)
```

```
c("year", "Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun", "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec")
```

```
  vac = which(rowSums(is.na(niv1)) == ncol(niv1))
```

```
=
```

```

niv1 = niv1[1:(vac-1),]

file1 = NA

for(j in 1:nrow(niv1)){

  file = data.frame(rep(niv1[j,1],12),colnames(niv1[j,-1]),as.numeric(niv1[j,-1]))

  colnames(file) = c("year","month","nivel")

  file1 = rbind.data.frame(file1, file)

}

niv2 = file1[-1,]

ts_niv2 = as.POSIXct(paste(niv2$year, niv2$month, "01",sep="-"), format = "%Y-%b-%d")
# crear serie temporal

niv3 = cbind.data.frame(rep(est_cota[i],nrow(niv2)),niv2,ts_niv2)

colnames(niv3) = c("codigo","year","month","nivel","date")

#z_costa = zoo(costa2$rain,costa2$date)

niv3_0 = rbind.data.frame(niv3_0,niv3)

}

niv4 = niv3_0[-1,]

#####

# aplicacion ec. descarga

#####

q_final0 = data.frame(NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)

```

```

colnames(q_final0) =
c("codigo","year","month","nivel","date","Qcalc","qmaxUP","qmaxLW")

for (i in 1: length(est_cota)){
#subsetting por fechas ecuaciones

est_cota1 = which(eq4_final$estacion == est_cota[i])

eq4_est = eq4_final[est_cota1,]

niv4_est= niv4[which(niv4$codigo == est_cota[i]),]

niv4_est0 = data.frame(NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA,NA)

colnames(niv4_est0) =
c("codigo","year","month","nivel","date","Qcalc","qmaxUP","qmaxLW")

for (j in 1:nrow(eq4_est)) {

inicio_eq = as.POSIXct(eq4_est$rango_inicio[j], format= "%d/%m/%Y %H:%M")

fin_eq = as.POSIXct(eq4_est$rango_fin[j], format= "%d/%m/%Y %H:%M")

ind_est =which(niv4_est$date >=inicio_eq & niv4_est$date <= fin_eq)

#aplicamos curva descarga (m3/s)

if (j == 1){

niv4_est$Qcalc = rep(NA)

}

niv4_est$Qcalc[ind_est] =
eq4_est$a[j]*(niv4_est$nivel[ind_est]+eq4_est$ho[j])^eq4_est$b[j] #revisar ec. curva
descarga

#intervalo confianza curva descarga (m3/s)

```

```

modelo_regresion= modelos[est_cota1[j],]

c = modelo_regresion$Intercept_est

b = modelo_regresion$hlog_c_est

a = 10^c

sterr_c = modelo_regresion$Intercept_stderr

sterr_b = modelo_regresion$hlog_c_stderr

sterr_a = 10^sterr_c

if (j == 1){

  niv4_est$qmaxUP = rep(NA)

}

niv4_est$qmaxUP[ind_est] =
(eq4_est$a[j]+(2*sterr_a))*((niv4_est$nivel)[ind_est]+eq4_est$ho[j])^(eq4_est$b[j]+(2*sterr_b))

if (j == 1){

  niv4_est$qmaxLW = rep(NA)

}

niv4_est$qmaxLW[ind_est] = (eq4_est$a[j]-
(2*sterr_a))*((niv4_est$nivel)[ind_est]+eq4_est$ho[j])^(eq4_est$b[j]-(2*sterr_b))

#rbind Q, Qup, Qlow calculados en los ramos de las ecuaciones

niv4_est$date = as.character(niv4_est$date)

niv4_est0 = rbind.data.frame(niv4_est0,niv4_est)

}

niv4_est0 = niv4_est0[-1,]

```

```

q_final0 = rbind.data.frame(q_final0,niv4_est)

}

q_final = q_final0[-1,]

QMX <- q_final %>%
  group_by(codigo) %>%
  summarise(MAX_Q = max(Qcalc, na.rm = T))

QPROM <- q_final %>%
  group_by(codigo) %>%
  summarise(PROM_Q = mean(Qcalc, na.rm = T))

QMIN <- q_final %>%
  group_by(codigo) %>%
  summarise(MIN_Q = min(Qcalc, na.rm = T))

Q10 <- q_final %>%
  group_by(codigo) %>%
  summarise(Q10 = quantile(Qcalc, 0.1, na.rm = T))

Q50 <- q_final %>%

```

```

group_by(codigo) %>%
summarise(Q50 = quantile(Qcalc, 0.5, na.rm = T))

Q95 <- q_final %>%
group_by(codigo) %>%
summarise(Q95 = quantile(Qcalc, 0.95, na.rm = T))

QPF = cbind.data.frame(QMX, QPROM, QMIN, Q10, Q50, Q95)
QPF = QPF[,-c(3,5,7,9,11)]

save(QPF, file = "QPF20240124.RData")
write.csv(QPF, file = "QPF20240124.csv")
save(q_final, file = "q_final20240124.RData")

write.csv(curvad2, file = "curvd2_20240124.csv")
write.csv(eq4_final, file = "eq4_final_20240124.csv")
write.csv(modelos, file = "modelos_20240124.csv")
write.csv(q_final,file="q_final20240124.csv")

```

Anexo 9. Script ajuste de distribución de frecuencia y pruebas de bondad de ajuste

```

#----- TIC ENVOLVENTES -----
#----- BECERRA ALEXIS - VILLACÍS EMILIO - PÁEZ SEBASTIÁN -----
#----- FEBRERO 2024-----
#----- AMS -----

library(stringr)

```

```
library(ggplot2)
```

```
library(dplyr)
```

```
library(zoo)
```

```
library(conflicted)
```

```
library(tidyverse)
```

```
library(lubridate)
```

```
library(fitdistrplus)
```

```
library(PearsonDS)
```

```
library(caret)
```

```
library(lubridate)
```

```
library(openxlsx)
```

```
library(minpack.lm)
```

```
library(investr)
```

```
library(dplyr)
```

```
library(xts)
```

```
library(sp)
```

```
library(rgdal)
```

```
library(Metrics)
```

```
library(hydroGOF)
```

```
library(zoo)
```

```
#borrar variables anteriores
```

```
rm(list=ls())
```

```

#Cargar archivos de caudales

load("q_final20240124.RData")

datos = q_final

# Convertir la columna de fechas a formato de fecha

datos$date <- as.Date(datos$date, format = "%Y-%m-%d")

#crear objetos vacios

iteraciones = NA

resultadosAMS <- zoo(NA, as.POSIXct(paste(1950:2023,"01","01", sep = "-"), format=
"%Y-%m-%d"))

resultadosCHI <- NA

resultadosKS <- NA

resultadosMag <- NA

resultadosRES <- NA

resultadosGOF <- NA

estaciones = unique(datos$codigo)

for (j in 1:length(estaciones)) {

  # Agrupar por año y encontrar el caudal máximo para cada estación

  q_ams = datos[which(datos$codigo == estaciones[j]),c(5,6)]

  #q_ams <- data.frame(datos$date, datos[, j])

  colnames(q_ams) <- c("Fecha", "qmax")

  q_ams = q_ams[!is.na(q_ams$qmax),]

```

```

print(paste(j, " de ", length(estaciones), estaciones[j]))

#Obtener la serie maxima anual de cada estación
q_ams <- q_ams %>%
  group_by(Fecha = floor_date(Fecha, "year")) %>%
  summarise(qmax = max(qmax, na.rm = T))

q_ams$Fecha <- year(q_ams$Fecha)

#Cambiarlas filas que contengan algun valor nulo a NA
q_ams[q_ams == -Inf] <- NA
q_ams[q_ams == 0] <- NA

#Eliminar todas las filas que contengan algun valor NA
q_ams <- na.omit(q_ams)

if (nrow(q_ams)== 0){
  next
}

#Eliminación valores atípicos Q
#Metodo Grubbs - Beck
n_GV=length(q_ams$qmax)
Kn=-0.9043+(3.345*sqrt(log10(n_GV)))-(0.4046*log10(n_GV))

```

```

u=mean(q_ams$qmax , na.rm=F)
standev=sd(q_ams$qmax , na.rm=F)
Xmin=u-(Kn*standev)
Xmax=u+(Kn*standev)
ind_Xmin = which(q_ams$qmax < Xmin)#indice de outliers inferior
ind_Xmax = which(q_ams$qmax > Xmax)#indice de superior
ind_outGV=c(ind_Xmin, ind_Xmax)
elim = q_ams[ind_outGV,]

print(paste("valores                                     eliminados",
length(ind_outGV),estaciones[j],q_ams$Fecha[ind_outGV] ))

if (length(ind_outGV)>0){
  q_ams = q_ams[-ind_outGV,] # borra las filas con error
} else {
  q_ams = q_ams
}

#eliminación manual ´para H0616, 1972,1987,1997
if (j==45){
  q_ams$qmax[c(8, 23,33)] = NA
  elim = q_ams[c(8,23,33),]

  print(paste("valores                                     eliminados",
length(ind_outGV)+3,estaciones[j],q_ams$Fecha[c(ind_outGV,c(8,23,33))] ))

  q_ams = q_ams[-c(8,23,33),] # borra las filas con error
}

```

```

write.csv(elim,file=paste("Q_AMS_eliminados",estaciones[jj],".csv",sep = ""))

#Convertir en zoo

z_q_ams = zoo(q_ams$qmax,as.POSIXct(paste(q_ams$Fecha,"01","01",sep = "-"),
format= "%Y-%m-%d"))

resultadosAMS = merge(resultadosAMS,z_q_ams)

png(file=paste("AMS Q",estaciones[jj],".png",sep = "_"), height=300, width=600)
plot(q_ams, type = "h", xlab = "Año", ylab = "Q máxima 12h [m3/s]") #CAUDAL MAXIMO
CADA 12H

points(q_ams$Fecha, q_ams$qmax, col = "red", pch = 19)

title(main = paste("Q AMS ",estaciones[jj]))

dev.off()

#considerar estaciones con más de 3 datos en el AMS

if (nrow(q_ams)<3) {

  print(paste("menor que 3 =", j, sep=" "))

  next

}

#iteraciones efectivas

iteraciones = c(iteraciones, j)

#Distribución Gumbel

#p: función de distribución

```

```
dgumbel <- function(x, a, b) 1/b*exp((a-x)/b)*exp(-exp((a-x)/b))
```

```
pgumbel <- function(q, a, b) exp(-exp((a-q)/b))
```

```
qgumbel <- function(p, a, b) a-b*log(-log(p))
```

```
if (j!=45){
```

```
  Gumbel<-fitdist(q_ams$`qmax`, "gumbel", start=list(a=10, b=10))
```

```
}else{
```

```
  next
```

```
}
```

```
#Distribución Pearson III
```

```
#Se definen las funciones de densidad, distribución y cuantiles
```

```
dPIII <- function(x, shape, location, scale) dpearsonIII(x, shape, location, scale,  
log=FALSE)
```

```
pPIII <- function(q, shape, location, scale) ppearsonIII(q, shape, location, scale, lower.tail  
= TRUE, log.p = FALSE)
```

```
qPIII <- function(p, shape, location, scale) qpearsonIII(p, shape, location, scale, lower.tail  
= TRUE, log.p = FALSE)
```

```
#Funciones generadoras de momentos (Para ajuste por método de los momentos)
```

```
mPIII <- function(order, shape, location, scale) # compute the empirical first 3 moments of  
the PIII distribution
```

```
{
```

```
  if(order == 1) return(location + shape * scale)
```

```
  if(order == 2) return(scale * scale * shape)
```

```

    if(order == 3) return(2 / sqrt(shape) * sign(scale))
  }

ePlll<-function(x, order) # compute (centered) empirical centered moments of the data
{
  if(order == 1) return(mean(x))
  if(order == 2) return(var(x))
  if(order == 3) return(e1071::skewness(x, type = 2))
}

#Estadígrafos para Pearson III
m <- mean(q_ams$`qmax`)
v <- var(q_ams$`qmax`)
s <- sd(q_ams$`qmax`)
g <- e1071::skewness(q_ams$`qmax`, type=2)

#Se generan los parámetros iniciales
# Correct the sample skew for bias using the recommendation of
# Bobee, B. and R. Robitaille (1977). "The use of the Pearson Type 3 and Log Pearson
Type 3 distributions revisited."
# Water Resources Reseach 13(2): 427-443, as used by Kite

my_shape<-(2 / g) ^ 2
my_scale<-sqrt(v / my_shape) * sign(g) # modified as recommended by Carl Schwarz
my_location<-m-my_scale*my_shape
start<-list(shape = my_shape, location = my_location, scale = my_scale)

```

```
#Finalmente, se ajusta la distribución Pearson III
```

```
PIII<-fitdist(q_ams$qmax`, "PIII", start = start, method = "mme", order = 1:3, memp =  
ePIII, control = list(maxit = 1000))
```

```
#Distribución Log Pearson III
```

```
#El proceso es idéntico al seguido para la distribución Pearson III. Sólo se utiliza el  
logaritmo de los datos.
```

```
dPIII <- function(x, shape, location, scale) dpearsonIII(log(x), shape, location, scale,  
log=FALSE)/x
```

```
pPIII <- function(q, shape, location, scale) ppearsonIII(log(q), shape, location, scale,  
lower.tail = TRUE, log.p = FALSE)
```

```
qPIII <- function(p, shape, location, scale) exp(qpearsonIII(p, shape, location, scale,  
lower.tail = TRUE, log.p = FALSE))
```

```
#Funciones generadores de momentos (logarítmicas):
```

```
mIPIII <- function(order, shape, location, scale)
```

```
{
```

```
  # compute the empirical first 3 moments of the PIII distribution
```

```
  if(order == 1) return(location + shape * scale)
```

```
  if(order == 2) return(scale * scale * shape)
```

```
  if(order == 3) return(2 / sqrt(shape) * sign(scale))
```

```
}
```

```
eIPIII <- function(x, order)
```

```
{
```

```

# compute (centered) empirical centered moments of the data

if(order == 1) return(mean(log(x)))

if(order == 2) return(var(log(x)))

if(order == 3) return(e1071::skewness(log(x), type = 2))

}

#Estadígrafos para Log Pearson III

m <- mean(log(q_ams$qmax`))

v <- var(log(q_ams$qmax`))

s <- sd(log(q_ams$qmax`))

g <- e1071::skewness(log(q_ams$qmax`), type=2)

#Se generan los parámetros iniciales para la estimación

# Correct the sample skew for bias using the recommendation of

# Bobee, B. and R. Robitaille (1977). "The use of the Pearson Type 3 and Log Pearson
Type 3 distributions revisited."

# Water Resources Reseach 13(2): 427-443, as used by Kite

my_shape <- (2 / g) ^ 2

my_scale <- sqrt(v / my_shape) * sign(g)

my_location <- m - my_scale * my_shape

start <- list(shape = my_shape, location = my_location, scale = my_scale)

#Finalmente, se ajusta la distribución Log Pearson III

LP3 <- fitdist(q_ams$qmax`, "LP3", start = start, method = "mme", order = 1:3, memp =
eLP3, control = list(maxit = 1000))

```

```

#Distribucion Log Normal

LogNormal <- fitdist(q_ams$qmax`, distr = "lnorm", method = "mme")

#Probabilidades de ocurrencia teóricas

#A continuación, se agregan las probabilidades de ocurrencia teóricas de las
distribuciones ajustadas.

Poc <- data.frame(
  "P" = sort(q_ams$qmax`, decreasing = TRUE),
  "Pexc" = (1:nrow(q_ams))/(nrow(q_ams)+1) #subramaya
)

Poc$Pocu <- 1 - Poc$Pexc #PUNTOS NEGROS

Poc$LogNormal <- pnorm(log(Poc$P), LogNormal$estimate[1], LogNormal$estimate[2])
Poc$Gumbel <- pgumbel(Poc$P, Gumbel$estimate[1], Gumbel$estimate[2])
Poc$PIII <- pPIII(Poc$P, PIII$estimate[1], PIII$estimate[2], PIII$estimate[3])
Poc$LPIII <- pLPIII(Poc$P, LPIII$estimate[1], LPIII$estimate[2], LPIII$estimate[3])

#head(Poc)

#GRAFICOS

#Evaluación de ajustes

#Gráficos de densidad

#denscomp(list(Gumbel, LogNormal, PIII, LPIII), addlegend = TRUE,
#legendtext = c("Gumbel", "LogNormal", "Pearson III", "LogPearson III"))

```

```

#Gráficos de densidad acumulada

png(file=paste("CDFs Q",estaciones[j],".png",sep = "_"), height=300, width=600)

cdfcomp(list( Gumbel, LogNormal, PIII, LPIII), addlegend = F,
          legendtext = c( "Gumbel","LogNormal","Pearson III", "LogPearson III"))
title(main = paste("          ",estaciones[j]))
dev.off()

#Pruebas de bondad de ajuste

#Mediante el comando gofstat() del paquete fitdistrplus se pueden ejecutar diversas
pruebas de bondad de ajuste: Kolmogorov - Smirnov, Cramer - von Misses y Anderson -
Darling.

if (nrow(q_ams)>15) {
  GOF <- gofstat(list(LogNormal,Gumbel, PIII, LPIII),
                 fitnames = c( "LogNormal", "Gumbel", "Pearson III", "LogPearson III"))

  #print(GOF)

  GOF$chisq

  #knitr::kable(GOF$chisqpvalue)

  GOF$names = rep(estaciones[j],4)

  #Guardar resultados

  resultadosCHI= cbind.data.frame(resultadosCHI,GOF$chisqpvalue,GOF$names) #EL
MAYOR VALOR

}

```

```
kslnorm <- ks.test(Poc$Pocu, Poc$LogNormal) #ENTRE PUNTO NEGRO Y LINEA
```

```
ksgumbel <- ks.test(Poc$Pocu, Poc$Gumbel)
```

```
kspiii <- ks.test(Poc$Pocu, Poc$PIII)
```

```
kslpiii <- ks.test(Poc$Pocu, Poc$LPIII)
```

```
KS <- data.frame(c(
```

```
  kslnorm$statistic,
```

```
  ksgumbel$statistic,
```

```
  kspiii$statistic,
```

```
  kslpiii$statistic),
```

```
  c(kslnorm$p.value,
```

```
    ksgumbel$p.value,
```

```
    kspiii$p.value,
```

```
    kslpiii$p.value))
```

```
colnames(KS) <- c("D", "P-Value")
```

```
rownames(KS) <- c("LogNormal", "Gumbel", "Pearson III", "LogPearson III")
```

```
KS <- round(KS, 3)
```

```
KS$names = rep(estaciones[j],4)
```

```
#head(KS)
```

```
#Guardar resultados
```

```
resultadosKS= rbind.data.frame(resultadosKS,KS) #SE ESCOGE EL D MENOR
```

```

T <- c(5,10,25,50,100) #PERIODOS DE RETORNO SOLO 25 50 100

Resumen <- data.frame("T" = T,
                      exp(qnorm(1 - 1/T, LogNormal$estimate[1], LogNormal$estimate[2])),
                      qgumbel(1 - 1/T, Gumbel$estimate[1], Gumbel$estimate[2]),
                      qPIII(1 - 1/T, PIII$estimate[1], PIII$estimate[2], PIII$estimate[3]),
                      qLPIII(1 - 1/T, LPIII$estimate[1], LPIII$estimate[2], LPIII$estimate[3]))

colnames(Resumen) <- c("T", "LogNormal", "Gumbel", "Pearson III", "LogPearson III")

Resumen$names = rep(estaciones[j],5)

#Guardar resultados

resultadosRES = rbind.data.frame(resultadosRES,Resumen) #DA CADA VALOR DE LA
LLUVIA Y EL MEJOR QUE SE AJUSTA EN ESTE CASO ES PEARSON #

#chequeAR LA RELACION ENTRE LA PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA Y LA
PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA SUBRAYAMA CHEQUEAR LA ECUACION 1-1T

knitr::kable(Resumen)

}

iteraciones = iteraciones[-1]

resultadosAMS_1 = as.data.frame(resultadosAMS)[-1]

resultadosAMS_1 = data.frame(index(resultadosAMS),resultadosAMS_1)

colnames(resultadosAMS_1) <- c("TS", "qmax")

```

```
resultadosCHI = resultadosCHI[,-1]
```

```
resultadosKS = resultadosKS[-1,]
```

```
#SACAR RESULTADOS EN UN EXCEL
```

```
write.csv(resultadosCHI,file="TestCHI1hr.csv")
```

```
write.csv(resultadosKS,file="TestKS1hr.csv")
```

```
write.csv(resultadosAMS_1,file="AMS1hr.csv")
```

```
write.csv(resultadosRES,file="RESUMEN1hr.csv")
```

Anexo 10. Script curvas envolventes

```
#----- TIC ENVOLVENTES -----
```

```
#----- BECERRA ALEXIS - VILLACÍS EMILIO - PÁEZ SEBASTIÁN -----
```

```
#----- FEBRERO 2024-----
```

```
#####ENVOLVENTE#####
```

```
# Cargar paquete necesario
```

```
library(dplyr)
```

```
library(ggplot2)
```

```
# Limpiar variables de la memoria
```

```
rm(list = ls())
```

```
# Cargar los datos de caudales y áreas
```

```
load("q_final20240124.RData")
```

```

Caudales <- q_final

Prop_fis <- read.csv("PROP_FIS.csv", header = TRUE)

# Seleccionar columnas específicas de cada conjunto de datos

Caudales_seleccionado <- Caudales[, c("codigo", "Qcalc", "qmaxUP", "qmaxLW")]

# Crear un nuevo conjunto de datos con las columnas seleccionadas y agregar la columna
de areac

tabla_estQ2 <- merge(Caudales_seleccionado, Prop_fis, by.x = "codigo", by.y = "nam"),
c("codigo", "Qcalc", "qmaxUP", "qmaxLW", "areac")

tabla_estQ2$Qcalc =tabla_estQ2$Qcalc/tabla_estQ2$areac #TENGO NA POR ESO NO
FUNCIONA

tabla_estQ2$qmaxUP =tabla_estQ2$qmaxUP/tabla_estQ2$areac

tabla_estQ2$qmaxLW =tabla_estQ2$qmaxLW/tabla_estQ2$areac

colnames(tabla_estQ2) =c("codigo","qcalc","qmaxUP","qmaxLW","Area")

# Encontrar el maximo de cada estación

estaciones = unique(tabla_estQ2$codigo)

q_max_est0 = data.frame(NA,NA,NA,NA,NA)

colnames(q_max_est0) = c("codigo","qcalc","qmaxUP","qmaxLW","Area")

for (i in 1:length(estaciones)) {

  ind_est = which(tabla_estQ2$codigo == estaciones[i])

  tabla_estQ2_1 = tabla_estQ2[ind_est,]

  ind_max = which.max(tabla_estQ2_1$qcalc)

  q_max_est= tabla_estQ2_1[ind_max,]

```

```

q_max_est0 = rbind.data.frame(q_max_est0,q_max_est)

}

q_max_est0 = q_max_est0[-1,]

# Guardar el nuevo conjunto de datos en un archivo llamado "datos_envolventes.csv"
write.csv(q_max_est0, "datos_envolventes.csv", row.names = FALSE)

# Constantes
Cc <- 200
Cc_MX=100
Cl <- 5270
Qo=10^6 #m3/s
Ao=10^8 #km2
A2=q_max_est0$Area
Qcalc=(q_max_est0$Qcalc)

# Envoltente de creager y Lowry en tabla_eqs
tabla_eqs <- q_max_est0 # Copiamos tabla_estQ2 para asegurarnos de tener todas las
columnas

```

```
tabla_eqs$q_creager <- 1.303 * Cc * ((0.386*A2)^(0.936 *A2^-0.048)) * A2^-1 #Creager mundial
```

```
tabla_eqs$q_creager_MX <- 1.303 * Cc_MX * ((0.386*A2)^(0.936 *A2^-0.048)) * A2^-1 #Creager México
```

```
tabla_eqs$q_lowry <- (CI / ((A2 + 259)^0.85))
```

```
# Gráfico
```

```
AvsEnvolvente <- ggplot(tabla_eqs, aes(x = Area)) +  
  geom_line(aes(y = q_creager, color = "q_creager"), size = 1, alpha = 0.5) +  
  geom_line(aes(y = q_creager_MX, color = "q_creager_MX"), size = 1, alpha = 0.5) +  
  geom_line(aes(y = q_lowry, color = "q_lowry"), size = 1, alpha = 0.5) +  
  geom_point(aes(x = Area, y = qcalc)) + # Ajuste aquí  
  geom_point(aes(x = Area, y = qmaxUP), color = "gray") +  
  geom_point(aes(x = Area, y = qmaxLW), color = "gray") +  
  scale_x_continuous(trans = 'log10', name = expression(Area ~ de ~ la ~ cuenca ~ (km^2)))  
+  
  scale_y_continuous(trans = 'log10', name = expression("Gasto unitario, q "(m^3/s/km^2)))  
+  
  labs(title = "Relación entre Área y q de Creager y Lowry de cuencas que drenan hacia el  
Pacífico",  
        x = "Área de la cuenca, A (km^2)",  
        y = "Gasto unitario, q (m^3/s/km^2)") +  
  theme_minimal() +  
  scale_color_manual(values = c("q_creager" = "blue", "q_lowry" =  
"red", "q_creager_MX"="orange"), labels =c("Creager mundial", "Lowry mundial", "Creager  
México")) +  
  theme(  

```

```

legend.position = "bottom",
legend.box = "horizontal",
panel.grid.major = element_line(colour = "gray", linetype = "dashed"),
axis.title = element_text(size = 14),
axis.text = element_text(size = 12),
legend.text = element_text(size = 12),
legend.title = element_text(size = 14),
plot.margin = margin(20, 20, 20, 20),
legend.background = element_rect(color = "black")
) +
guides(color = guide_legend(title = NULL))

# Guarda el gráfico como una imagen
ggsave("AvsEnvolvente.png", AvsEnvolvente, width = 10, height = 5, bg = "white")

# Guardar los resultados
write.csv(tabla_eqs, "tabla_estQ_Envolventes1.csv", row.names =F)

```

Anexo 11. Script propiedades físicas

```

#----- TIC ENVOLVENTES -----
#----- BECERRA ALEXIS - VILLACÍS EMILIO - PÁEZ SEBASTÍAN -----
#----- FEBRERO 2024-----
#----- PROPIEDADES FISICAS -----

rm(list=ls())

# cargar archivos

```

```

load("QPF20240124.RData")

pf1 = read.csv("PROP_FIS.csv", skip = 0, header=T)

#librerias

if (!requireNamespace("devtools")) install.packages("devtools")
#https://github.com/caijun/ggcorrplot2
devtools::install_github("caijun/ggcorrplot2")

#install.packages("ggcorrplot")
#install.packages("GGally")
#install.packages("ggforce")

library(ggplot2)

#library(ggcorrplot) NO CORRER

library(corrplot)

library(lubridate)

library(ggpubr)

library(GGally)

library(ggcorrplot2)

library(ggforce)

#####

#####

#funciones

#####

#####

#cor.test function for Spearman correlation ----

cor.mtest2 <- function(mat) {

```

```

mat <- as.matrix(mat)

n <- ncol(mat)

p.cor<- matrix(NA, n, n)

diag(p.cor) <- 0

for (i in 1:(n - 1)) {
  for (j in (i + 1):n) {
    tmp <- cor.test(mat[, i], mat[, j], method="spearman", use= "pairwise.complete.obs")

    p.cor[i, j] <- p.cor[j, i] <- tmp$estimate
  }
}

colnames(p.cor) <- rownames(p.cor) <- colnames(mat)

p.cor
}

```

#p-value function for Spearman correlation----

```

cor.mtest <- function(mat) {

  mat <- as.matrix(mat)

  n <- ncol(mat)

  p.mat<- matrix(NA, n, n)

  diag(p.mat) <- 0

  for (i in 1:(n - 1)) {
    for (j in (i + 1):n) {
      tmp <- cor.test(mat[, i], mat[, j], method="spearman", use= "pairwise.complete.obs")

      p.mat[i, j] <- p.mat[j, i] <- tmp$p.value
    }
  }
}

```

```

}

colnames(p.mat) <- rownames(p.mat) <- colnames(mat)

p.mat
}

#####
#####

# union q y pf

#####
#####

pf2 = pf1

pf2$qmax = NA

pf2$qprom = NA

pf2$qmin = NA

pf2$q10 = NA

pf2$q50 = NA

pf2$q95 = NA

#

ind_est0 = NA

for (i in 1:nrow(QPF)) {

  ind_est = which(pf2$nam == QPF$codigo[i])

  ind_est0 = c(ind_est0,ind_est)

  pf2[ind_est,c(36:41)] = QPF[i,-1]
}

```

```
}
```

```
ind_est0 = ind_est0[-1]
```

```
pf3 = pf2[ind_est0,-c(1,33,34,35)] # revisar cuando existan datos de P 33,34,35
```

```
pf3[]=lapply(pf3,as.numeric)
```

```
#####
```

```
#####
```

```
## Spearman Matrix
```

```
#####
```

```
#####
```

```
col1 = colorRampPalette(c("#7F0000", "red", "#FF7F00", "yellow", "white", "cyan",  
"#007FFF", "blue", "#00007F"))
```

```
col = RColorBrewer::brewer.pal(n = 11, name = "Spectral")
```

```
col2= col
```

```
col2[6] = "white"
```

```
corpf = cor.mtest2(pf3) #cor vs. cor.test
```

```
p.mat_pf<- cor.mtest(pf3)
```

```
#plots 2
```

```
p_pf= ggcorrplot(corpf, p.mat = p.mat_pf, insig = "blank") +
```

```
  scale_fill_gradientn(colours = col2, limits = c(-1, 1),guide = guide_colorbar(direction =  
"horizontal",title = "",nbin = 1000,ticks.colour = "black",frame.colour = "black",barwidth =  
15,barheight = 1.5)) +
```

```
  scale_colour_gradientn(colours = col2, limits = c(-1, 1),guide = guide_colorbar(direction =  
"horizontal", title = "",nbin = 1000,ticks.colour = "black",frame.colour = "black",barwidth =  
15,barheight = 1.5)) +
```

```
theme(legend.position = "bottom")+  
geom_vline(xintercept=c(31.5), linetype="solid", color = "black", size=1)+  
geom_hline(yintercept=c(31.5), linetype="solid", color = "black", size=1)+  
ggtitle("Correlacion Spearman Propiedades fisicas y caudales")+  
theme(axis.text.x = element_text(color = "black", size = 6, angle = 90),  
axis.text.y = element_text(color = "black", size = 6))  
  
png(file='plot_corr_20240214.png', height=4000, width=10000, res=600)  
p_pf  
dev.off()
```