

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“ANÁLISIS HIDROMÉTRICO EN CUENCAS DE ALTA MONTAÑA
DURANTE ÉPOCA HÚMEDA: UN ENFOQUE TRIREGIONAL EN
AYACUCHO, CAJAMARCA Y PUNO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

KEVIN LUIS NARVÁEZ JARA


LIMA – PERÚ

2025


0% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

0%  Fuentes de Internet

0%  Publicaciones

0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“ANÁLISIS HIDROMÉTRICO EN CUENCAS DE ALTA MONTAÑA
DURANTE ÉPOCA HÚMEDA: UN ENFOQUE TRIREGIONAL EN
AYACUCHO, CAJAMARCA Y PUNO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. KEVIN LUIS NARVÁEZ JARA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. ABSALÓN VÁSQUEZ VILLANUEVA
Presidente

Dr. JESÚS ABEL MEJÍA MARCACUZCO
Asesor

Dr. ALEXIS NICOLÁS IBAÑEZ BLANCAS
Miembro

Mg. Sc. CAYO LEONIDAS RAMOS TAIPE
Miembro

Ing. KITHNER ALFONSO ESPINOZA VARILLAS
Co-Asesor

LIMA – PERÚ

2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de sabiduría e inteligencia, por otorgarme la claridad y el entendimiento necesarios para avanzar en el conocimiento científico.

A mis padres, Luis Narváez y Edit Jara, pilares fundamentales en mi vida, cuyo apoyo incondicional y esfuerzo han sido el fundamento de mis logros.

A mis hermanos, Andrea y Luis, por su constante apoyo y compañía en mi formación académica, siendo parte esencial de este proceso.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Geofísico del Perú (IGP), por su compromiso en la formación de jóvenes investigadores, contribuyendo al desarrollo de la ciencia y a la solución de problemáticas nacionales.

Al Programa Presupuestal 0089 “Reducción de la degradación de los suelos agrarios”, por su apoyo financiero en la obtención y procesamiento de información necesaria para la elaboración de la presente investigación científica.

Expreso también mi reconocimiento al Dr. Sergio Morera por sus cátedras en hidrometría de alta montaña y las capacitaciones en investigación científica, las cuales han sido clave en mi desarrollo académico.

Agradezco a mi asesor, el Dr. Jesús Mejía, por sus cátedras en métodos de análisis de hidrología y en la comprensión en ingeniería de recursos hídricos.

Al Ing. Kimher Espinoza, mi coasesor, por su dedicación en la supervisión de este proyecto y su orientación en las actividades de campo y gabinete, esenciales para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, a la Universidad Nacional Agraria La Molina, por la formación académica en Ingeniería Agrícola y por el acceso brindado a recursos e información científica, los cuales han sido fundamentales para la realización de este estudio.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Conceptos hidrológicos fundamentales	3
2.1.1. Hidrometría	3
2.1.2. Cuenca hidrográfica	3
2.1.3. Ciclo hidrológico	3
2.1.4. Caudal	4
2.1.5. Aforo	4
2.1.6. Hidrógrafo	4
2.1.7. Sección transversal	5
2.2. Conceptos teóricos científicos	5
2.2.1. Estaciones hidrométricas	5
2.2.2. Sensores registradores de datos.....	6
2.2.3. Fundamentos de medición del levellogger.....	6
2.2.4. Curva de calibración nivel-caudal	7
2.2.5. Ecuación de la curva de gasto líquido	8
2.3. Técnicas de aforo	9
2.3.1. Correntómetro electromagnético.....	10
2.3.2. Trazador químico salino	13
2.3.3. Flotadores	16
2.3.4. Velocimetría de imágenes de partículas a gran escala (LSPIV y PIVLAB) ...	18
2.4. Conceptos de incertidumbre en variables hidrométricas	19
2.4.1. Incertidumbre en curvas de gasto líquido	19
2.4.2. Incertidumbre del hidrógrafo.....	20
2.4.3. Incertidumbre en aforos	20
2.5. Distribución de probabilidades	22

2.6.	Prueba de Kolmogorov- Smirnov (K-S).....	23
2.7.	Software para el análisis de información hidrométrica.....	24
2.7.1.	Software Hydraccess	24
2.7.2.	Software Solinst Levelogger	24
2.7.3.	Software Solution NaCl	25
2.7.4.	Software River	25
2.7.5.	Software Pycharm.....	25
2.7.6.	Software ArcGIS	26
2.7.7.	Software Microsoft Excel	26
2.7.8.	Software Hydrognomon.....	26
III.	METODOLOGÍA	27
3.1.	Zona de estudio.....	28
3.2.	Equipos, materiales, insumos y softwares	31
3.2.1.	Equipos de campo.....	31
3.2.2.	Materiales	31
3.2.3.	Insumos.....	31
3.2.4.	Materiales de gabinete.....	31
3.2.5.	Software.....	32
3.3.	Metodología para aforos en campo y monitoreo del nivel de agua	32
3.4.	Cuantificación de caudales mediante métodos de aforo	33
3.4.1.	Protocolo por el método del correntómetro	33
3.4.2.	Protocolo por el método trazador químico.....	34
3.4.3.	Protocolo por el método de flotador	39
3.4.4.	Protocolo por el método del video-cámara	40
3.5.	Compensación de serie de niveles	44
3.6.	Compensación básica.....	45
3.7.	Compensación avanzada	47
3.8.	Desarrollo de la curva de gasto líquido	47
3.9.	Traducción utilizando las curvas de calibración.....	49
3.10.	Incertidumbre en las mediciones de caudal.....	49
3.10.1.	Incertidumbre en la medición de niveles de agua	50
3.10.2.	Evaluación de la incertidumbre global en caudales	50
3.10.3.	Evaluación de la incertidumbre de caudales medidos (ϵ_1)	50
3.10.4.	Evaluación de la incertidumbre de caudales por la curva calibración nivel	

caudal (ϵ^2)	51
3.11. Análisis estadístico mediante Hydrognomon.....	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Serie de niveles.....	52
4.2. Diagrama de dispersión de métodos de aforo	55
4.3. Desarrollo de curvas de gasto líquido en Hydraccess	61
4.4. Serie de caudales	67
4.5. Evaluación de la incertidumbre en la medición de caudal.....	69
4.6. Análisis estadístico.....	82
V. CONCLUSIONES	83
VI. RECOMENDACIONES	85
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	86
VIII. ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estaciones Hidrométricas y su localización política	29
Tabla 2: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Huancayocc	55
Tabla 3: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Luricocha	56
Tabla 4: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Sexemayo	58
Tabla 5: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Charamaya	59
Tabla 6: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Conaviri	60
Tabla 7: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor	62
Tabla 8: Parámetros Estadísticos mediante Hydraccess	62
Tabla 9: Cuantificación de la incertidumbre global estación Huancayocc	70
Tabla 10: Cuantificación de la incertidumbre global para la estación Luricocha	72
Tabla 11: Cuantificación de la incertidumbre global para la estación Sexemayo Lote 1 ...	75
Tabla 12: Cuantificación de la incertidumbre global para la estación Charamaya	77
Tabla 13: Cuantificación de la incertidumbre global para la estación Conaviri	80
Tabla 14: Prueba de Kolmogorov-Smirnov y distribución de mejor ajuste por estación ...	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de estación hidrométrica de Quillo, Ancash.....	5
Figura 2: Ubicación de los sensores Levellogger y Barologger para el registro de niveles de agua en una estación hidrométrica.....	6
Figura 3: Fundamentos de medición del Levelooger y Barologger	7
Figura 4: Ejemplo de calibración log-log, para hallar los coeficientes de a, Ho y p en el software Hydraccess	9
Figura 5: Sección transversal de un río con puntos de medición dispuestos en las líneas verticales para registrar las velocidades del flujo	11
Figura 6: Esquema del método de la sección media.....	12
Figura 7: Gráfica de calibración del trazador químico	14
Figura 8: Gráfica de conductividad en función del tiempo usando el software “SolutionNaCl”.....	15
Figura 9: Determinación del caudal a partir de mediciones de velocidad de flotación superficial	17
Figura 10: Diagrama de flujo de obtención de caudales con RiVER Y PIVlab.....	19
Figura 11: Lista de funciones de densidad de probabilidades que utiliza Hydrognomon...	23
Figura 12: Diagrama de flujo de la metodología para cumplir los objetivos de la investigación.....	27
Figura 13: Estaciones hidrométricas en los distritos de Luricocha y Huanta, Ayacucho ...	29
Figura 14: Estación hidrométrica en el distrito de Cajamarca, Cajamarca	30
Figura 15: Estaciones hidrométricas en el distrito de Mañazo, Puno.....	30
Figura 16: Realización de aforo con correntómetro	34
Figura 17: Calibración método trazador químico.....	35
Figura 18: Búsqueda de zonas turbulentas aguas arriba para vertimiento de la solución salina.....	36
Figura 19: Mezcla de la solución saturada previo al vertimiento.....	36
Figura 20: Vertimiento de la solución salina, aguas arriba de la estación hidrométrica Huancayocc	37
Figura 21: Registro de datos de las conductividades eléctricas producto de la solución salina mezclada con el flujo del río	37
Figura 22: Plantilla de conductividad eléctrica vs concentración de sal	38

Figura 23: Generación de curva conductividad eléctrica vs tiempo, asimismo el valor estimado de caudal en m ³ /s	38
Figura 24: Recolección de información de tiempo y distancia en que los flotadores recorren los 2 puntos de referencia.....	39
Figura 25: Ejemplo de trabajo en gabinete por el método del flotador	40
Figura 26: Grabación de video para tomar datos de velocidad del flujo superficial	41
Figura 27: Importación de fotogramas para el análisis vectorial en RiVER.....	42
Figura 28: Análisis vectorial de los píxeles del flujo del flujo superficiales en PIVlab.....	42
Figura 29: Visualización de las velocidades píxeles/fotograma en PIVLab	43
Figura 30: Digitalización de puntos de control de campo para rectificación de imágenes con el objetivo de convertir las velocidades de píxeles/fotograma a metros/segundos	43
Figura 31: Importación de sección transversal (m ²) y estimación de caudal (m ³ /s)	44
Figura 32: Descarga de información de niveles de agua del Levellogger a PC	44
Figura 33: Selección del método de compensación.....	45
Figura 34: Selección de los archivos descargados para Barologger y Levellogger	45
Figura 35: Abrir la pestaña de visualización para ver los niveles compensados.....	46
Figura 36: Descarga de la información en Excel para un mejor análisis y filtrado de serie de niveles	46
Figura 37: Comparación entre compensación básica y avanzada	47
Figura 38: Digitalización y edición de aforos estación Sexemayo lote 1.....	48
Figura 39: Ingreso y generación de la serie de niveles estación Sexemayo Lote 1.....	48
Figura 40: Traducción de niveles a caudales y generación de serie temporal de caudales .	49
Figura 41: Serie de niveles Estación Huancayocc, Ayacucho.....	52
Figura 42: Serie de niveles Estación Luricocha, Ayacucho	53
Figura 43: Serie de Niveles Estación Sexemayo Lote 1, Cajamarca.....	54
Figura 44: Serie de niveles Estación Conaviri, Puno	54
Figura 45: Serie de niveles Estación Charamaya, Puno	55
Figura 46: Diagrama en dispersión de métodos de aforo, Estación Huancayocc.....	56
Figura 47: Diagrama en dispersión de métodos de aforo, Estación Luricocha	57
Figura 48: Diagrama en dispersión de métodos de aforo, Estación Sexemayo Lote 1	58
Figura 49: Serie de niveles Estación Charamaya, Puno	60
Figura 50: Serie de niveles Estación Conaviri, Puno	61
Figura 51: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Huancayocc	62
Figura 52: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Huancayocc	63

Figura 53: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Luricocha.....	63
Figura 54: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Luricocha.....	64
Figura 55: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Sexemayo Lote 1	64
Figura 56: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Sexemayo Lote 1	65
Figura 57: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Charamaya.....	65
Figura 58: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Charamaya.....	66
Figura 59: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Conaviri.....	66
Figura 60: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Conaviri	67
Figura 61: Serie de caudales Estación Huancayocc	67
Figura 62: Serie de caudales Estación Luricocha.....	68
Figura 63: Serie de caudales Estación Sexemayo Lote 1	68
Figura 64: Serie de caudales estación Charamaya.....	69
Figura 65: Serie de caudales estación Conaviri.....	69
Figura 66: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada	71
Figura 67: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Huancayocc	71
Figura 68: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada.	73
Figura 69: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Luricocha.....	74
Figura 70: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada	76
Figura 71: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Sexemayo Lote 1	76
Figura 72: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada	78
Figura 73: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Charamaya.....	79
Figura 74: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada.	81
Figura 75: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Conaviri	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Colaboradores en la investigación	92
Anexo 2: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Huancayooc mediante la distribución L-Moments EV2-Max	93
Anexo 3: Histograma de la serie de caudales de la estación Huancayooc utilizando la distribución L-Moments EV2-Max, que presenta el mejor ajuste.....	94
Anexo 4: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Huancayooc a distintas distribuciones estadísticas.....	95
Anexo 5: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Luricocha mediante la distribución LogPearsonIII	96
Anexo 6: Histograma de la serie de caudales de la estación Luricocha utilizando la distribución LogPearsonIII, que presenta el mejor ajuste	97
Anexo 7: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Huancayooc a distintas distribuciones estadísticas.....	98
Anexo 8: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Sexemayo mediante la distribución L-Moments Pareto	99
Anexo 9: Histograma de la serie de caudales de la estación Sexemayo utilizando la distribución L-Moments Pareto, que presenta el mejor ajuste	100
Anexo 10: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Sexemayo a distintas distribuciones estadísticas	101
Anexo 11: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Charamaya mediante la distribución Log Pearson III.....	102
Anexo 12: Histograma de la serie de caudales de la estación Charamaya utilizando la distribución Log Pearson III, que presenta el mejor ajuste	103
Anexo 13: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Charamaya a distintas distribuciones estadísticas	104
Anexo 14: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Conaviri mediante la distribución Pearson III	105
Anexo 15: Histograma de la serie de caudales de la estación Conaviri utilizando la distribución Pearson III, que presenta el mejor ajuste.....	106
Anexo 16: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Conaviri a distintas distribuciones estadísticas.....	107

Anexo 17: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Huancayocc.....	108
Anexo 18: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Luricocha	108
Anexo 19: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Sexemayo Lote 1	109
Anexo 20: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Charamaya	109
Anexo 21: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Conaviri	110
Anexo 22: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Huancayocc	111
Anexo 23: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Luricocha.....	113
Anexo 24: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Lote 1	115
Anexo 25: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Charamaya.....	117
Anexo 26: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Conaviri.....	119
Anexo 27: Calibración de equipos hidrométricos para aforo con trazador químico	121
Anexo 28: Aforo con trazador químico en el río Huancayocc, Ayacucho.....	122

RESUMEN

La hidrometría es esencial para prever caudales extremos y gestionar las cuencas hidrográficas de forma sostenible, especialmente en regiones de alta montaña, donde las variaciones hidrológicas son significativas. Este estudio analizó la hidrometría en ríos de cuencas de Ayacucho, Cajamarca y Puno durante la época húmeda, cuantificando caudales mediante cuatro técnicas de medición. Se registraron y compensaron datos de tirantes de agua utilizando el software Solinst, y posteriormente, los caudales fueron estimados mediante el método correntómetro, flotador, trazador químico y videocámara, procesando la información en el software Hydraccess. La incertidumbre se evaluó bajo la norma ISO EN 748 empleando el correntómetro como técnica de referencia y estableciendo límites de confiabilidad al 95% en las curvas de gasto. Los resultados mostraron una variabilidad en los niveles y caudales máximos registrados entre estaciones. En Huancayo, los caudales oscilaron entre 2 a 11 m³/s; en Luricocha, entre 3 a 10 m³/s; en Sexemayo, entre 9 a 450 L/s; mientras que en los ríos Charamaya y Conaviri se registraron caudales de 4 a 30 m³/s y de 5 a 39 m³/s, respectivamente. Las técnicas de aforo presentaron menor dispersión en caudales bajos menores a 1 m³/s, y aunque la videocámara resultó útil para flujos altos, requiere corroboración con otro método. El trazador químico fue ineficaz en ríos de baja velocidad y poca turbulencia, y la incertidumbre global en las estaciones osciló entre 10% y 28%.

Palabras clave: Hidrometría, Medición de caudales, Estaciones hidrométricas, Curva de gasto, Incertidumbre.

ABSTRACT

Hydrometry is essential for predicting extreme flows and sustainably managing river basins, particularly in high mountain regions where hydrological variability is significant. This study analyzed hydrometric conditions in rivers across the Ayacucho, Cajamarca, and Puno basins during the wet season, quantifying discharge using four measurement techniques. Water stage data were recorded and corrected using Solinst software, and discharge was subsequently estimated through the current meter, float, chemical tracer, and video camera methods, with data processed in Hydraccess software. Uncertainty was assessed following ISO EN 748 standards, using the current meter as the reference technique and establishing 95% confidence limits in the rating curves. Results revealed notable variability in maximum water levels and discharges across stations: in Huancayo, discharges ranged from 2 to 11 m³/s; in Luricocha, from 3 to 10 m³/s; in Sexemayo, from 9 to 450 L/s; and in the Charamaya and Conaviri rivers, from 4 to 30 m³/s and 5 to 39 m³/s, respectively. The flow measurement techniques showed lower dispersion for low flows below 1 m³/s, and although the video camera method was useful for high flows, it requires validation with another technique. The chemical tracer method proved ineffective in low-velocity, low-turbulence rivers, and overall uncertainty across stations ranged between 10% and 28%.

Keywords: Hydrometry, Discharge measurement, Hydrometric stations, Rating curve, Uncertainty.

I. INTRODUCCIÓN

La hidrometría desempeña un papel importante en el manejo y gestión de los recursos hídricos en diversas cuencas del Perú. Su uso, es fundamental para calibrar modelos hidrológicos, diseñar infraestructura hidráulica, prever inundaciones y tomar decisiones en la gestión de recursos hídricos (Despax *et al.*, 2016). Su aplicación es fundamental para garantizar una toma de decisiones basada en datos precisos, especialmente en periodos de alta variabilidad hidrológica. Durante la época húmeda, el monitoreo hidrométrico resulta crucial para evaluar el impacto de los incrementos en el caudal, requiriendo el uso de técnicas avanzadas de medición.

Las mediciones de caudal superficial en una cuenca son realizadas por el hidromensor, quien emplea diversas técnicas. Entre ellas, el correntómetro es una de las herramientas más utilizadas, ya que permite medir con precisión la velocidad media del agua (Tazioli, 2011), aunque su eficacia disminuye en flujos profundos o en escenarios de inundación (Manfreda *et al.*, 2020). Para ríos poco profundos y de baja velocidad, se emplea la técnica del flotador, mientras que en flujos turbulentos, el uso de trazadores químicos ofrece mejores resultados (Hudson & Fraser, 2002). En situaciones de caudal muy alto, la seguridad de los hidromensores es prioritaria, por lo que se recomienda usar técnicas no intrusivas, como la Velocimetría de Imagen de Partícula empleando videocámaras (Patalano *et al.*, 2017).

Las mediciones de caudal deben estar asociadas a un nivel de agua monitoreado por una estación hidrométrica para crear la curva de gasto mediante una ecuación hidráulica de tipo potencial. Esta ecuación transforma los niveles de agua en datos de caudal, utilizando el software Hydraccess. Para desarrollar esta curva de gasto, se requieren múltiples aforos de caudal, que abarcan desde el nivel más bajo hasta el nivel de ribera en un período prolongado de observación (Kim *et al.*, 2016). Así, el seguimiento continuo de caudales y niveles asegura una curva de gasto precisa y confiable (Chen & Chiu, 2004).

A pesar de los avances tecnológicos en el monitoreo de caudales, la incertidumbre en los registros hidrométricos sigue siendo un desafío recurrente. Estas incertidumbres pueden clasificarse en aleatorias, derivadas de imprecisiones en las mediciones, y epistémicas, asociadas al desconocimiento del comportamiento fluvial y su variabilidad temporal, como cambios en la morfología del cauce, crecimiento estacional de vegetación o la necesidad de extrapolación de datos (Bertoldi *et al.*, 2010; Cotton *et al.*, 2006; Fortesa *et al.*, 2019). Las principales fuentes de error que afectan los caudales son las mediciones de caudales y los errores derivados de la incertidumbre en la curva de gasto, la cual es influenciada por errores de interpolación y extrapolación.

En este estudio se presentan datos hidrométricos del Instituto Geofísico del Perú (IGP) para los años 2023/2024. Estas serán utilizadas para analizar la hidrometría en ríos de cuencas de altamontaña mediante diferentes técnicas de medición. Su aplicación será en las estaciones hidrométricas ubicadas en Ayacucho, en Luricocha y Huancayo; en Cajamarca, en la estación Sexemayo Lote 1; y en Puno, en las estaciones de Charamaya y Conaviri. Finalmente, se pretende cuantificar los caudales, crear curvas de gasto líquido y evaluar la incertidumbre en las mediciones de caudal.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Analizar la hidrometría en cuencas de alta montaña empleando diversos métodos de medición, durante época húmeda en Ayacucho, Cajamarca y Puno.

1.1.2. Objetivos específicos

- Cuantificar los caudales mediante diversas metodologías de aforo, como correntómetro, trazador químico, flotador y videocámara en las estaciones hidrométricas multirregionales.
- Desarrollar las curvas de gasto líquido empleando el software Hydraccess para la predicción de caudales máximos durante época húmeda.
- Evaluar la incertidumbre en las mediciones de caudal durante época húmeda en las estaciones hidrométricas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Conceptos hidrológicos fundamentales

2.1.1. Hidrometría

Se define hidrometría a la medición del caudal en cursos de agua abiertos respaldada por la medición del nivel de agua (Arboleda Orozco *et al.*, 2018; Boiten, 2003). Estos datos hidrométricos son fundamentales para evaluar el flujo de agua dentro de una cuenca, lo que permite obtener registros de series de caudales. Además, posibilita la extrapolación de caudales extremos y el desarrollo de curvas de calibración que relacionan el caudal con el nivel del agua (García Parra *et al.*, 2016).

2.1.2. Cuenca hidrográfica

Desde la perspectiva hidrológica, una cuenca hidrográfica es una región delimitada por una elevación topográfica llamada Divortium Aquarum, donde las precipitaciones se concentran y el flujo de agua se dirige hacia un río principal a través de un sistema de drenaje compartido (Vásquez *et al.*, 2016). Este sistema de drenaje natural, presente en un área, está en constante actividad en el ciclo hidrológico, conduciendo sus aguas hacia un punto de salida, también conocido como punto de aforo, lo que permite estimar el potencial hidrológico de la cuenca.

2.1.3. Ciclo hidrológico

La medición del ciclo hidrológico es crucial para estudiar el abastecimiento de agua dulce (Tourian *et al.*, 2012). Este ciclo incluye evaporación, precipitación, intercepción, transpiración, infiltración, escorrentía y flujo subterráneo, asegurando la circulación del agua en la atmósfera. La evaporación ocurre cuando el agua se transforma en vapor por la energía solar. Este vapor se condensa, formando nubes que provocan precipitación como lluvia, nieve o granizo. Una porción del agua se transforma en vapor o es captada por la vegetación y el terreno, en un fenómeno conocido como intercepción. Las plantas emplean el agua para la transpiración; el sobrante se infiltra en el subsuelo, almacenándose en acuíferos, o fluye como escorrentía hacia ríos y arroyos (Chow *et al.*, 1994).

El agua de los ríos finalmente alcanza los océanos, donde se evapora y reinicia el ciclo hidrológico, renovando el agua en la Tierra.

2.1.4. Caudal

El caudal es la variable volumétrica básica que caracteriza el estado de un río (Hauet et al., 2008). Está definido como la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal de un río en un tiempo determinado (Chen & Chiu, 2004). Se calcula multiplicando la velocidad media de la corriente por el área de la sección transversal (Farina *et al.*, 2015). Esta medida proporciona datos esenciales para comprender fenómenos hidrológicos en cuencas (Shin & Park, 2021) y, en la mayoría de los casos, se estima a partir de mediciones continuas de niveles de agua y las relaciones nivel-caudal (Morlot *et al.*, 2014).

2.1.5. Aforo

Para evaluar la respuesta hidrológica del río en una cuenca hidrográfica, resulta crucial estimar el caudal, cuyo proceso de medición es denominado como aforo. Según Arboleda Orozco *et al.* (2018), define aforo como una serie de procedimientos llevados a cabo para medir el caudal de una corriente superficial a un nivel determinado.

2.1.6. Hidrógrafo

El hidrógrafo es el responsable del trabajo de campo relacionado con la medición de arroyos y el cálculo de caudales (WMO, 2010a). Además, se encarga del monitoreo de los caudales, así como del mantenimiento y calibración de los instrumentos hidrométricos, lo cual es esencial para generar la curva de calibración de gasto líquido. (Manfreda et al., 2020), citando a (Hamilton et al., 2019), nos dice que los hidrógrafos deben considerar las características físicas de las estaciones hidrométricas, la evolución morfológica del río, la vegetación, controles hidráulicos y acumulación de depósitos. Finalmente, tiene un papel importante en los criterios de bondad de ajuste en el desarrollo de una curva de calibración (Hamilton et al., 2019).

2.1.7. Sección transversal

La sección transversal de un río se refiere al perfil que se observa al realizar un corte perpendicular al flujo de agua, es decir, desde una orilla hasta la otra (OMM, 2020). Para representar la sección transversal, se conectan los puntos más bajos de las verticales a lo largo del río, formando un esquema que muestra cómo fluye el agua en esa sección (Farina et al., 2015). Este perfil es fundamental para entender el área que ocupa el agua en un punto dado del río, lo que permite calcular cuánta agua está fluyendo en ese momento.

2.2. Conceptos teóricos científicos

2.2.1. Estaciones hidrométricas

La mayoría de los países cuenta con estaciones hidrométricas que permiten el monitoreo y recolección de datos sobre los niveles de agua en los ríos para obtener series temporales de caudales (Petersen-Øverleir & Reitan, 2009). Estos dispositivos, usualmente conformados por un conducto de acero galvanizado y equipados con sensores especializados, son esenciales para la medición de variables hidrológicas. La información recabada facilita la creación de modelos hidrodinámicos de ríos y la estimación de sedimentos en suspensión a partir de curvas de calibración nivel-caudal (Fortesa *et al.*, 2019; Jiang *et al.*, 2023; Zounemat-Kermani *et al.*, 2016).



Figura 1: Ejemplo de estación hidrométrica de Quillo, Ancash

FUENTE: (IGP, 2024)

Nota: La estación cuenta con sensores que registran datos de niveles del río instantáneamente por minuto durante 3 meses.

2.2.2. Sensores registradores de datos

Los registradores de datos son herramientas portátiles, modernas y efectivas que permiten implementar una estación hidrométrica. En la parte superior del tubo de la estación hidrométrica se encuentra el Barologger, un dispositivo diseñado para medir y almacenar datos sobre las variaciones de la presión atmosférica y la temperatura (Solinst Canada Ltd, 2023a). Por otro lado, el Levelogger es el único sensor que entra en contacto directo con el agua superficial. Este dispositivo está especializado en la medición y registro de los niveles de agua, asegurando así la precisión de los datos hidrométricos. Los registros del Barologger son fundamentales y empleados para compensar las lecturas del Levelogger (Ver Figura 2).

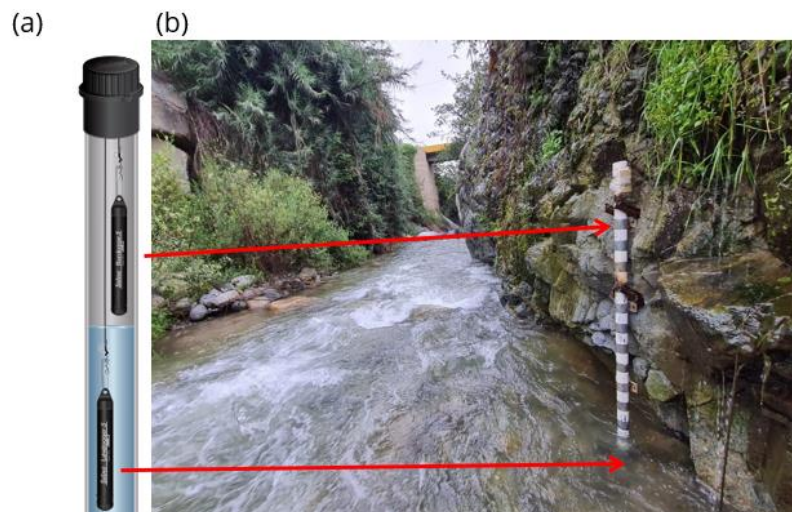


Figura 2: Ubicación de los sensores Levelogger y Barologger para el registro de niveles de agua en una estación hidrométrica

FUENTE: (a) Solinst Canada Ltd (2023), (b) IGP, (2024). [Imágenes, modificado por el autor]

2.2.3. Fundamentos de medición del levelogger

De acuerdo con la guía del usuario de la serie Levelogger Solinst Canada Ltd, (2023), todos los dispositivos Levelogger miden la presión absoluta total. Cuando se sumergen, registran la suma de la presión de la columna de aire y la presión de la columna de agua. Para determinar la presión real ejercida solo por el agua (A) sobre el sensor, se debe restar la presión barométrica (B) de la presión total medida por el Levelogger (L). El Barologger, que únicamente registra la presión barométrica, se utiliza para compensar las lecturas del Levelogger, permitiendo así obtener datos precisos de la columna de agua utilizando la ecuación 1.

$$A = L - B \quad (1)$$

La información registrada por el Levellogger se toma a partir del punto cero, que corresponde a la ubicación del sensor (Ver Figura 3). Para la columna de agua que se encuentra por debajo de este punto cero, es necesario realizar un ajuste utilizando una compensación básica o avanzada.

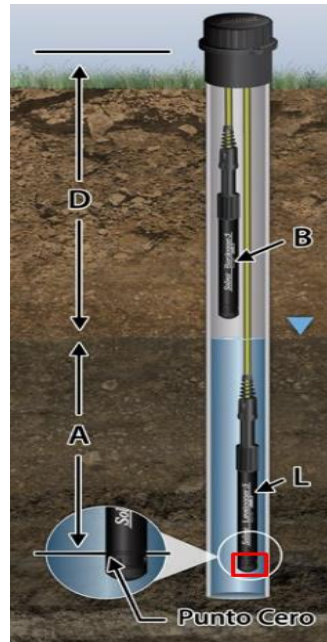


Figura 3: Fundamentos de medición del Levellogger y Barologger

FUENTE: Solinst Canada Ltd, (2023). [Imagen, modificado por el autor]

2.2.4. Curva de calibración nivel-caudal

Las curvas de calibración son herramientas robustas para evaluar los caudales fluviales mediante la medición continua de los niveles de agua. Estas curvas se construyen utilizando aforos, que son observaciones sincronizadas de los niveles de agua y las mediciones de caudal obtenidas en campo con diversas técnicas de aforo (Ali & Maghrebi, 2023; Manfreda *et al.*, 2020; WMO, 2010b). La fiabilidad de las curvas depende de la observación de datos de caudal desde niveles bajos hasta niveles de ribera durante un largo período (Kim *et al.*, 2016). Estas curvas son esenciales para la calibración de modelos hidrológicos (Sikorska & Renard, 2017) y el análisis del régimen de flujo como en el diseño de estructuras hidráulicas (Kim *et al.*, 2016). Fortesa *et al.* (2019), basándose en Gravelle (2015), señalan que la

transformación de la altura del agua a caudal, a través de estas curvas, afecta la precisión de los datos hidrométricos. Fortesa *et al.* (2019), citando a Westerberg *et al.* (2011), destacan que es fundamental contar con series de tiempo largas para obtener valores hidrométricos precisos y confiables, especialmente en eventos extremos. El desarrollo de estas curvas requiere un monitoreo continuo de niveles de agua y caudales (Lee *et al.*, 2021), utilizando aforos calibrados con técnicas como correntómetro, trazador químico, flotador y videocámara.

2.2.5. Ecuación de la curva de gasto líquido

La relación entre el caudal (Q) y la altura del agua (H), se expresa mediante una ecuación hidráulica general. Esta ecuación, permite estimar y extrapolar los caudales basándose en las alturas del agua medidas en la estación. En el estudio de Chen & Chiu, (2004) sobre la estimación rápida del caudal de crecida, se utilizó dicha ecuación para desarrollar la curva de descarga. Según Morlot *et al.* (2014), la curva de calibración nivel-caudal puede modelarse hidráulicamente mediante una función potencia, como se especifica en la ecuación 2.

$$Q = a * (H - H_0)^p \quad (2)$$

Donde:

Q = Descarga.

H = Nivel de agua

H₀ = Nivel del agua cuando el caudal es cero

a = constante

p = constante

En la presente ecuación, H₀ es una constante que representa la altura del nivel de escurrimiento donde el caudal alcanza el valor cero. H engloba todas las alturas registradas por la estación hidrométrica a través de los sensores SOLINST, mientras que a y p son constantes determinadas mediante la obtención de logaritmos de la ecuación y su posterior aplicación del método de mínimos cuadrados (Morlot *et al.*, 2014).

El método de mínimos cuadrados (MMC) se utiliza generalmente para estimar los tres parámetros a, p y H₀. Estos coeficientes se obtienen linealizando la ecuación potencial mediante logaritmos, como refleja la ecuación 3.

$$\log Q = \log a + p * \log (H - H_0) \quad (3)$$

Al linealizar la ecuación mejora la precisión de la estimación de los parámetros de la curva, lo que resulta en una mejor modelización de la relación entre la altura del agua y el caudal. El software Hydraccess determina estos coeficientes de la ecuación (2) mediante el MMC usando el ajuste curva Log-Log, como ilustra la Figura 4.

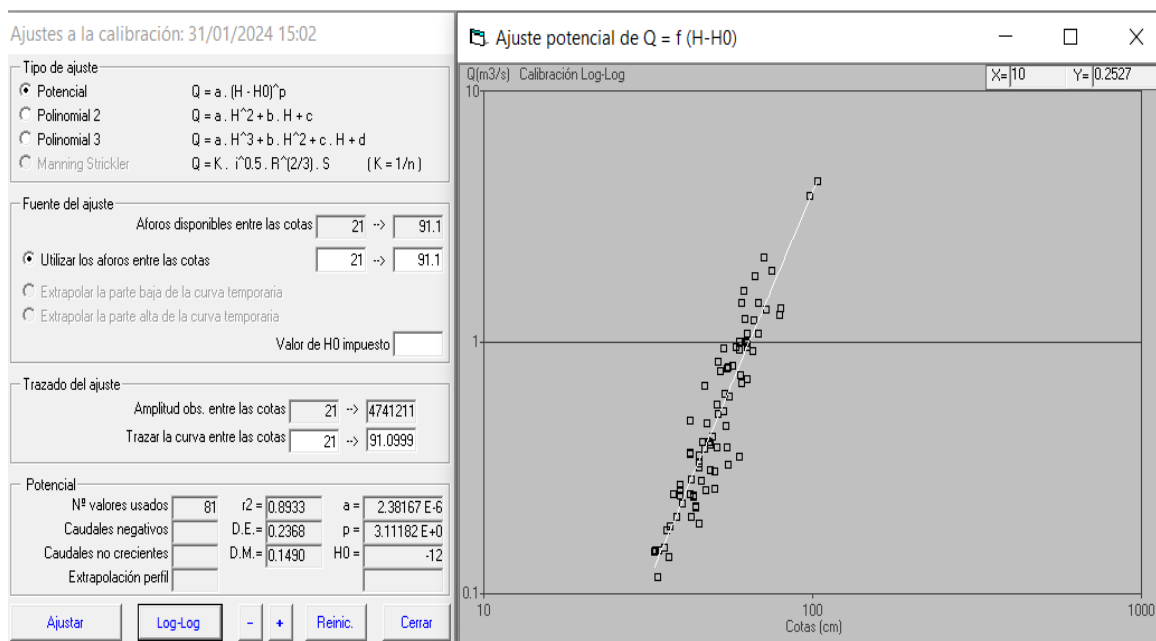


Figura 4: Ejemplo de calibración log-log, para hallar los coeficientes de a , H_0 y p en el software Hydraccess

FUENTE: (IGP, 2024). [Imagen, modificado por el autor]

2.3. Técnicas de aforo

Dobriyal *et al.* (2017) destacan que los métodos del flotador, correntómetro, dilución química y videocámara son eficientes y precisos. La elección del método depende del caudal: el flotador es ideal para corrientes pequeñas, videocámara para corrientes grandes, la dilución química para corrientes turbulentas y el correntómetro para corrientes altas y sin turbulencia. El correntómetro es adecuado para grandes ríos con flujo casi laminar mientras que la dilución salina es útil para flujos turbulentos y con gradiente pronunciada, siendo una alternativa cuando no se dispone de un correntómetro (Hudson & Fraser, 2002).

2.3.1. Correntómetro electromagnético

El correntómetro es un aparato empleado para estimar el flujo de agua mediante la fórmula velocidad por área, utilizando el método de la sección media (OMM, 2020). Este procedimiento implica dividir la sección transversal del río en verticales equidistantes. Durante esta división, se registran las profundidades de cada vertical y se miden las velocidades utilizando un correntómetro en uno o más puntos de cada vertical.

Tradicionalmente, las mediciones de caudal se realizan utilizando el método de velocidad-área (Manfreda *et al.*, 2020). Para ello, se emplea un correntómetro el cual permite obtener valores de velocidades en cada sección vertical. Este método es considerado la técnica más usada a nivel global y para asegurar su precisión, es necesario evaluar la incertidumbre asociada al proceso de medición (Despax *et al.*, 2016).

2.3.1.1. Velocidad media vertical en función a la profundidad

Arboleda Orozco *et al.* (2018), en el “Manual de Hidrometría” del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), destacan la aplicación de métodos para medir la velocidad media en una vertical.

Cuando la profundidad en la vertical es inferior a 70 cm, se utiliza un punto de medición. Este método consiste en medir la velocidad a una profundidad equivalente al 60 % de la distancia desde la superficie hasta el fondo. El valor obtenido se considera la velocidad media vertical, como se expresa en la ecuación 4. Este enfoque es apropiado para situaciones con poca profundidad, asegurando que la medición represente adecuadamente la velocidad media de la corriente.

$$\underline{V} = v_{0.6} \quad (4)$$

Para profundidades iguales o superiores a 70 cm, se aplican dos o tres puntos de medición. En el caso de dos puntos, las mediciones se realizan a profundidades del 20 % y 80 % de la distancia desde la superficie, promediando los valores obtenidos para calcular la velocidad media, como se expresa en la ecuación 5.

$$\underline{V} = v_{0.2} + V_{0.8} \quad (5)$$

Si se utilizan tres puntos, las mediciones se toman al 20 %, 60 % y 80 % de la profundidad, obteniendo la velocidad media a través del promedio ponderado de estos valores (ecuación 6).

$$\underline{V} = 0.25 * (v_{0.2} + 2 * V_{0.6} + V_{0.8}) \quad (6)$$

Para calcular el caudal mediante diversos métodos de estimación de la velocidad en las verticales de la sección transversal, es esencial disponer de información sobre el área de la sección transversal y las velocidades registradas por el correntómetro en cada vertical. La elección del método de medición depende de la altura del agua en el momento de la toma de datos. En la figura 5, se visualiza la sección transversal del río donde se mide la velocidad con el correntómetro en cada vertical.

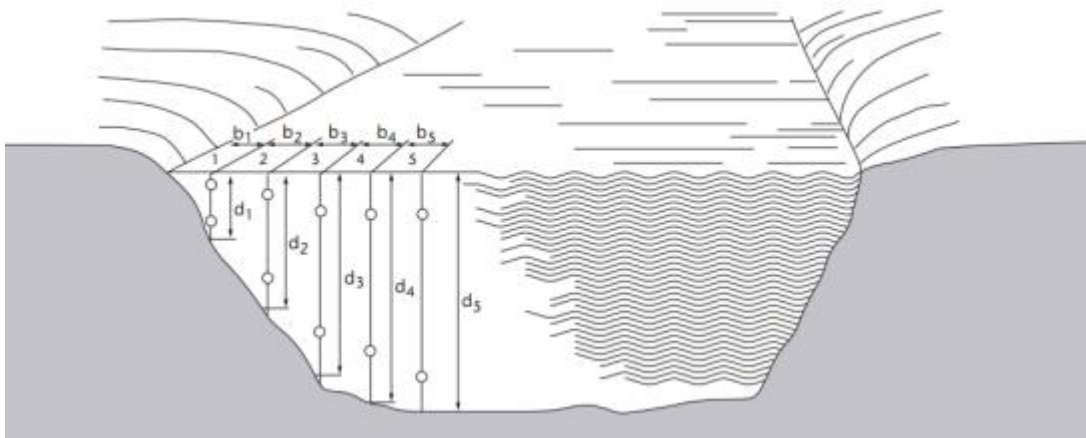


Figura 5: Sección transversal de un río con puntos de medición dispuestos en las líneas verticales para registrar las velocidades del flujo

FUENTE: (OMM, 2020)

2.3.1.2. Velocidad-área

El caudal se determina multiplicando la velocidad por el área. Se divide una sección transversal del río en áreas parciales para medir la profundidad y velocidad en cada una (Turnipseed & Sauer, 2010). El caudal total resulta de sumar los caudales de todas las áreas parciales, con sus velocidades medias. La ecuación 7 se emplea para calcular el caudal total de la sección transversal.

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i v_i \quad (7)$$

donde, Q (m³/s) es el caudal total, a_i (m²) es el área de la sección transversal y v_i (m/s) es la velocidad media.

2.3.1.3. Sección media

El método de la sección media, ampliamente empleado por hidrólogos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, sigla en inglés), es una de las técnicas más utilizadas para estimar caudales en ríos (Gore & Banning, 2017). Según Arboleda Orozco *et al.* (2018), recomienda establecer hasta 4 segmentos verticales para ríos con anchos de 0 a 0.5 metros. Para anchos de 0.5 a 1 metro, se pueden definir hasta 5 segmentos; entre 1 y 3 metros, de 5 a 8 segmentos; de 3 a 5 metros, de 8 a 10 segmentos; y para anchos de 5 a 10 metros, entre 10 y 20 segmentos. Si el ancho supera los 10 metros, se requieren más de 20 segmentos verticales.

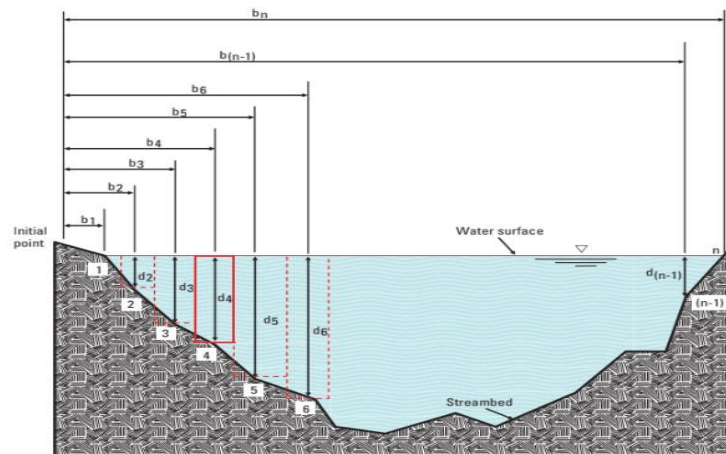


Figura 6: Esquema del método de la sección media

FUENTE: (Turnipseed & Sauer, 2010)

El caudal usando el método de la sección media se obtiene estimando los caudales parciales de cada sección transversal rectangular (Ver Figura 6). Las distancias y las profundidades determinarán el caudal utilizando la ecuación 8.

$$q_i = v_i \left[\frac{(b_i - b_{(i-1)})}{2} + \frac{(b_{(i+1)} - b_i)}{2} \right] d_i \quad (8)$$

Donde q_i es el caudal a través de la sección parcial de i , v_i es la velocidad media en la ubicación i , b_i es la distancia desde el punto inicial hasta la ubicación i , $b_{(i-1)}$ es la distancia

desde el punto inicial hasta la ubicación anterior, $b_{(i+1)}$ es la distancia desde el punto inicial hasta la siguiente ubicación y d_i es la profundidad del agua en la ubicación i .

2.3.2. Trazador químico salino

Para medir el caudal con un trazador químico que es la sal, se usará un sensor que pueda medir la conductividad eléctrica en el agua (Abrantes et al., 2018). Este método de dilución con sal, implica la introducción controlada de un trazador químico en el río. A continuación, se mide y registra la fluctuación de la conductividad eléctrica aguas abajo del punto de inyección, donde se logra una completa mezcla con el flujo circundante. El método de dilución se considera más adecuado para su aplicación en canales de menor tamaño con gradientes pronunciados y flujos más turbulentos (Hudson & Fraser, 2002).

Existen dos enfoques principales para realizar la medición de la dilución: la inyección de una dosis única del trazador o la introducción continua durante un período de tiempo prolongado (Elder & Kattelman, 1990). A medida que aumenta el caudal, la concentración del trazador se diluye más para una cantidad fija añadida. En ambientes de ríos poco profundos y lechos rocosos, este método puede ser la única opción efectiva para calcular el flujo de agua. Esto debido a que la turbulencia presente en estos entornos mejora la precisión de las mediciones.

Para el desarrollo de este método, es esencial construir inicialmente la curva de calibración. Este es el input principal de los diversos métodos y softwares como SolutionNaCl, quienes requieren datos de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en relación con la concentración de sal (mg/L). Además de proporcionar información para generar una gráfica lineal, este proceso también proporciona los coeficientes de calibración mediante la ecuación correspondiente (Ver Figura 7). Para obtener esta gráfica, el operador debe recolectar una muestra de agua del río en un recipiente de 20 L y medir la conductividad cuando el agua no tiene trazadores químicos. Luego, se agregan 5 gramos de sal, se toman medidas de conductividad, se añaden otros 5 gramos de sal y se repite el proceso hasta alcanzar un total de 30 gramos de sal. A partir de estos datos, se construye una tabla que relaciona la conductividad con la concentración.

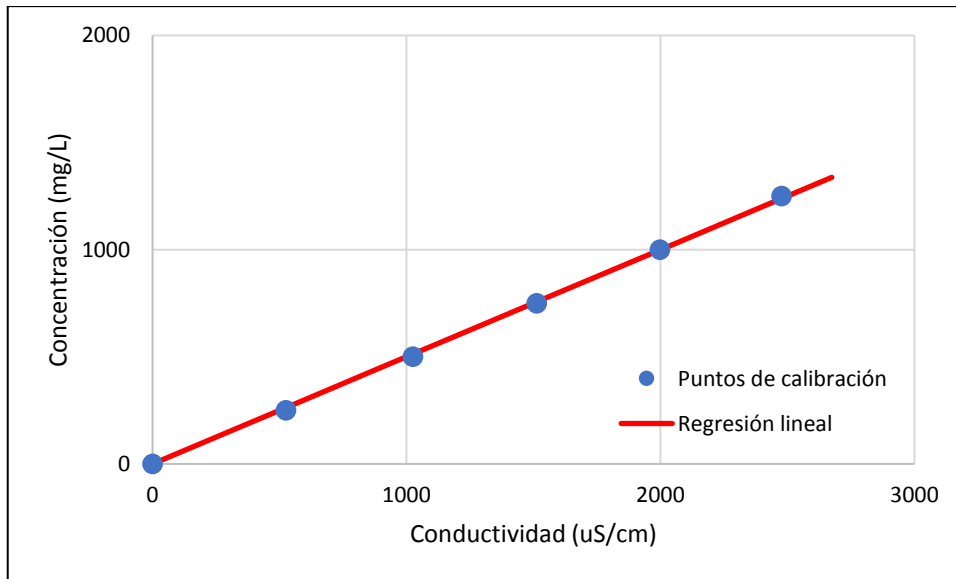


Figura 7: Gráfica de calibración del trazador químico

FUENTE: (IGP, 2024) [Imagen, modificado por el autor]

Finalmente, se aplica una regresión lineal utilizando el método de mínimos cuadrados a todos los pares registrados, asegurando que la línea recta pase por el origen del marco de referencia (Thollet *et al.*, 2021). Con base en la curva de calibración, se procederá a llevar a cabo la estimación del caudal mediante el método del trazador químico, empleando en este caso sal de mesa convencional. Se ha seleccionado este trazador debido a su bajo costo y a su inocuidad, ya que no altera las propiedades químicas del río aguas abajo, evitando así posibles impactos adversos. Es importante destacar que este método es aplicable únicamente cuando el equipo de medición puede realizar mediciones dentro del río y cuando existe un flujo lo suficientemente turbulento para garantizar una adecuada dilución de la solución con el agua del río.

Para estimar el caudal se hará uso de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V * c_o}{S} \quad (9)$$

Donde:

Q = Descarga.

V = Volumen de solución inyectada al río (m³).

c_o = Conductividad de la solución madre (uS/cm).

S = Área bajo la curva de dispersión (m²).

Ahora bien, el área bajo la curva (S), se calcula bajo la siguiente fórmula:

$$S = \sum(c_t - c_1) * T \quad (10)$$

Donde:

c_t = Conductividad eléctrica en el tiempo t ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

c_1 = Conductividad eléctrica de fondo en el canal ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

T = Intervalo de tiempo.

Para la recolección de datos de conductividad, se empleará un conductímetro. Diversos equipos están disponibles para registrar los valores de conductividad en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Entre los dispositivos más comúnmente utilizados se encuentran los multiparámetros de la marca Hanna, que son económicos, pero presentan un rango de impresión que puede afectar el registro de conductividades, lo cual se refleja en la curva de Conductividad eléctrica vs tiempo. Esta representación gráfica se asemeja a un hidrograma de caudal o, de manera más general, a la campana de Gauss.

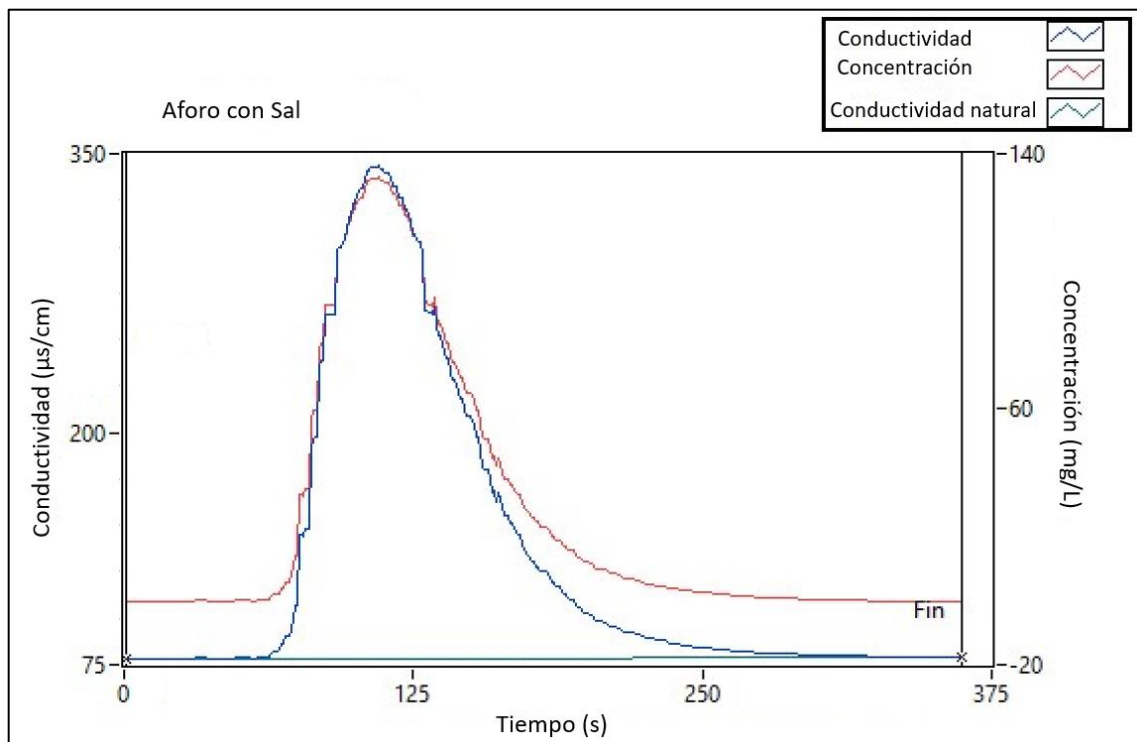


Figura 8: Gráfica de conductividad en función del tiempo usando el software “SolutionNaCl”

FUENTE: (IGP, 2024) [Imagen, modificado por el autor]

Para obtener una distribución más precisa de los datos de conductividad, se recomienda utilizar equipos con un registro más preciso, aunque sean más costosos. Ejemplos incluyen el multiparámetro YSI ProDSS y la sonda multiparamétrica EXO3 para una recolección de datos más precisa.

Tras recopilar los datos del trazador químico, existen varias fórmulas para estimar la distancia que la sal debe recorrer para una dilución adecuada. Kite, (1993) propone una fórmula específica para verter la solución aguas arriba.

$$L = 260 * \sqrt{W * D} \quad (11)$$

Donde:

L = Longitud de la mezcla (m).

W = Anchura media de la sección (m).

D = Profundidad media de la sección (m).

2.3.3. Flotadores

Es un método que permite estimar caudales en condiciones donde el hidromensor no puede realizar aforos directos o en caso no se cuente con equipo sofisticado para estimar caudales. De acuerdo con un estudio previo de Gore & Banning, (2017), una técnica clásica de medición implica el uso de un objeto flotante que debe ser adecuadamente seleccionado para mantenerse a flote y desplazarse siguiendo la dirección del flujo principal, al mismo tiempo que reduce al mínimo las interferencias causadas por las corrientes de aire. Los mejores flotadores empleados en ríos son ramas, corchos o trozos de hielo (Tauro & Grimaldi, 2017). El aforo con flotador se realiza en tramos donde el flujo del agua sea lo más recto posible. Si el ancho del río es menor a 50 metros entonces se dividirá en 3 tramos y se realizarán 3 cantidades mínimas de aforo (Arboleda Orozco *et al.*, 2018).

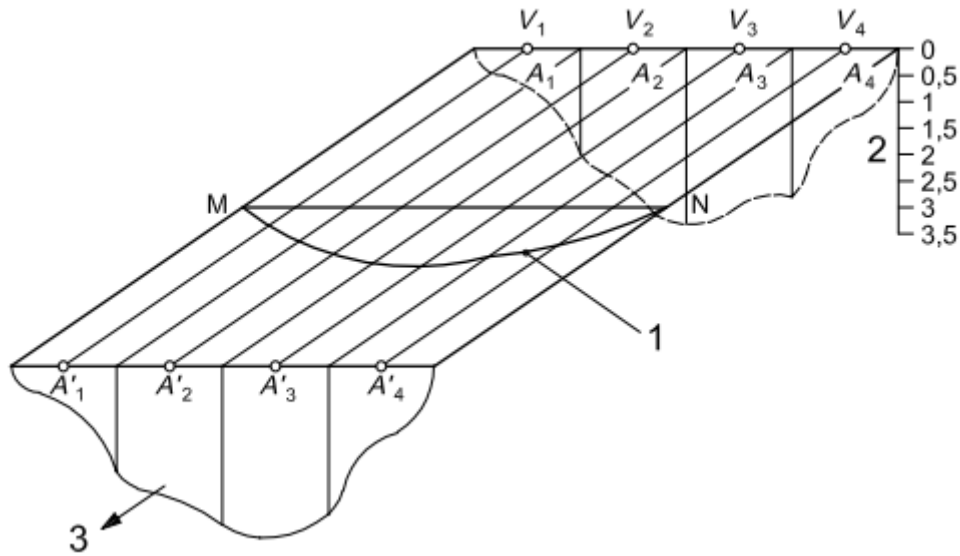


Figura 9: Determinación del caudal a partir de mediciones de velocidad de flotación superficial

FUENTE: (European ISO EN Rule 748, 2007)

Nota: Donde 1 representa la distribución de velocidades superficiales, 2 es la profundidad (cm) y 3 la dirección del flujo.

Este método estima velocidades superficiales a partir de la siguiente ecuación.

$$V_s = \frac{d}{t} \quad (12)$$

Donde “d” es la distancia que recorre el flotador, “t” es el tiempo que demora en recorrer el flotador desde el punto de partida hasta el punto final establecido previamente. Para calcular la velocidad media es necesario que sea multiplicado por un coeficiente de velocidad.

$$\underline{V} = V_s * k \quad (13)$$

Donde V_s es la velocidad superficial, “ \underline{V} ” es la velocidad media y “k” es constante. La constante de velocidad (k) es la relación que existe entre la velocidad media por la velocidad superficial.

$$k = \frac{\underline{V}}{V_s} \quad (14)$$

Generalmente, la constante “k” varía entre 0.45 y 0.95. Para determinar su valor, se utiliza el método del correntómetro y flotador en campo (Arboleda Orozco et al., 2018). Una vez

conocido el valor de k , se puede calcular la velocidad media. También es importante obtener el área de la sección transversal usando una fórmula específica.

$$A=c*h_1+c*h_2+\dots+c*h_n \quad (15)$$

Donde c es la longitud equidistante entre cada tramo y h es la profundidad de cada segmento de medición. Finalmente, para obtener el caudal se utilizará la siguiente fórmula:

$$Q = \underline{V} * A \quad (16)$$

Donde Q es el caudal en m^3/s , V es la velocidad media en m/s y A es el área obtenida.

2.3.4. Velocimetría de imágenes de partículas a gran escala (LSPIV y PIVLAB)

Durante períodos de crecida, la estimación de caudal representa un desafío complejo para las mediciones hidráulicas (Fujita *et al.*, 2007). Es por ello que se recurre a un enfoque indirecto conocido como Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPIV, según su acrónimo en inglés) para evaluar la velocidad del flujo superficial y calcular el caudal en el contexto de la crecida. Mediante esta técnica, es factible cuantificar la velocidad en la superficie de un río aprovechando su capacidad de resolución (Shin *et al.*, 2016). Las imágenes proporcionan espacialmente observaciones distribuidas de la cinemática del flujo y pueden capturarse desde ubicaciones remotas, lo que permite monitorear el flujo en condiciones adversas (Tauro & Grimaldi, 2017).

Los aforos mediante este método, emplea la metodología de LSPIV a partir del software RIVeR y PIVLab. Dichos programas, son herramientas informáticas especializadas que facilitan la implementación de la técnica de imagen de velocidad de partículas para la medición precisa del flujo fluvial (Patalano *et al.*, 2017).

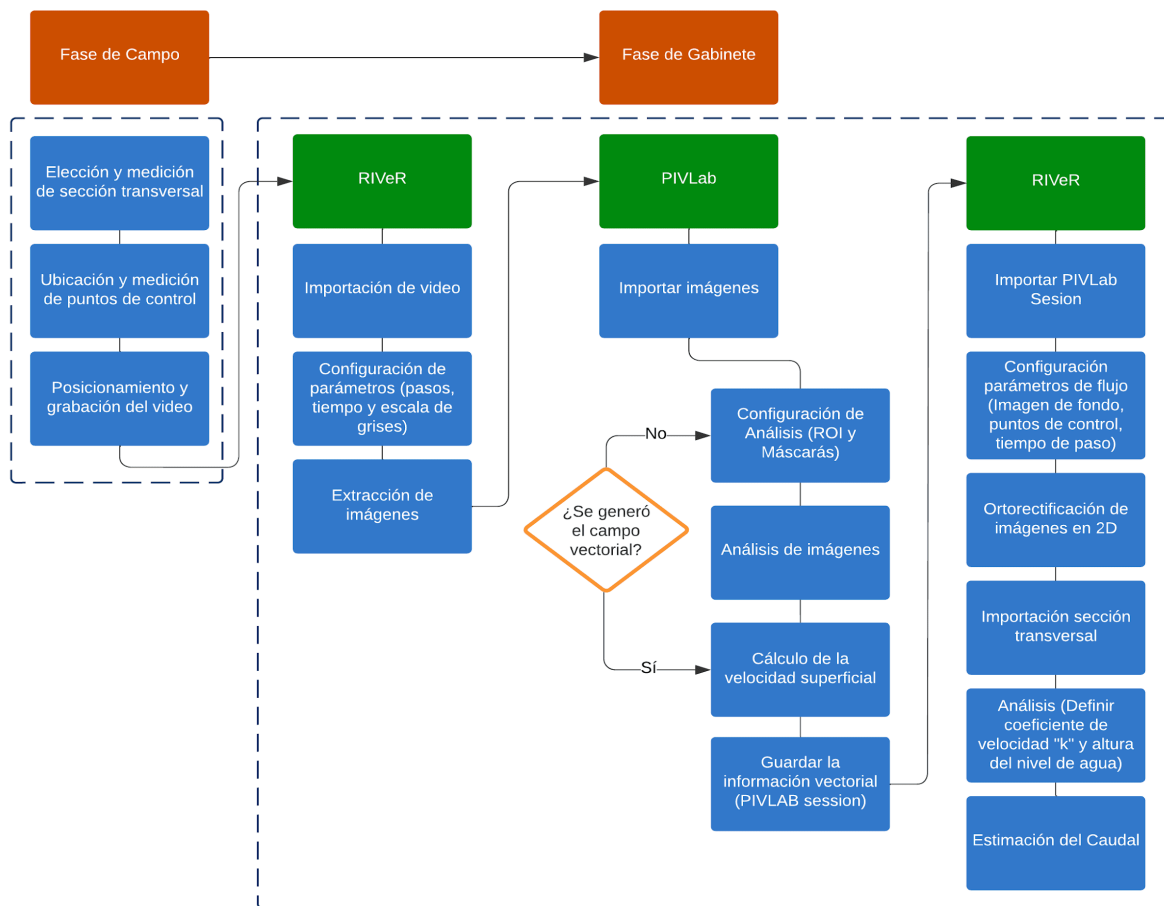


Figura 10: Diagrama de flujo de obtención de caudales con RiVER Y PIVlab

FUENTE: Elaboración propia

2.4. Conceptos de incertidumbre en variables hidrométricas

2.4.1. Incertidumbre en curvas de gasto líquido

En hidrometría, la estimación de la descarga fluvial se realiza mediante curvas de calibración basadas en mediciones del nivel de agua. Sin embargo, estas estimaciones conllevan incertidumbres inherentes que provienen de las mediciones directas de descarga como la precisión del ajuste de las curvas a estas mediciones, y los cambios en la morfología del lecho del río (Morlot *et al.*, 2014). Con el tiempo, la incertidumbre relacionada con estas curvas de calibración tiende a aumentar, complicando la evaluación precisa de estas en un momento dado.

Investigadores como Morlot *et al.* (2014) han desarrollado métodos dinámicos que no solo calculan las curvas de gasto, sino que también incorporan la cuantificación de incertidumbres, permitiendo así generar datos de caudal con estimaciones de incertidumbre

más precisas. Además, McMillan *et al.* (2010) discuten los errores en las mediciones de descarga que se utilizan para calibrar modelos de lluvia-escorrentía, subrayando cómo la incertidumbre en las curvas de clasificación nivel-caudal afecta dichos modelos. Por otro lado, Le Coz (2012) revisa exhaustivamente los métodos para estimar la incertidumbre asociada a las curvas nivel-caudal.

2.4.2. Incertidumbre del hidrógrafo

De acuerdo con Hamilton *et al.* (2019), un hidrógrafo que comprende las características de control puede generar una curva de gasto con un número limitado de mediciones de aforo en el control hidráulico. Este enfoque permite optimizar los recursos y mejorar la eficiencia en el proceso de clasificación hidráulica. Sin embargo, cuando los hidrógrafos se enfocan en exceso en los criterios de bondad de ajuste, tienden a aumentar la complejidad de las curvas. Esto puede resultar en un mejor ajuste estadístico, pero no necesariamente en una representación precisa del comportamiento hidráulico.

2.4.3. Incertidumbre en aforos

2.4.3.1. Incertidumbre entre el nivel observado y nivel de sensor

La incertidumbre en los niveles de agua se determina a través de la diferencia entre las mediciones del sensor y las mediciones reales. Si se dispone de “n” mediciones de altura del agua registradas por el sensor (H_s) y “n” mediciones reales (H_r), la diferencia para cada medición se calcula utilizando la ecuación 17.

$$D_i = H_s(i) - H_r(i) \quad (17)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ donde D_i es la diferencia para la i -ésima medición.

2.4.3.2. Evaluación de la incertidumbre global

Existen diferentes estudios científicos que analizan y cuantifican la incertidumbre de los datos de caudales fluviales. Según Pelletier (1988), la incertidumbre en la medición de la descarga fluvial con un 95% de confianza puede oscilar entre el 8% y el 20%. Esto depende principalmente del tiempo de exposición del correntómetro, del número de puntos de muestreo para medir la velocidad y del valor de velocidad.

La European ISO EN Rule 748 (2007) describe un método de cálculo de la incertidumbre en

la descarga por medición de la velocidad mediante correntómetro. La curva de calibración nivel caudal puede expresarse mediante una ecuación matemática obtenida de las mediciones de caudales disponibles (OMM, 2020). La incertidumbre global se estima mediante la suma del error en la medida obtenida con el método velocidad-área más el error debido a la incertidumbre de la curva de calibración nivel caudal (Di Baldassarre & Montanari, 2009).

A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para cuantificar las incertidumbres, desarrolladas según los lineamientos establecidos en la norma European ISO EN Rule 748 (2007) y los métodos propuestos en los estudios de Fortesa et al. (2019), Tomkins, (2014) y Di Baldassarre & Montanari (2009).

2.4.3.3. Evaluación global de la incertidumbre (ϵ)

$$\epsilon(Q(x,t)) = \epsilon_1(Q(x,t)) + \epsilon_2(Q(x,t)) \quad (18)$$

ϵ_1 = Incertidumbre por mediciones de caudales

ϵ_2 = Incertidumbre por curva de calibración nivel-caudal

2.4.3.4. Evaluación de la incertidumbre de las mediciones de caudales (ϵ_1)

$$\epsilon_1 = \left\{ u_{m''}^{*2} + u_{cal}^{*2} + \left(\frac{1}{m''} \right) \left[u_b^{*2} + u_d^{*2} + u_p^{*2} + \left(\frac{1}{n''} \right) (u_{cr}^{*2} + u_e^{*2}) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

ϵ_1 = Es la incertidumbre estándar porcentual del método velocidad-área.

$u_{m''}^*$ = Incertidumbre en función al limitado número de verticales.

u_{cal}^* = Incertidumbre en función a la calibración del correntómetro.

m'' = Número de verticales.

u_b^* = Incertidumbre en la medición del ancho de la sección transversal.

u_d^* = Incertidumbre en la medición de las profundidades del agua a lo largo de cada vertical en la que se divide la sección transversal del río.

u_p^* = Incertidumbre en el número de puntos de mediciones a lo largo de cada vertical.

n'' = Número de profundidades en la vertical en las que realizan mediciones de velocidad.

u_{cr}^* = Incertidumbre relativa en la velocidad puntual a una profundidad particular en la vertical debido a la capacidad de respuesta variable del correntómetro.

u_e^* = Incertidumbre relativa en la velocidad puntual a una profundidad particular en la vertical debido a las fluctuaciones de velocidad en la corriente.

2.4.3.5. Evaluación de la incertidumbre de caudales en las curvas de calibración nivel-caudal (ϵ_2)

$$\epsilon_2 = \frac{Q_g - Q_{rc}}{Q_{rc}} \quad (20)$$

ϵ_2 = Error por la incertidumbre de la curva de gasto

Q_g = Caudal medido en campo

Q_{rc} = Caudal estimado por la curva de calibración nivel caudal

El valor relativo de ϵ_2 representa el nivel de concordancia entre el caudal estimado directamente a partir de mediciones y el caudal predicho utilizando la curva de calibración nivel-caudal para cada medición individual. Según este criterio, los resultados se clasifican como buenos cuando ϵ_2 es de $\pm 10\%$, aceptables entre $\pm 11-20\%$, dudosos entre $\pm 21-50\%$, y subestimados o sobreestimados si superan $\pm 50\%$ (Tomkins, 2014, como se cita en Fortesa *et al.*, 2019).

2.5. Distribución de probabilidades

La distribución de probabilidades constituye un instrumento estadístico fundamental para cuantificar la ocurrencia relativa de los posibles valores de una variable aleatoria. En el ámbito hidrológico, el estudio del comportamiento de las series temporales de caudales registradas en estaciones hidrométricas se basa en la utilización de modelos probabilísticos. Para ello, se aplican diversas funciones de distribución (Ver Figura 11), con el propósito de identificar aquella que represente con mayor precisión la variabilidad inherente a cada serie de datos.

Métodos de distribución	Función de densidad de probabilidad	Parámetros
Normal o Gaussiana	$F(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2}}$	$\mu_x =$ parámetro de localización, $\sigma_x =$ parámetro de escala
Log Normal (2 parámetros)	$F(x) = \ln [N(x, \mu_y \sigma_y)]$	$\sigma_y = \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} \right)}$, $\mu_y = \ln \mu_x - \frac{\sigma_y^2}{2}$
Galton (Log Normal 3 parámetros)	$F(x) = \ln [N((x - c), \mu_y \sigma_y)]$	$\sigma_y = \sqrt{\ln(1 + \varphi^2)}$, $\mu_y = \ln \frac{\sigma_x}{\omega} - \frac{\sigma_y^2}{2}$, $c = \mu_x - \frac{\sigma_x}{\varphi}$
Gamma	$F(x) = \frac{1}{\Gamma(x)\lambda^k} x^{k-1} e^{-\frac{x}{\lambda}}$	λ : parámetro de escala, k : parámetro de forma
Exponencial	$F(x) = 1 - e^{-\lambda(x-\psi)}$	$\lambda = \frac{1}{\sigma_x}$, $\psi = \mu_x - \sigma_x$
Pearson III	$F(x) = G((x - \psi), k, \lambda)$	$k = \frac{\mu_x}{\sigma_x^2}$, $\lambda = \frac{\mu_x}{\sigma_x^2}$
Log-Pearson III	$F(x) = P(\ln(x), k, \lambda, \psi)$	$k = \frac{4}{C_{sx}}$, $\lambda = \frac{\sqrt{k}}{\sigma_x}$, $\psi = \mu_x - \frac{k}{\lambda}$
Valores Extremos Tipo 1 (EV1 Pico – Gumbel Máximo)	$F(x) = e^{-e^{-\frac{x}{\lambda} + \psi}}$	$\lambda = 0,78\sigma_x$, $\psi = \frac{\mu_x}{\lambda} - 0,5772$
Valores Extremos Tipo 2 (EV2)	$F(x) = e^{-(\frac{x}{\lambda})^{-1/k}}$	$\lambda = m \cdot \frac{k}{\Gamma(1-k)}$, $k = \frac{1}{\frac{1}{2} - \frac{1}{e^{2,59[\ln(c_0^2 + 1)]^{0,475}} + 1}}$
Valores Extremos Generales Máximos (GEV - Max)	$F(x) = e^{-\left[1+k\left(\frac{x}{\lambda} - \psi\right)\right]^{-1/k}}$	$\lambda = \frac{ k \sigma_x}{\sqrt{\Gamma(1-2k) - \Gamma^2(1-k)}}$, $\psi = \frac{\mu_x}{\lambda} - \frac{\Gamma(1-k) - 1}{k}$
Valores Extremos Tipo 1 (EV1 Min – Gumbel Mínimo)	$F(x) = 1 - e^{-e^{\frac{x}{\lambda} \psi}}$	$\lambda = \frac{\lambda_2}{\ln 2}$, $\psi = \frac{\lambda_1}{\lambda} - 0,5772$
Valores Extremos Tipo 3 (EV3 Min – Weibull)	$F(x) = 1 - e^{-(\frac{x}{\lambda})^{1/k}}$	$k = \frac{-\ln(1 - \tau_2)}{\ln 2}$, $\lambda = \lambda_1 \cdot \frac{k}{\Gamma(1+k)}$
Valores Extremos Generales Mínimos (GEV - Min)	$F(x) = 1 - e^{-\left[1+k\left(\frac{x}{\lambda} - \psi\right)\right]^{1/k}}$	$\lambda = \frac{ k \sigma_x}{\sqrt{\Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+k)}}$, $\psi = \frac{\mu_x}{\lambda} + \frac{1 - \Gamma(1+k)}{k}$
Pareto (3 parámetros)	$F(x) = \frac{1}{1 - \left[1 - k\left(\frac{x}{\lambda} - \psi\right)\right]^{1/k}}$	$k = \frac{1 - 3\tau_3}{1 + \tau_3}$, $\lambda = \lambda_2(1+k)(2+k)$, $\psi = \frac{\lambda_1}{\lambda} - \frac{1}{1+k}$

Figura 11: Lista de funciones de densidad de probabilidades que utiliza Hydrognomon

FUENTE: Tabla adaptado de Melesse *et al.* (2021) [Imagen, modificado por el autor]

2.6. Prueba de Kolmogorov- Smirnov (K-S)

La prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) es una herramienta estadística utilizada para evaluar si un conjunto de datos empíricos sigue una distribución teórica específica. Esta prueba compara las funciones de distribución acumulada empírica y teórica, midiendo la diferencia máxima entre ambas curvas a través del estadístico (Ecuación 21). Es ampliamente empleada en el análisis de series temporales de variables hidrológicas, ya que

permite verificar la validez de los modelos de ajuste aplicados. Generalmente, se considera un nivel de significancia del 5 %, lo que indica un criterio estándar de aceptación o rechazo de la hipótesis nula.

$$|D_i = F_o(x_i) - F_{(x_i)}| \quad (21)$$

Para aceptar o rechazar la hipótesis nula en la prueba de K-S, se compara el valor calculado de D_{max} con un valor crítico determinado por el nivel de significancia. Si $D_{max} < D_{crítico}$, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que los datos empíricos pueden considerarse como provenientes de la distribución teórica evaluada. Por el contrario, si $D_{max} \geq D_{crítico}$, se rechaza la hipótesis nula, indicando que la distribución seleccionada no representa adecuadamente los datos observados. Este proceso permite seleccionar la función de probabilidad con mejor ajuste para series temporales en hidrología.

2.7. Software para el análisis de información hidrométrica

2.7.1. Software Hydraccess

Hydraccess (<https://hybam.obs-mip.fr/es/hydraccess-3/>) es un software desarrollado por Vauchel desde 2004 para el IRD, diseñado para la gestión de datos hidrológicos. Esta herramienta facilita la importación, almacenamiento y procesamiento de información hidrológica en bases de datos Microsoft Access 2000 (Vauchel, 2007a). Además, facilita el ajuste de curvas de calibración y la generación de series temporales relacionadas con niveles hidrológicos (Vauchel, 2007b). A partir de estas series y de la integración de datos de aforos, es posible obtener una curva de gasto, enriquecida con información extrapolada basada en los niveles registrados.

2.7.2. Software Solinst Levelogger

El software Levelogger Solinst versión levelogger 4.6.3 (<https://www.solinst.com/espanol/productos/registradores-automaticos/05-software.php>) es un software diseñado para la programación y descarga de datos de los registradores de nivel de agua Levelogger (Solinst Canada Ltd, 2023b). Permite visualizar y analizar datos de nivel del agua en gráficos y tablas, facilitando su interpretación y análisis. Con características como la compensación de barométrica y la integración de datos de otros sensores, este software es esencial para proyectos de monitoreo de aguas superficiales, proporcionando un manejo eficiente y detallado de la información recolectada (Solinst Canada Ltd, 2023a).

2.7.3. Software Solution NaCl

Solution NaCl (<https://riverhydraulics.riverly.inrae.fr/>) es un software diseñado para facilitar la medición de caudales en ríos mediante la técnica de dilución con sal (Thollet, 2023). El software permite importar datos de campo, realizar cálculos de caudal y generar reportes de las estimaciones en formato PDF. Según (Thollet et al., 2021), la utilización de sal de cocina y un multiparámetro hace que esta técnica sea muy accesible, ya que es poco costosa, rápida de implementar y confiable.

2.7.4. Software River

RIVeR (<https://riverdischarge.blogspot.com/>) es una herramienta desarrollada en Matlab diseñada para la caracterización de flujos de superficie a gran escala mediante la técnica de Velocimetría por Imagen de Partículas a Gran Escala (en adelante LSPIV, por sus siglas en inglés) (Patalano *et al.*, 2017). Esta técnica se emplea para analizar la velocidad superficial del agua y medir el caudal en ríos. El funcionamiento de RIVeR se basa en el procesamiento de secuencias de video para extraer campos vectoriales de velocidad, lo que facilita la estimación precisa de caudales en entornos fluviales (Dobson *et al.*, 2014).

RIVeR se integra con PIVlab, un software especializado en el análisis de imágenes para la realización de estudios PIV (Velocimetría de partículas en imágenes) (Patalano, 2022). La combinación de ambos sistemas permite la rectificación de imágenes captadas en ángulos oblicuos y con deformaciones geométricas, mejorando significativamente la precisión de los resultados obtenidos. Al emplear RIVeR junto con PIVlab, es posible obtener mediciones de caudales más confiables, incluso en escenarios de flujo complejos, como aguas poco profundas, flujos turbulentos y crecidas.

2.7.5. Software Pycharm

PyCharm, desarrollado por JetBrains, es un entorno de desarrollo integrado (IDE) especializado en Python, ampliamente utilizado en la ciencia de datos tanto para el aprendizaje como para la producción (JetBrains, 2024). Este software facilita la creación de gráficos científicos mediante su integración con bibliotecas como Matplotlib y Seaborn, que permiten analizar y visualizar datos a través de instrucciones precisas en código.

2.7.6. Software ArcGIS

ArcGIS es un software que permite crear mapas temáticos y gestionar datos geoespaciales. Permite el análisis y visualización de datos espaciales, facilitando la creación de mapas cartográficos detallados (Esri, 2016).

2.7.7. Software Microsoft Excel

Microsoft Excel, una aplicación desarrollada por Microsoft Corporation, se destaca como una herramienta esencial para el procesamiento y representación gráfica de datos numéricos (Microsoft Corporation, 2019). Su versatilidad se extiende a la creación de plantillas configurables para la importación de datos en diversos formatos.

2.7.8. Software Hydrognomon

Hydrognomon (<https://hydrognomon.openmeteo.org/>) es un software de código abierto desarrollado por la Universidad Técnica Nacional de Atenas (Kozanis et al., 2010), que permite analizar series temporales. Esta herramienta facilita la evaluación de la confiabilidad de los datos mediante la aplicación de pruebas estadísticas que determinan las distribuciones que mejor se ajustan a la muestra de datos.

III. METODOLOGÍA

La metodología de análisis hidrométrico consta de varias etapas. Primero, se realiza un reconocimiento de campo para identificar las características hidrológicas de la zona. Luego, se activan estaciones hidrométricas para recopilar datos en tiempo real y se ejecutan aforos de caudales. A partir de estos datos, se desarrollan curvas de gasto líquido mediante el Hydraccess y se estima la incertidumbre para evaluar la precisión de los resultados. La investigación se organiza en tres etapas, como se muestra en la Figura 12.

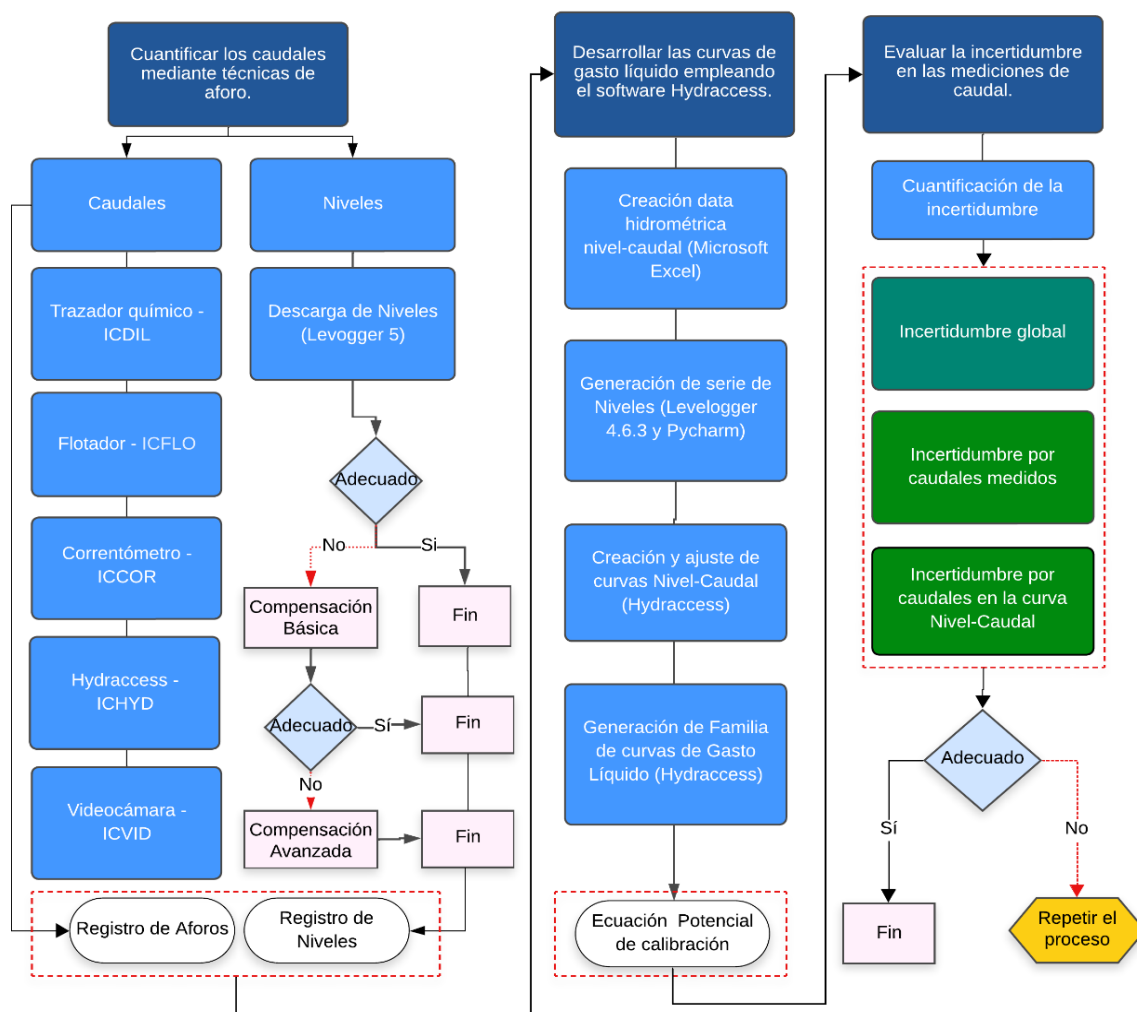


Figura 12: Diagrama de flujo de la metodología para cumplir los objetivos de la investigación

3.1. Zona de estudio

Este estudio se realizó en las cinco estaciones hidrométricas del IGP, ubicadas en tres regiones del Perú. En Ayacucho, las estaciones Luricocha y Huancayocc; en Cajamarca, la estación Sexemayo Lote 1; y en Puno, las estaciones Charamaya y Conaviri. El área de investigación incluye las subcuencas de los ríos Huancayocc y Luricocha en el distrito de Huanta, Ayacucho; el río Tres Ríos en el distrito de Cajamarca; y los ríos Charamaya y Conaviri en el distrito de Mañazo, Puno.

La subcuenca Huancayocc en Huanta (ver Figura 13), Ayacucho, abarca 80 km², lo que constituye el 49 % del área del distrito, que es de 165 km². La cuenca Luricocha en el distrito de Luricocha, Ayacucho, ocupa 40 km², equivalente al 29 % del área del distrito, que es de 142 km². La cuenca Tres Ríos en Cajamarca (ver Figura 14) tiene un área de 55 km², representando el 15 % del área total del distrito, que es de 379 km². En Mañazo, Puno, la cuenca Charamaya (ver Figura 15) cubre 107 km², representando el 26 % del área total del distrito, que es de 410 km². Finalmente, la cuenca Conaviri en Mañazo abarca 156 km², lo que representa el 38 % del área del distrito.

Las estaciones hidrométricas fueron instaladas estratégicamente en las subcuencas seleccionadas, considerando criterios como la accesibilidad al río para facilitar la medición de caudales, la proximidad a asentamientos cercanos para contar con observadores locales que contribuyan a su resguardo y la ubicación en puntos seguros que minimicen la exposición a zonas de máxima velocidad de flujo. Esta planificación resulta fundamental para evitar la pérdida o el desplazamiento de las estaciones durante eventos hidrometeorológicos extremos, garantizando la continuidad y fiabilidad del monitoreo.

Cada subcuenca tiene una estación hidrométrica operada y supervisada por el IGP. Para una localización precisa de cada estación, se dispone de información de coordenadas. La Tabla 1 presenta la ubicación detallada de las estaciones hidrométricas en las respectivas zonas de estudio.

Tabla 1: Estaciones Hidrométricas y su localización política

Estación	Departamento	Provincia	Distrito
Huancayocc	Ayacucho	Huanta	Huanta
Luricocha	Ayacucho	Huanta	Luricocha
Sexemayo Lote 1	Cajamarca	Cajamarca	Asunción
Charamaya	Puno	Puno	Mañazo
Conaviri	Puno	Puno	Mañazo

A continuación, se presenta información cartográfica sobre la ubicación de las estaciones hidrométricas, así como datos sobre las elevaciones obtenidas a partir de un modelo de elevación digital, la red hidrográfica de cada subcuenca.

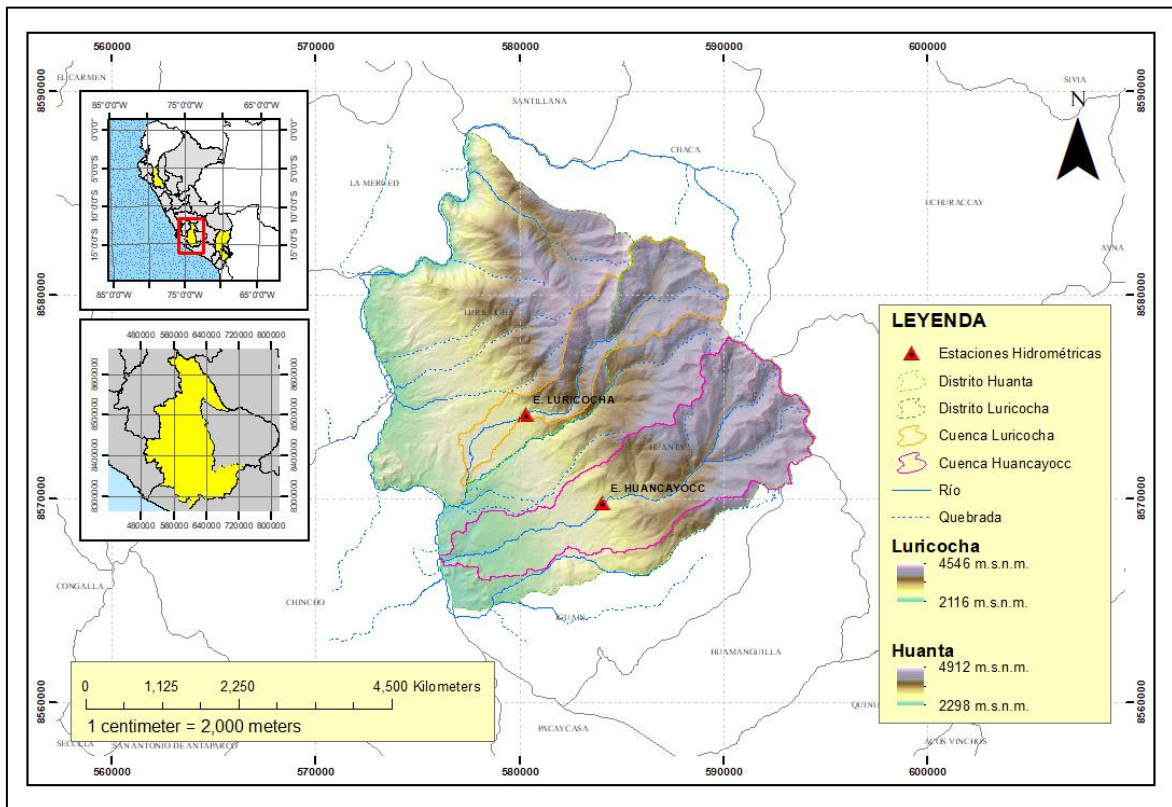


Figura 13: Estaciones hidrométricas en los distritos de Luricocha y Huanta, Ayacucho

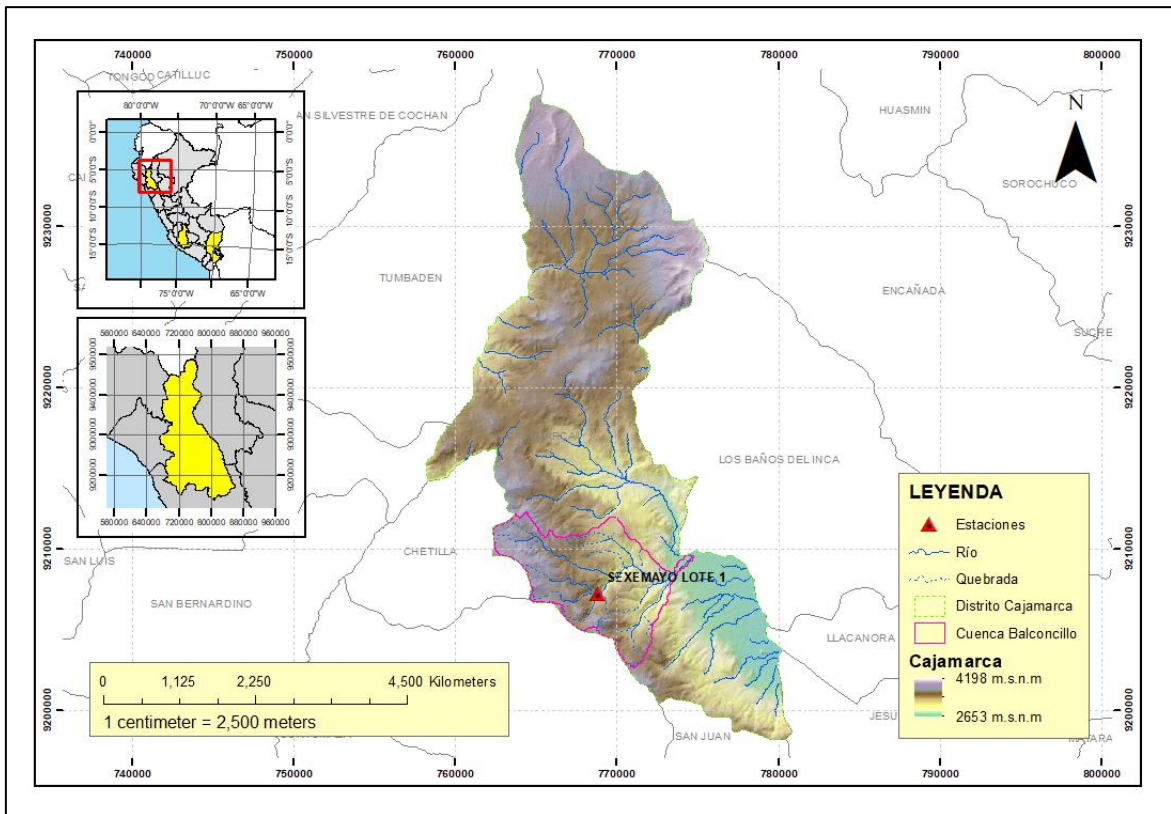


Figura 14: Estación hidrométrica en el distrito de Cajamarca, Cajamarca

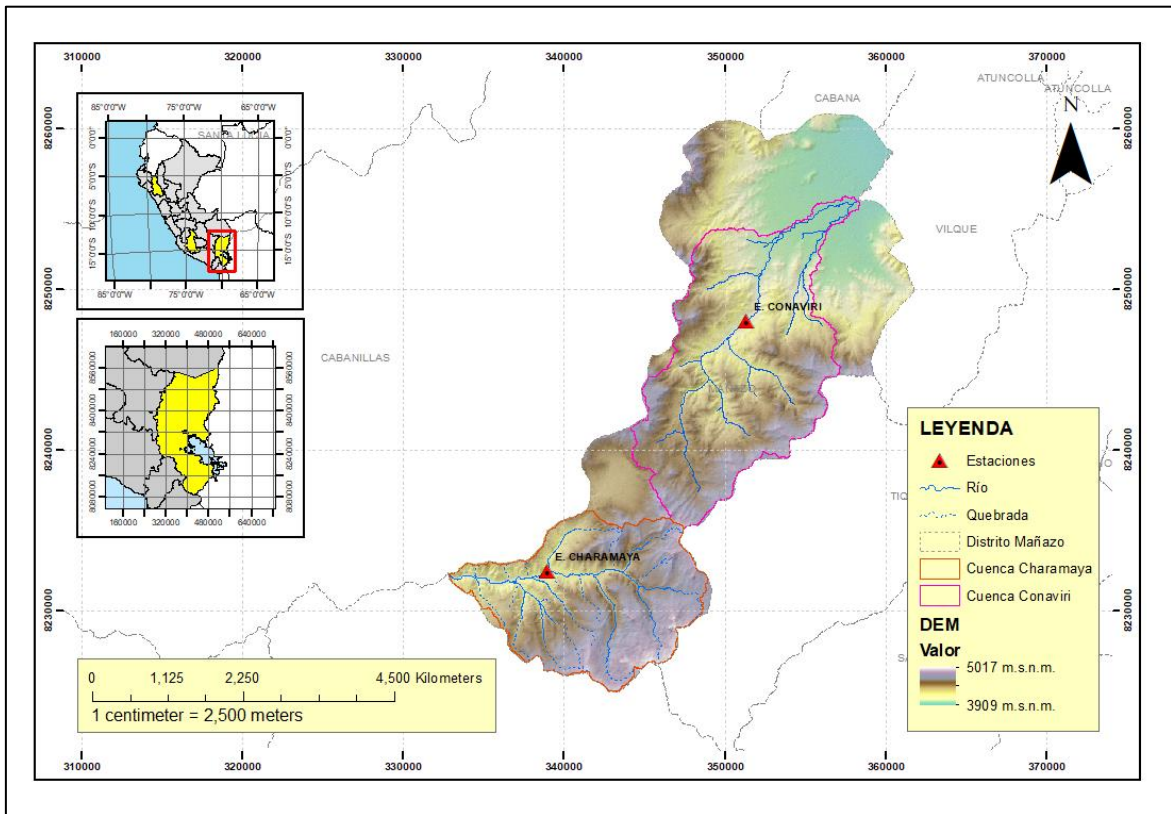


Figura 15: Estaciones hidrométricas en el distrito de Mañazo, Puno

3.2. Equipos, materiales, insumos y softwares

3.2.1. Equipos de campo

- Correntómetro OTT MF pro
- Multiparámetro Hanna
- Sonda multiparamétrica EXO – YSI
- Sonda multiparamétrica ProDSS – YSI
- Cámara de un teléfono móvil o videocámara o Drone.
- Sensores Levellogger 5 – SOLINST
- Cable de descarga SOLINST

3.2.2. Materiales

- Varillas de acero
- Overol impermeable
- Flexómetro de 50 m
- Soga delgada de 50 m
- Trípode para cámara
- Libreta de apuntes

3.2.3. Insumos

- Sal de Cocina por saco
- Agua destilada
- Buffer de calibración de potencial de hidrógeno HANNA de 4.01, 7.01 y 10.01 de pH.
- Buffer de calibración de conductividad YSI 3161 de 1000 microsiemens/cm
- Buffer de calibración de turbidez YSI 6073G de 0, 126 y 1000 NTU.

3.2.4. Materiales de gabinete

- Estación de trabajo (CPU ThinkStation) del IGP.
- Información hidrométrica, proporcionado por el IGP.
- GeoData base de las subcuencas, proporcionado por el IGP.
- Libreta de apuntes

3.2.5. Software

- Hydraccess 7.1
- Levelogger 4.6.3
- Microsoft Excel 2019
- Pycharm 2024.1.4
- ArcGIS 10.5
- RIVeR 2.6
- SolutionNaCl 2.41
- Hydrognomon 4

3.3. Metodología para aforos en campo y monitoreo del nivel de agua

El IGP cuenta con hidromensores y observadores en cada subcuenca estudiada para garantizar el monitoreo continuo. En las estaciones hidrométricas, los hidromensores son responsables de realizar mediciones de caudal, registrar los niveles de agua, levantar secciones transversales, y dar mantenimiento a los equipos hidrométricos. Toda la información recopilada en campo es enviada a la base de datos central del IGP, donde se somete a un proceso de pretratamiento y validación para asegurar la calidad de los datos.

El monitoreo del nivel se realiza mediante técnicas manuales y computarizadas. Durante los días de aforo, el tirante de agua se mide manualmente con un flexómetro, mientras que los sensores Levelogger y Barologger registran datos de manera automatizada minuto a minuto, los cuales son descargados posteriormente para su análisis.

Para la estimación precisa de los caudales, se implementarán diversos métodos, tales como el uso de correntómetro, flotador, trazador de dilución salina y videocámara basada en el método LSPIV. Cada uno de estos métodos tiene un propósito específico para asegurar la precisión de las mediciones. El correntómetro permitirá obtener mediciones de velocidad con alta precisión, mientras que el flotador será una alternativa viable en condiciones donde los métodos más invasivos resulten imprácticos. Los sensores de conductividad eléctrica, en conjunto con el trazador de dilución salina, serán empleados en flujos turbulentos o con características no uniformes para mejorar la detección de variaciones en la velocidad. Asimismo, el uso de videocámaras facilitará la captura de imágenes detalladas del flujo de agua, permitiendo un análisis visual de la dinámica fluvial a partir del procesamiento de píxeles en movimiento en las estaciones seleccionadas.

3.4. Cuantificación de caudales mediante métodos de aforo

Para determinar la cuantificación se realizó los aforos de correntómetro, flotador, trazadores químicos y videocámara. Para obtener los caudales se establecen los siguientes protocolos que evidencia el cómo se desarrolla cada método de aforo.

3.4.1. Protocolo por el método del correntómetro

Para hallar la velocidad media el equipo es sumergido a 0.2 y 0.8 veces la profundidad en cada vertical de la sección transversal.

3.4.1.1. Fase campo

1. Se instaló una cuerda que marca la sección transversal del río de izquierda a derecha.
2. Se determinó la cantidad de verticales según la anchura del río.
3. El correntómetro se coloca en dirección contraria a la corriente, evitando turbulencias, para registrar las velocidades a diferentes profundidades, calculando la media mediante un promedio.
4. En cada vertical se mide la velocidad a 0.2 y 0.8 veces la profundidad del agua, repitiendo el proceso en todas las verticales.
5. Se registran los datos del correntómetro en un cuaderno de campo, incluyendo las velocidades y las profundidades.

3.4.1.2. Fase gabinete

1. Se transfiere la información del cuaderno de campo a una base de datos en Microsoft Excel.
2. Se emplea la ecuación 8 para calcular el caudal de cada sección en la vertical.
3. La descarga estimada en el río se obtiene sumando los caudales parciales entre cada vertical con la ecuación 7.
4. Finalmente, se estima el coeficiente (k) usando la ecuación 14.



Figura 16: Realización de aforo con correntómetro

Nota: El aforo se realizó en la subcuenca de Huancayoc, en la figura se muestra a la margen izquierda al Ing. Kitnher Espinoza y a la derecha Bach. Kevin Narváez

3.4.2. Protocolo por el método trazador químico

Según Hudson & Fraser, (2002) indica consideraciones a seguir cuando aforamos con trazadores químicos.

3.4.2.1. Fase de campo

Toma de datos de conductividades eléctricas ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y concentración de sal (mg/L) para generar curva de calibración del software Solution NaCl:

1. Se extrae una muestra de agua del río en un balde de 20 litros, y se mide la conductividad eléctrica (CE) inicial. Luego se añaden 5 g de sal, y se vuelve a medir la CE. Este proceso se repite añadiendo otros 5 g de sal en cada ocasión, hasta alcanzar un total de 25 g acumulados en la muestra.
2. Los datos obtenidos de la CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la concentración de sal en mg/L durante la calibración se representan en una gráfica.

Aforo trazador químico empleando sal de mesa:

1. Se utiliza la sal de mesa como trazador químico.
2. En un balde, se disuelve la sal en una proporción de 1g por cada litro de agua, según

- el caudal del río.
3. Se transporta la disolución río arriba de la estación, calculando la distancia mediante la ecuación 11.
 4. El primer hidromensor verterá la solución salina en un área con turbulencia para asegurar su correcta mezcla.
 5. El segundo hidromensor, ubicado río abajo, sumergirá el equipo multiparámetro para registrar las mediciones de conductividad eléctrica (CE).
 6. El tiempo de registro dependerá de la concentración de sal en el río, ya que la CE aumentará rápidamente al principio y luego disminuirá. El aforo se finaliza cuando la CE se aproxima a los valores iniciales.



Figura 17: Calibración método trazador químico

Nota: La calibración se realizó al margen del río Huancayocc, en la imagen de izquierda a derecha: Ing. Jhon Orrillo y Bach. Kevin Narváez, la cual se está realizando la toma de datos de las conductividades eléctricas y concentración de sal.



Figura 18: Búsqueda de zonas turbulentas aguas arriba para vertimiento de la solución salina

Nota: Búsqueda de zonas turbulentas aguas arriba para vertimiento de la solución salina. En la imagen de izquierda a derecha, Bach Kevin Narváez y Ing. Jhon Orrillo.



Figura 19: Mezcla de la solución saturada previo al vertimiento

Nota: La mezcla debe ser totalmente homogénea, asegurándose de que no queden restos de sal en el fondo del recipiente. En la fotografía, aforo realizado por Bach. Kevin Narváez.



Figura 20: Vertimiento de la solución salina, aguas arriba de la estación hidrométrica Huancayocc

Nota: El vertimiento debe realizarse de manera rápida y en una sola acción, asegurando que no permanezcan restos de sal en el interior del recipiente. En la fotografía, aforo realizado por Bach. Kevin Narváez.



Figura 21: Registro de datos de las conductividades eléctricas producto de la solución salina mezclada con el flujo del río

Nota: Aguas abajo del vertimiento se registra las conductividades eléctricas. El equipo utilizado fue un medidor de conductividades eléctricas HANNA, mediciones Ing. Kitnher Espinoza

3.4.2.2. Fase gabinete

1. La información registrada por los conductímetros será descargada y tratada en el Microsoft Excel.
2. Se elaboran las plantillas de calibración que relacionan la conductividad eléctrica con la concentración de sal, y otra plantilla que registra el tiempo en segundos frente a las conductividades eléctricas, para ser cargadas en el software SolutionNaCl.

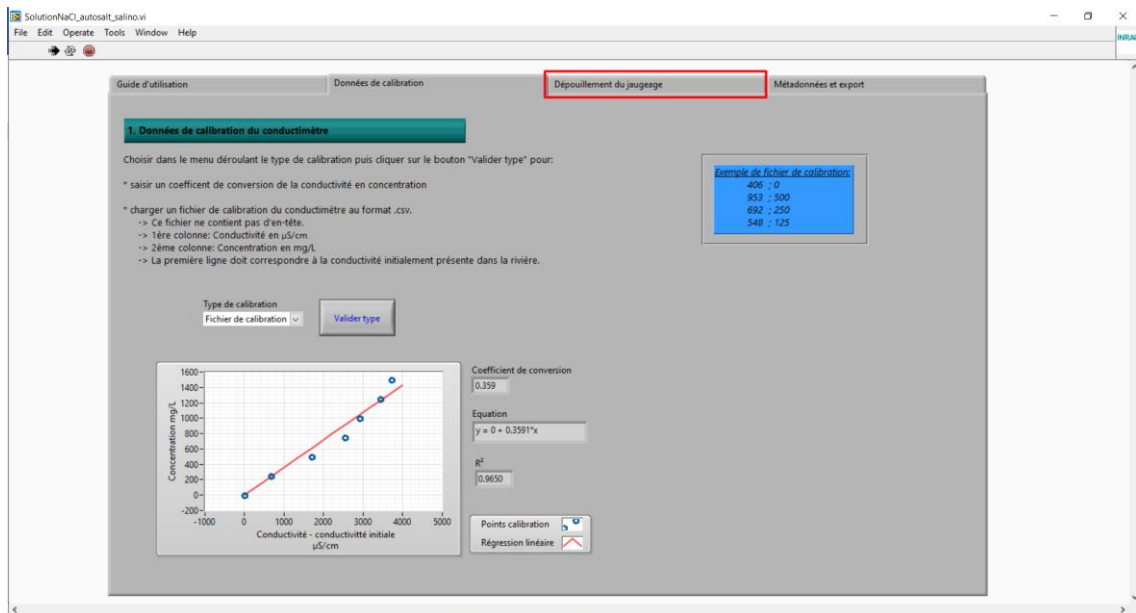


Figura 22: Plantilla de conductividad eléctrica vs concentración de sal

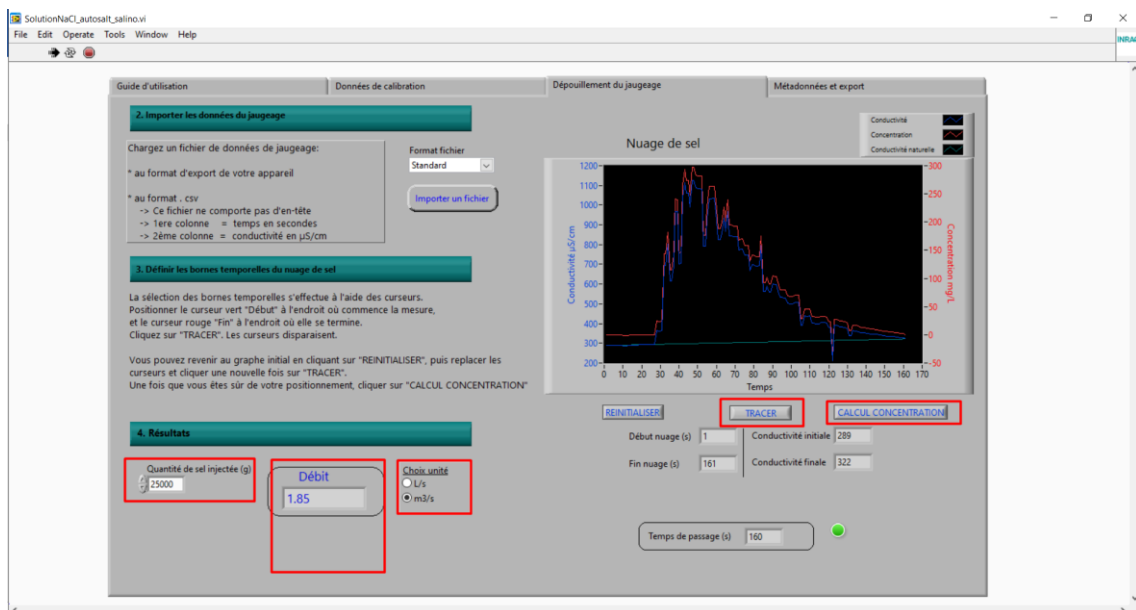


Figura 23: Generación de curva conductividad eléctrica vs tiempo, asimismo el valor estimado de caudal en m3/s

3.4.3. Protocolo por el método de flotador

3.4.3.1. Fase campo

Según Gore & Banning, (2017), la metodología del flotador consiste en los siguientes pasos:

1. Se establece 2 puntos de referencia, distantes 20 metros (L) para garantizar 20 segundos de recorrido, marcando con estacas o cuerda.
2. Se usa objetos poco boyantes para medir la velocidad, minimizando influencia del viento.
3. Se introduce el flotador corriente arriba, dividiendo el flujo en tercios si la sección del río es amplia.
4. Se cronometra el tiempo de desplazamiento para calcular la velocidad superficial usando la ecuación 12.
5. Se aplica un factor K (de entre 0.8 a 0.9) para obtener la velocidad media usando la ecuación 13.
6. Empleando la velocidad media y área, se calcula el caudal mediante el método de velocidad-área.



Figura 24: Recolección de información de tiempo y distancia en que los flotadores recorren los 2 puntos de referencia

3.4.3.2. Fase gabinete

1. En una hoja de Excel se introduce los datos tomados en campo como fecha, tiempo de recorrido, tiempo promedio que recorrió el flotador, distancia recorrida, velocidad superficial, velocidad media, coeficiente de velocidad y ancho del río y área.
2. Usando las ecuaciones 12, 14, 15 y 16 se estimará la descarga para cada aforo.

Fecha	Hora		Trabajador de Campo							Trabajo gabinete						
			Tiempo (seg)							Distancia recorrida por el flotador	Velocidad (m/s)			Ancho de río(m)	Área(m ²)	Caudal (m ³ /s)
			Margen Derecha	Margen Centro 1	Margen Centro 2	Margen Centro 3	Margen Izquierda	Tiempo Promedio	V _{superficial}		V _{media}	Profundidad promedio(m)				
f1	f2	f3	f4	f5	Tp (seg)	d(m)	V _s = d/tp	V _m = V*0.85	hp	a	A = hp x a	Q = V _m x A				
24-feb-2023	17:30		10,90	11,35	12,91	10,81	10,57	11,31	26,00	2,30	1,95	0,80	16,76	13,41	26,20	
24-feb-2023	17:35		6,70	8,45	15,91	8,45	11,59	10,22	26,00	2,54	2,16	0,80	16,76	13,41	28,99	

Figura 25: Ejemplo de trabajo en gabinete por el método del flotador

Fuente: (IGP, 2024).

3.4.4. Protocolo por el método del video-cámara

El método de video cámara está determinado por LSPIV, la cual permiten estimar el flujo vectorial de velocidades y el caudal respectivamente (Patalano *et al.*, 2017). Mediante esta metodología es posible la estimación del caudal a partir de la técnica LSPIV aplicado en flujo a superficie libre (Dobson *et al.*, 2014).

3.4.4.1. Fase campo

1. Realizar la medición del área hidráulica del río durante la primera fase.
2. Identificar la ubicación de los puntos de control y determinar la posición de la cámara.
3. Obtener el video, asegurándose de que los puntos de control ya medidos estén presentes.



Figura 26: Grabación de video para tomar datos de velocidad del flujo superficial

Nota: Los videos pueden ser grabados con cualquier equipo o dispositivo que tenga una cámara, como drones, cámaras digitales, videocámaras o teléfonos móviles.

3.4.4.2. Fase gabinete

Extracción de imágenes:

1. Utilizar el software RIVeR para extraer las imágenes.
2. Evaluar y configurar parámetros iniciales como fotogramas por segundo, tiempo de grabación y resolución y grado de escala de grises.
3. Extraer imágenes del video.

Procesamiento de Imágenes:

4. Utilizar el software PIVlab para procesar las imágenes extraídas.
5. Definir el campo vectorial, especificando el área a evaluar para el flujo.
6. Realizar el análisis vectorial del flujo y calcular la velocidad superficial.

Ortorectificación en el Plano 2D:

7. Volver al software RIVeR para la tercera etapa.
8. Ejecutar la ortorectificación en el plano 2D.

9. Importar la información de la sección transversal.
10. Establecer el factor "k" y calcular la descarga del caudal.

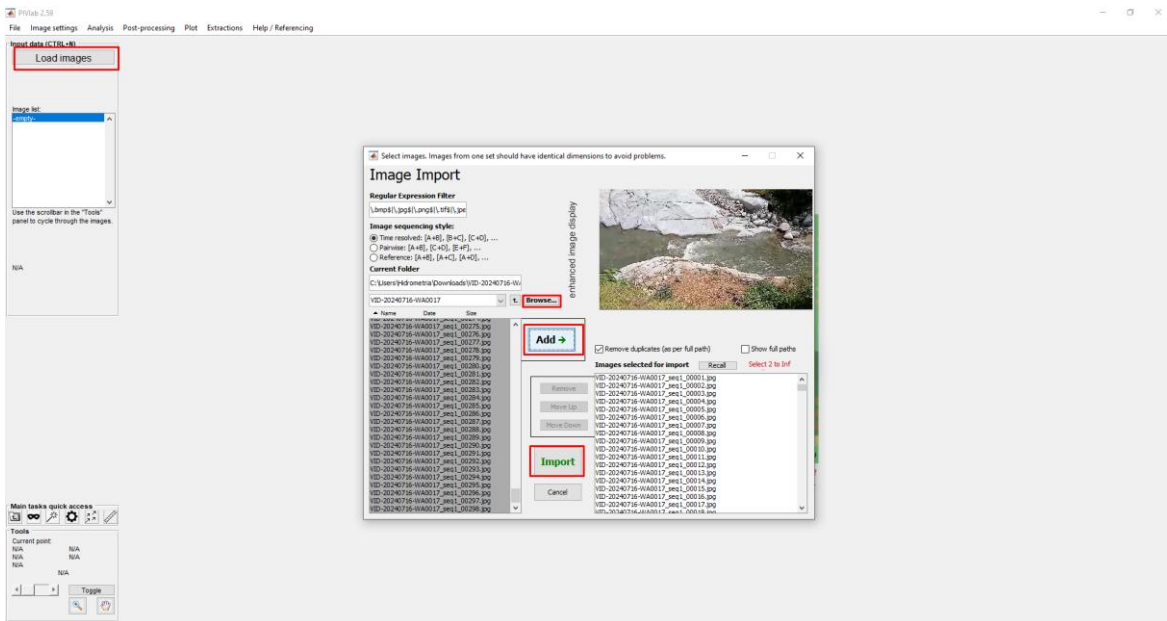


Figura 27: Importación de fotogramas para el análisis vectorial en RiVER

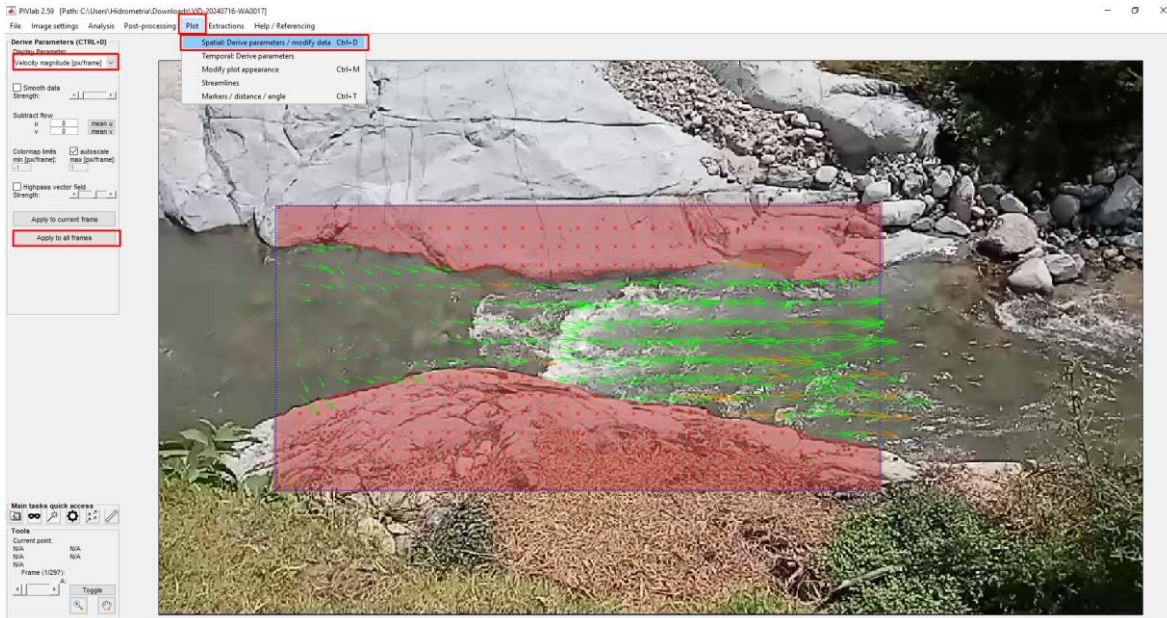


Figura 28: Análisis vectorial de los píxeles del flujo del flujo superficiales en PIVlab

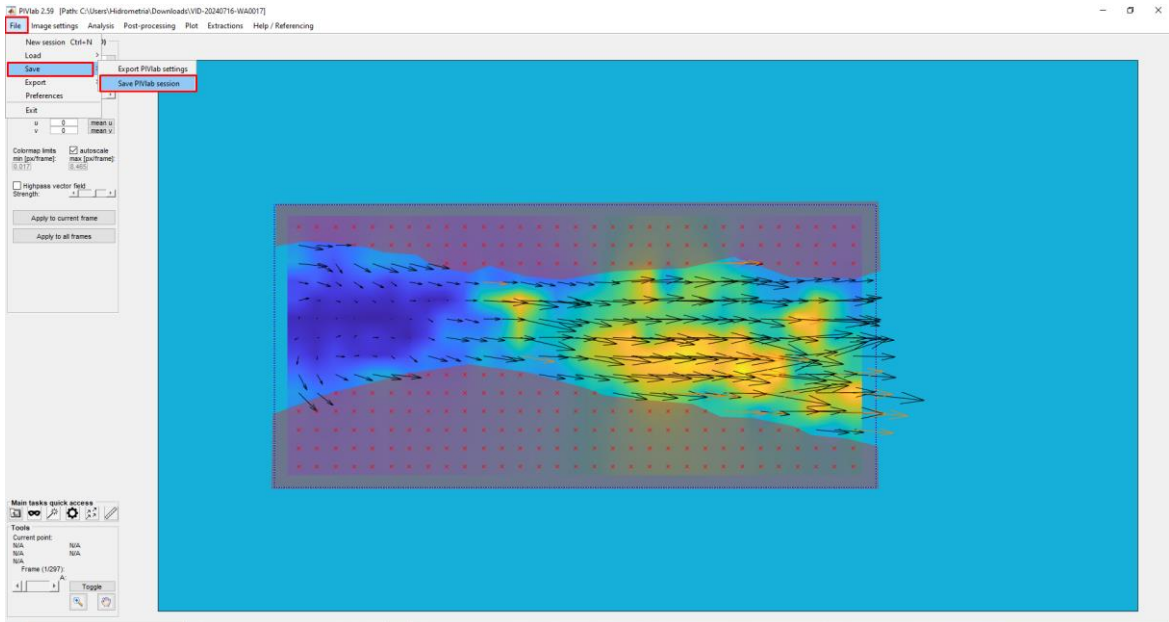


Figura 29: Visualización de las velocidades píxeles/fotograma en PIVLab

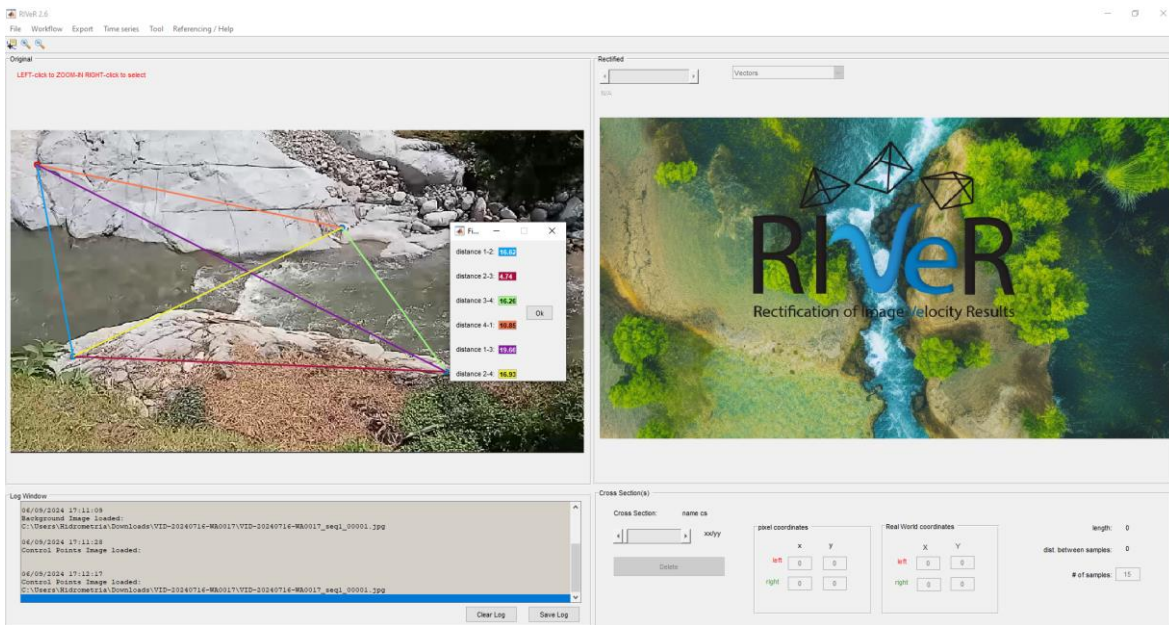


Figura 30: Digitalización de puntos de control de campo para rectificación de imágenes con el objetivo de convertir las velocidades de píxeles/fotograma a metros/segundos

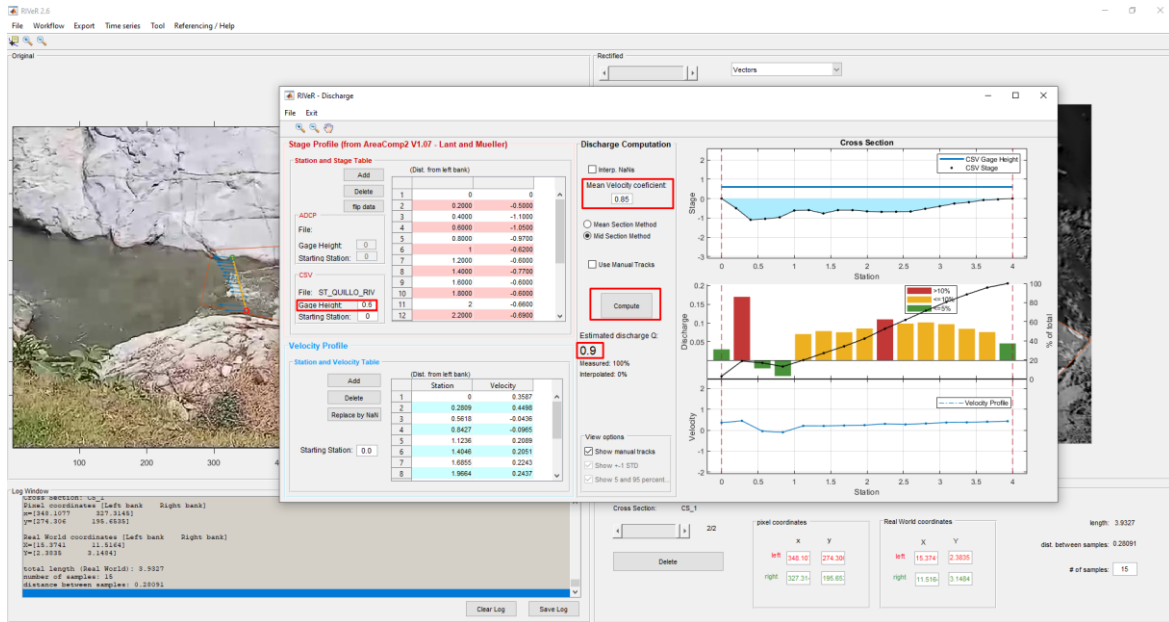


Figura 31: Importación de sección transversal (m2) y estimación de caudal (m3/s)

3.5. Compensación de serie de niveles

El proceso de recolección de datos comenzará con la medición de niveles, que se descargarán usando el software Levelogger 4.6.3 para generar la serie de niveles. Estos niveles serán analizados para identificar posibles errores sistemáticos. Si se encuentran discrepancias, se aplicará una compensación básica o avanzada usando un "Offset" para alinear los niveles computarizados con las mediciones manuales. Dependiendo del ajuste necesario, se puede optar por una compensación barométrica básica o ajustes más avanzados, incluyendo ajuste manual y parametrización precisa según las necesidades de cada estación (Solinst Canada Ltd, 2023).



Figura 32: Descarga de información de niveles de agua del Levelogger a PC

Nota: La descarga de información de niveles se realiza generalmente cada 90 días.

3.6. Compensación básica

La serie de niveles que tiene relación con las mediciones de control realizadas con el flexómetro solo necesitará realizar una compensación básica. A continuación, se muestran los pasos para realizar la compensación barométrica en el software Levelogger Solinst.



Figura 33: Selección del método de compensación

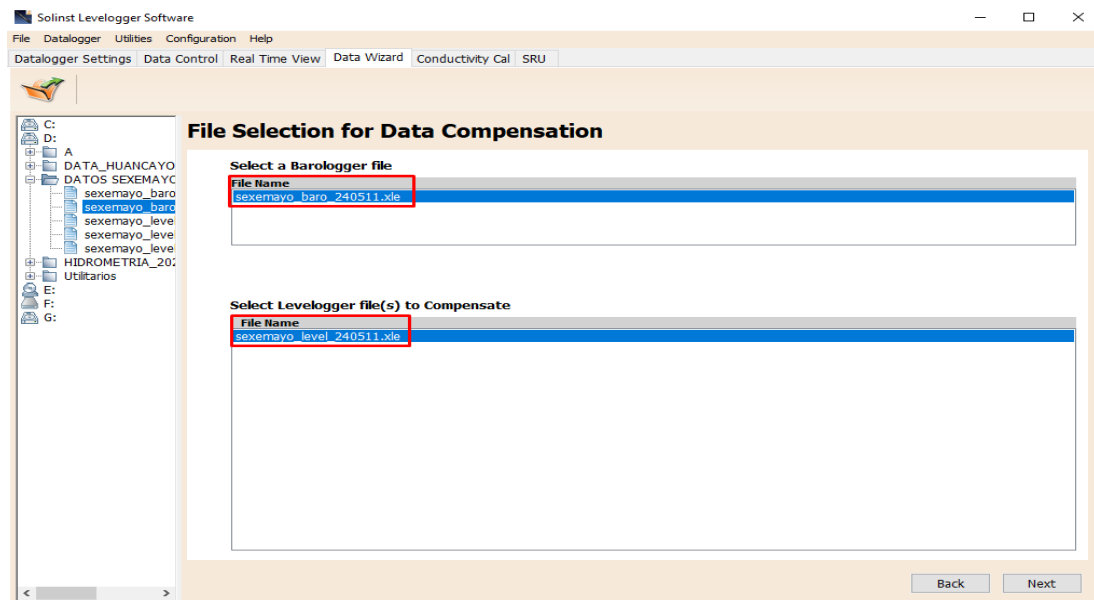


Figura 34: Selección de los archivos descargados para Barologger y Levelogger

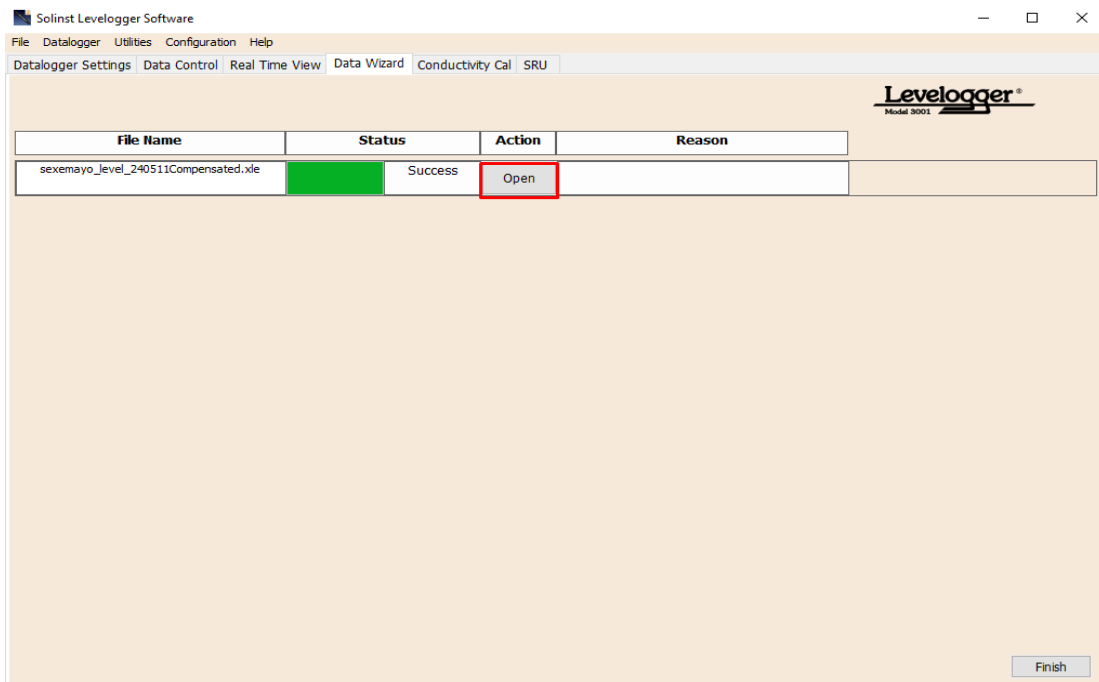


Figura 35: Abrir la pestaña de visualización para ver los niveles compensados

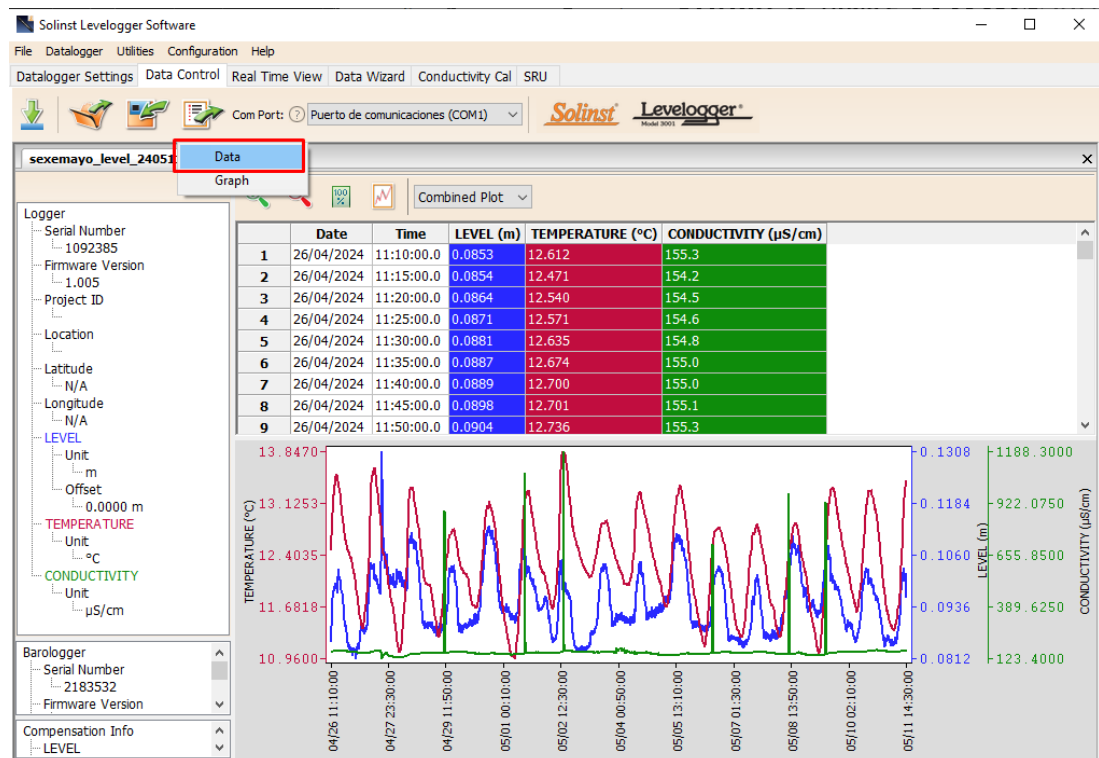


Figura 36: Descarga de la información en Excel para un mejor análisis y filtrado de serie de niveles

3.7. Compensación avanzada

La serie de niveles que requiere un factor de corrección, conocido como "Offset", debe ser ajustada mediante una compensación avanzada, la cual implica aplicar un valor específico basado en las mediciones manuales realizadas con el flexómetro.

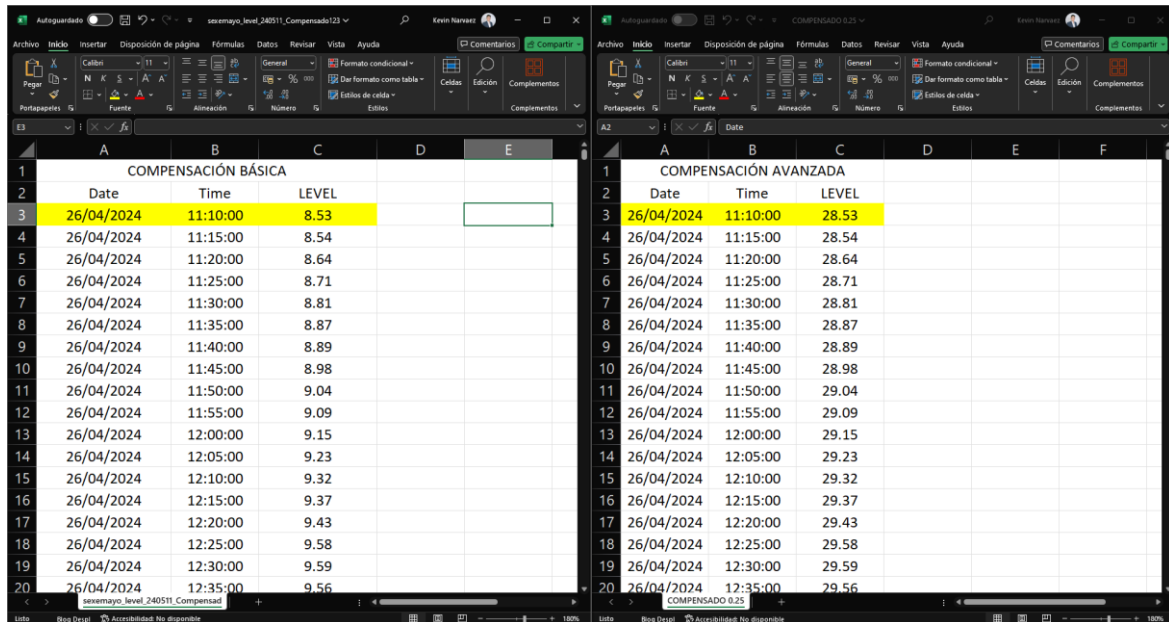


Figura 37: Comparación entre compensación básica y avanzada

Nota: La gráfica de la izquierda muestra la serie de niveles sin ajuste, mientras que la gráfica de la derecha refleja un ajuste de 20 cm, realizado tras comparar con los niveles reales medidos con el flexómetro.

3.8. Desarrollo de la curva de gasto líquido

Las mediciones implicarán la creación de curvas de gasto utilizando datos hidrométricos de niveles y caudales, procesados con el software Hydraccess para generar series de niveles instantáneos y curvas de calibración nivel-caudal. Los aforos se ingresarán en Hydraccess mediante plantillas de importación, usando captores específicos para cada técnica: ICCOR para correntómetro, ICHYD para caudales en Hydraccess, ICDIL para trazador químico, ICFLO para flotador e ICVID para videocámara. El código ICGAS se utilizará para un captor que combina los cinco métodos, con el fin de crear una curva de calibración general. Se ajustarán curvas de calibración individuales y generales usando una ecuación potencial (ecuación 2). Cada estación tendrá los cinco captores, y la curva principal será determinada por el captor ICGAS.

A continuación, se presenta la información del pretratamiento, validación y obtención de información hidrométrica en el software de Hydraccess. Las siguientes figuras muestran capturas de pantalla del proceso, detallando los pasos clave y las funcionalidades empleadas.

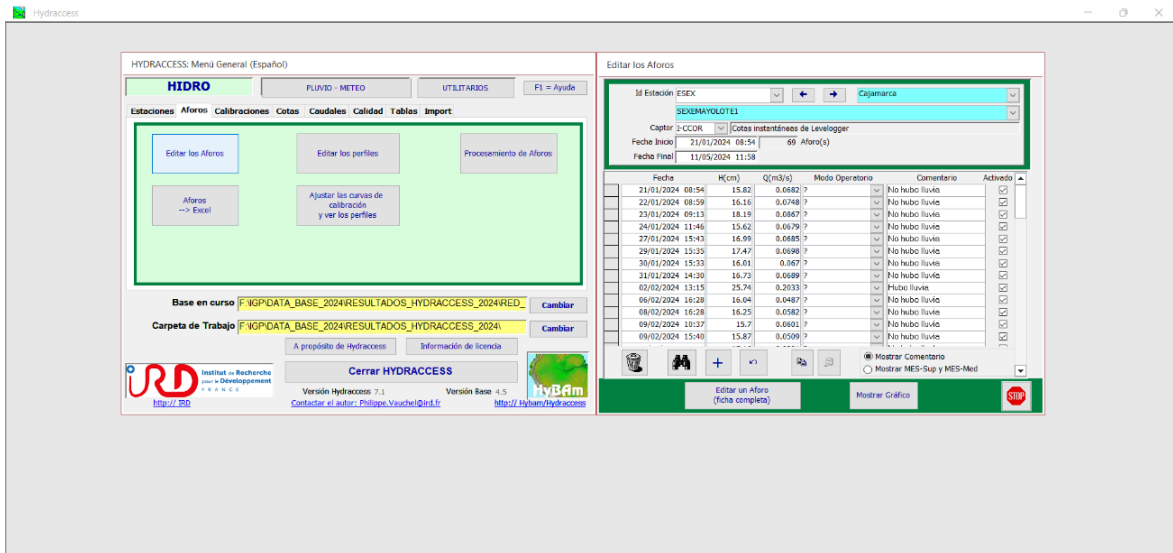


Figura 38: Digitalización y edición de aforos estación Sexemayo lote 1

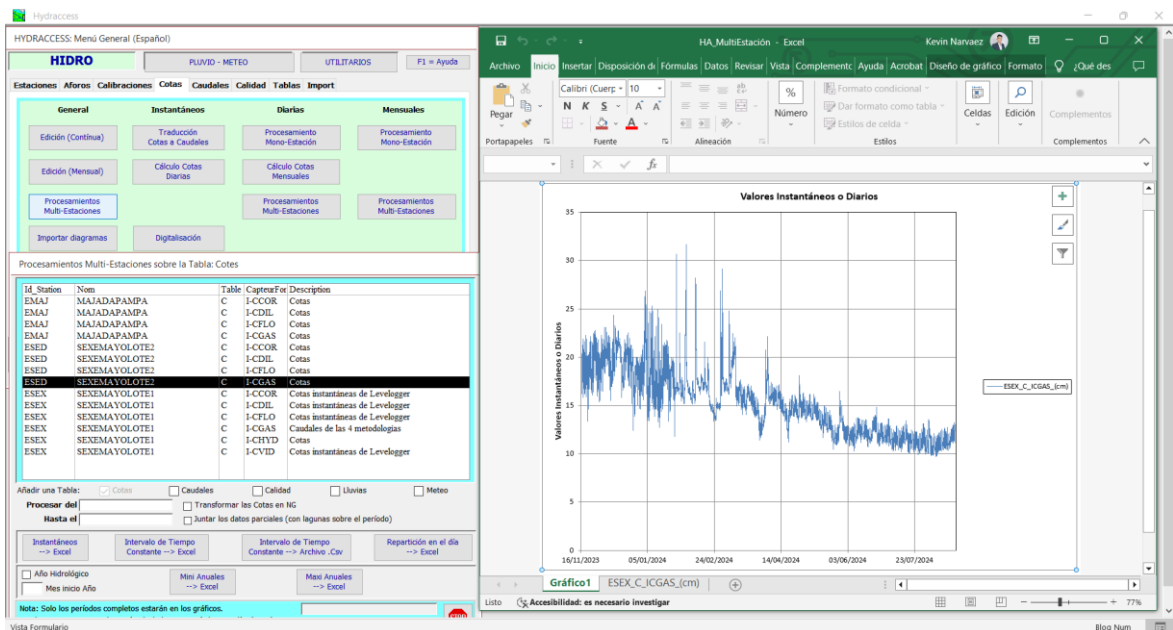


Figura 39: Ingreso y generación de la serie de niveles estación Sexemayo Lote 1

3.9. Traducción utilizando las curvas de calibración

Cuando las curvas de calibración nivel-caudal están correctamente definidas, se emplean para estimar la serie de caudales mediante la conversión de niveles a caudales. Este proceso consiste en transformar los datos registrados por un sensor de entrada utilizando una curva de calibración, con el objetivo de generar datos que se almacenarán bajo el sensor de salida calibrado.

Los niveles registrados por las estaciones serán convertidos a través de la curva potencial correspondiente a cada curva de calibración. El resultado será una serie temporal de caudales, asociada a las fechas en que se registraron los niveles. Este procedimiento se lleva a cabo utilizando la opción de traducción de niveles a caudales para las cinco estaciones, empleando el captor ICGAS.

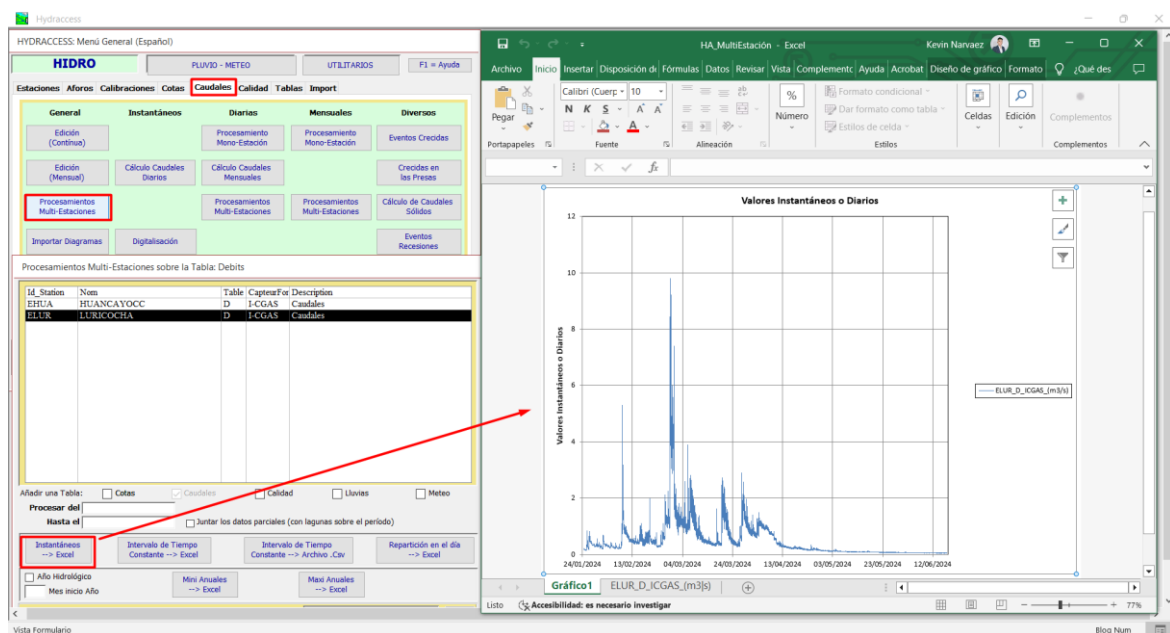


Figura 40: Traducción de niveles a caudales y generación de serie temporal de caudales

3.10. Incertidumbre en las mediciones de caudal

En el análisis de la incertidumbre se considerarán las incertidumbres asociadas a la medición del nivel del agua, las mediciones de caudal y la precisión del ajuste de las curvas de calibración. Para este propósito, se utilizarán las siguientes fórmulas:

3.10.1. Incertidumbre en la medición de niveles de agua

La incertidumbre de los niveles se estimará con la sustracción de los caudales estimados por la estación hidrométrica y los niveles observados por los hidromensores.

$$D_i = H_s(i) - H_r(i) \quad (17)$$

D_i = Incertidumbre por medición de niveles de agua

H_s = Nivel del sensor

H_r = Nivel observado

3.10.2. Evaluación de la incertidumbre global en caudales

La incertidumbre global se estimará mediante la fórmula que suma la incertidumbre producida por el error existente en los caudales medidos y los errores generados por la curva de gasto.

$$\varepsilon(Q(x,t)) = \varepsilon_1(Q(x,t)) + \varepsilon_2(Q(x,t)) \quad (18)$$

ε_1 = Incertidumbre por mediciones de caudales

ε_2 = Incertidumbre por curva de calibración nivel-caudal

3.10.3. Evaluación de la incertidumbre de caudales medidos (ε_1)

La cuantificación se realizará mediante la ecuación 19.

$$\varepsilon_1 = \left\{ u_{m''}^{*2} + u_{cal}^{*2} + \left(\frac{1}{m''} \right) \left[u_b^{*2} + u_d^{*2} + u_p^{*2} + \left(\frac{1}{n''} \right) (u_{cr}^{*2} + u_e^{*2}) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

ε_1 = Es la incertidumbre estándar porcentual del método velocidad-área.

$u_{m''}^*$ = Incertidumbre en función al limitado número de verticales.

u_{cal}^* = Incertidumbre en función a la calibración del correntómetro.

m'' = Número de verticales.

u_b^* = Incertidumbre en la medición del ancho de la sección transversal.

u_d^* = Incertidumbre en la medición de las profundidades del agua a lo largo de cada vertical en la que se divide la sección transversal del río.

u_p^* = Incertidumbre en el número de puntos de mediciones a lo largo de cada vertical.

n'' = Número de profundidades en la vertical en las que realizan mediciones de velocidad.

u_{cr}^* = Incertidumbre relativa en la velocidad puntual a una profundidad particular en la

vertical debido a la capacidad de respuesta variable del correntómetro.

u_e^* = Incertidumbre relativa en la velocidad puntual a una profundidad particular en la vertical debido a las fluctuaciones de velocidad en la corriente.

3.10.4. Evaluación de la incertidumbre de caudales por la curva calibración nivel caudal (ϵ_2)

La cuantificación de la curva de calibración se realizará mediante la ecuación 20.

$$\epsilon_2 = \frac{Q_g - Q_{rc}}{Q_{rc}} \quad (20)$$

ϵ_2 = Error por la incertidumbre de la curva de gasto

Q_g = Caudal medido en campo

Q_{rc} = Caudal estimado por la curva de calibración nivel caudal

3.11. Análisis estadístico mediante Hydrognomon

Para verificar que los resultados derivados de la serie temporal de caudales cumplan con un ajuste estadístico adecuado, se aplica el Test de Kolmogórov-Smirnov, una prueba no paramétrica que evalúa la concordancia entre la distribución empírica de los datos y una distribución teórica específica. Esta evaluación es crucial para determinar si la serie de caudales sigue un patrón estadístico consistente.

A través de la opción Hydrology-Pythia del software Hydrognomon, se efectúa un análisis estadístico detallado de cada serie temporal de caudal correspondiente a las distintas estaciones hidrométricas. Este análisis incluye la aplicación de múltiples distribuciones de probabilidad, tales como Normal, LogNormal, Pearson III, LogPearson III, L-Moments Pareto y L-Moments EV2-Max, entre otras, a fin de determinar cuál se ajusta mejor a la muestra evaluada.

En este contexto, la investigación desarrollada por Melesse et al. (2021) ofrece un marco teórico que profundiza en los fundamentos matemáticos de dichas distribuciones. En ella, cada función de densidad de probabilidad es definida mediante su correspondiente ecuación matemática, cuyo comportamiento estadístico ha sido implementado y parametrizado en el software Hydrognomon para facilitar el análisis y la evaluación comparativa.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Serie de niveles

La serie de niveles hidrométricos registrada durante la temporada húmeda de 2023-2024 muestra una fuerte correlación con los eventos de precipitación ocurridos en el mismo período. El análisis de esta serie revela una respuesta hidrológica, característica recurrente en cuencas montañosas, donde la escorrentía se intensifica tras episodios de lluvia. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del monitoreo y análisis de los niveles hidrométricos.

Durante la temporada húmeda de 2024 en el río Huancayocc (Ver Figura 41), los niveles oscilaron entre 40 y 140 cm, con una incertidumbre de $\pm 5\%$. El caudal de estiaje se mantuvo entre 30 y 60 cm, evidenciando estabilidad en ausencia de precipitación. El primer pico máximo registrado fue de 144 cm el 25/01/2024 a las 16:58, seguido de un segundo pico de 125 cm el 27/03/2024 a las 18:01, representando las mayores crecidas del periodo húmedo. De abril a agosto, el río mostró condiciones de flujo estable por causa de estiaje.

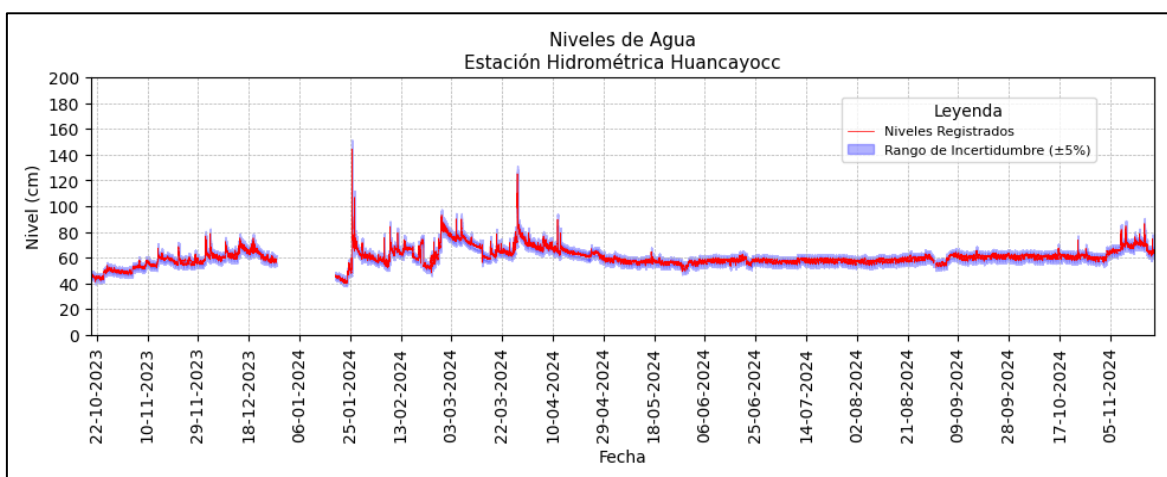


Figura 41: Serie de niveles Estación Huancayocc, Ayacucho

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

Durante la temporada húmeda de 2024 en el río Luricocha (Ver Figura 42), los niveles variaron entre 20 y 120 cm, con una incertidumbre de $\pm 5\%$. El caudal de estiaje se mantuvo entre 20 y 40 cm, reflejando estabilidad en ausencia de precipitaciones. El primer pico máximo fue de 98 cm el 09/02/2024 a la 01:05, seguido de un segundo pico de 125 cm el 28/02/2024 a las 07:58, que representan las crecidas más altas del periodo húmedo. Desde mediados de abril hasta junio, el caudal fue estable debido al estiaje.



Figura 42: Serie de niveles Estación Luricocha, Ayacucho

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

Durante la temporada húmeda de 2023-2024 en el río Tres Ríos (Ver Figura 43), se monitorearon los niveles hidrométricos utilizando dos sensores diferentes. El primer sensor operó entre noviembre de 2023 y febrero de 2024, mostrando fluctuaciones en los niveles entre 15 y 25 cm, sin una tendencia clara. La densidad de los datos fue alta, con pequeñas oscilaciones frecuentes que indicaron un caudal relativamente estable. Al instalarse el segundo sensor en febrero de 2024, se observaron picos más pronunciados que alcanzaron hasta 30 cm, lo que reflejó una mayor sensibilidad del sensor ante eventos de crecida. El nivel máximo registrado fue de 31 cm, medido el 02/02/2024 21:33 con un margen de incertidumbre de $\pm 5\%$. Desde entonces, las fluctuaciones se volvieron más variables, sugiriendo un comportamiento más dinámico del río, aunque sin mostrar una tendencia definida. Desde mediados de marzo hasta mayo, el caudal fue estable debido al estiaje.

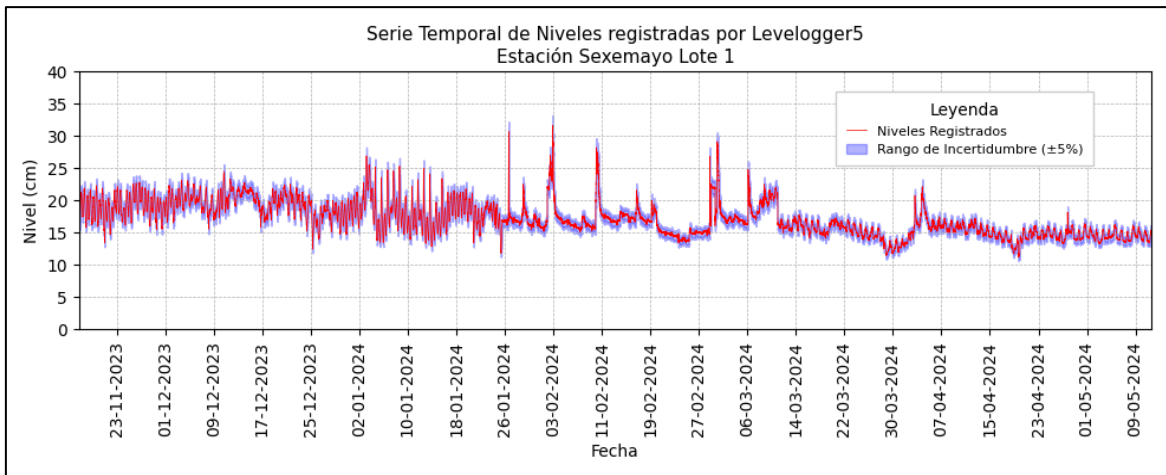


Figura 43: Serie de Niveles Estación Sexemayo Lote 1, Cajamarca

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

Durante la temporada húmeda 2023-2024 en el río Conaviri (Ver Figura 44), los niveles oscilaron entre 10 y 187 cm, con un margen de incertidumbre de $\pm 5\%$. El caudal de estiaje se mantuvo entre 10 y 30 cm, sugiriendo condiciones de flujo estable en ausencia de eventos de precipitación. El máximo nivel alcanzado fue de 188 cm, registrado el 17/03/2024 a las 17:54, evidenciando las máximas crecidas frecuentes para los meses de febrero y marzo.

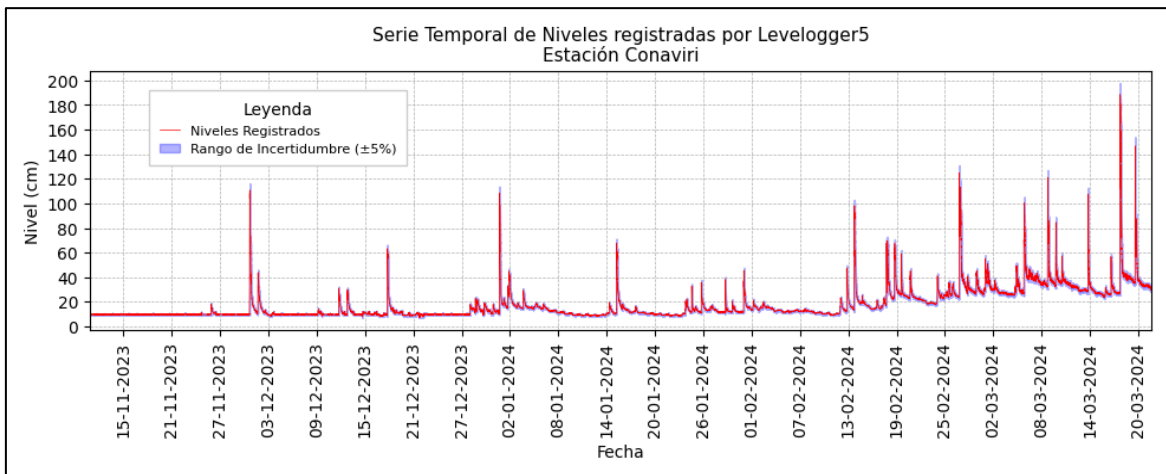


Figura 44: Serie de niveles Estación Conaviri, Puno

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

Durante la temporada húmeda 2023-2024 en el río Charamaya (Ver Figura 45), los niveles oscilaron entre 30 y 127 cm, con una incertidumbre de $\pm 6\%$. El flujo estable se mantuvo entre 30 y 40 cm en ausencia de lluvias. Los niveles máximos alcanzaron 120 cm el 27 de febrero y 127 cm el 17 de marzo de 2024, siendo las crecidas más significativas de esos meses. Desde mediados de abril hasta junio, el caudal se mantuvo estable por el estiaje.

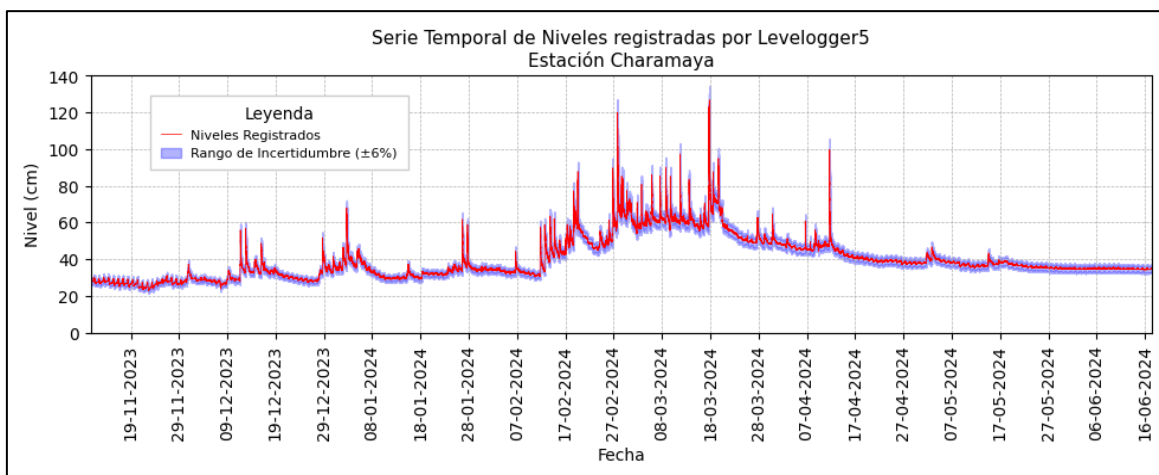


Figura 45: Serie de niveles Estación Charamaya, Puno

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

4.2. Diagrama de dispersión de métodos de aforo

En la estación Huancayocc, las mediciones de caudal máximo fueron obtenidas en fechas específicas de febrero y marzo de 2024, con valores de altura que varían entre 83 y 125 cm, y caudales máximos que oscilan entre 2 y 7 m³/s. Posteriormente, se realizaron mediciones de caudal mínimo en mayo de 2024, donde las alturas registradas varían entre 56 y 57 cm, con caudales mínimos constantes de 0.2 m³/s en todos los puntos de medición. En la Tabla 2 se muestra el resultado de aforos por captor.

Tabla 2: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Huancayocc

Captor	N°	Fecha	Qmin (m3/s)	Date	Qmax (m3/s)
ICCOR	85	9/05/2024 07:35	0.23	28/02/2024 09:00	3.37
ICHYD	67	9/05/2024 07:35	0.20	28/02/2024 09:00	2.47
ICFLO	92	9/05/2024 07:35	0.24	28/02/2024 10:05	1.97
ICDIL	89	2/05/2024 10:37	0.24	29/02/2024 12:43	1.97
ICVID	92	2/05/2024 09:41	0.22	27/03/2024 18:01	6.86

Los cinco métodos de aforo mostraron concordancia en condiciones de bajo caudal. La alta densidad de mediciones fue registrada entre cotas de 50 a 70 cm con caudales inferiores a 1 m³/s. Sin embargo, en condiciones de caudal medio, la densidad de las mediciones se dispersó significativamente. Finalmente, en condiciones de alto caudal, solo el captor ICVID registró caudales alrededor de 7 m³/s. La Figura 46 ilustra la correlación entre los métodos de aforo y sus tendencias posibles entre los captosres ICCOR, ICHYD, ICFLO, ICDIL y ICVID.

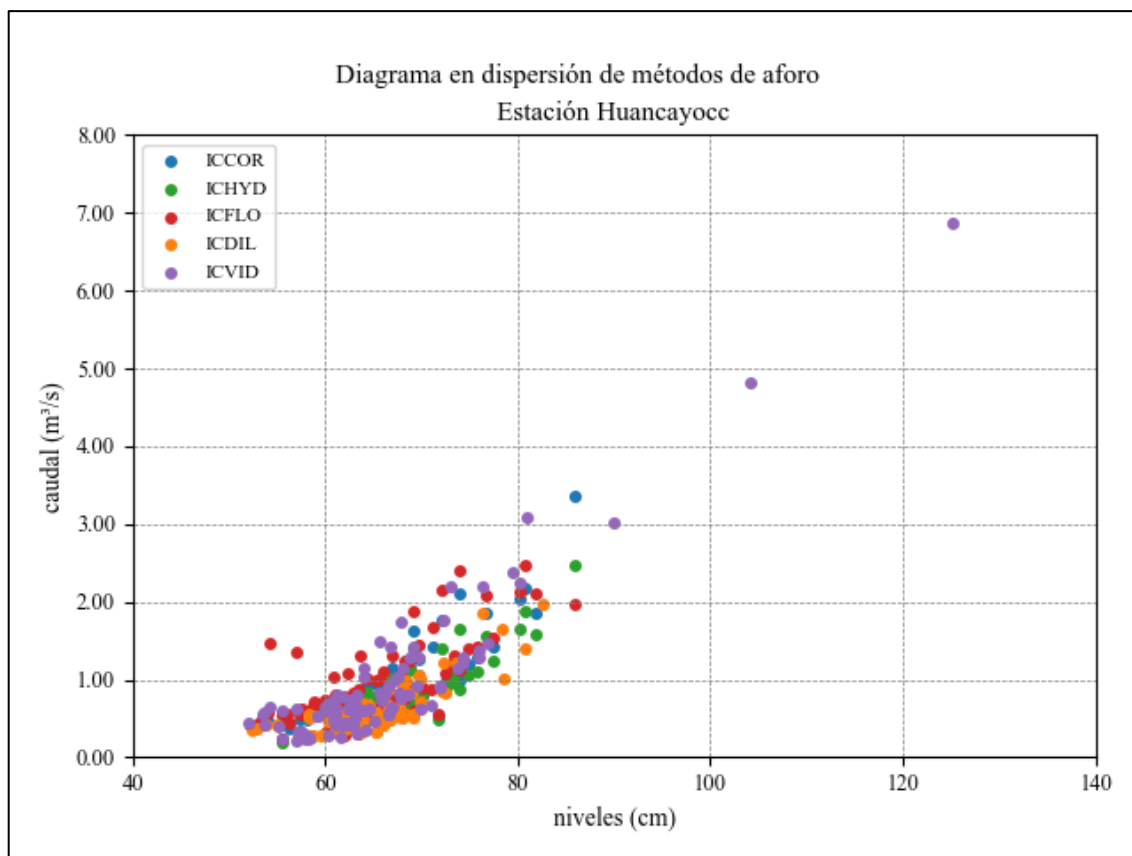


Figura 46: Diagrama en dispersión de métodos de aforo, Estación Huancayo

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

En la estación Luricocha, las mediciones de caudal máximo se registraron en fechas específicas de febrero y marzo de 2024, con alturas que oscilaron entre 61 y 97 cm y caudales máximos de entre 2 y 6 m³/s. Posteriormente, en abril de 2024, se realizaron mediciones de caudal mínimo, registrándose alturas de entre 28 y 29 cm y caudales mínimos constantes de 0.1 m³/s en la mayoría de los puntos de medición. La Tabla 3 presenta el detalle de los aforos obtenidos por captor. Se muestra el resultado de aforos por captor.

Tabla 3: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Luricocha

Captor	N°	Fecha	Qmin (m3/s)	Date	Qmax (m3/s)
ICCOR	80	28/04/2024 15:30	0.12	28/02/2024 11:16	4.38
ICHYD	80	28/04/2024 15:30	0.15	28/02/2024 11:16	5.52
ICFLO	86	28/04/2024 15:30	0.12	28/02/2024 11:16	4.96
ICDIL	82	30/04/2024 11:16	0.13	1/03/2024 13:10	1.94
ICVID	82	30/04/2024 11:20	0.02	28/02/2024 11:16	5.79

Los cinco métodos de aforo mostraron concordancia en condiciones de bajo caudal, registrando una alta densidad de mediciones entre cotas de 30 a 40 cm con caudales inferiores a 1 m³/s. Sin embargo, a partir de la cota 40 hasta 55 cm, las mediciones comenzaron a dispersarse, aunque aún con caudales por debajo de 1 m³/s. En condiciones de caudal medio, la dispersión de las mediciones se incrementó significativamente entre cotas de 55 a 75 cm, con caudales que oscilaron entre 1 m³/s y 3 m³/s. Para caudales elevados, los captors ICCOR, ICCOR, ICHYD e ICVID coincidieron en la detección de valores entre 4 y 6 m³/s. La Figura 47 muestra la correlación entre los métodos de aforo y las tendencias identificadas en los captors ICCOR, ICHYD, ICFLO, ICDIL e ICVID.

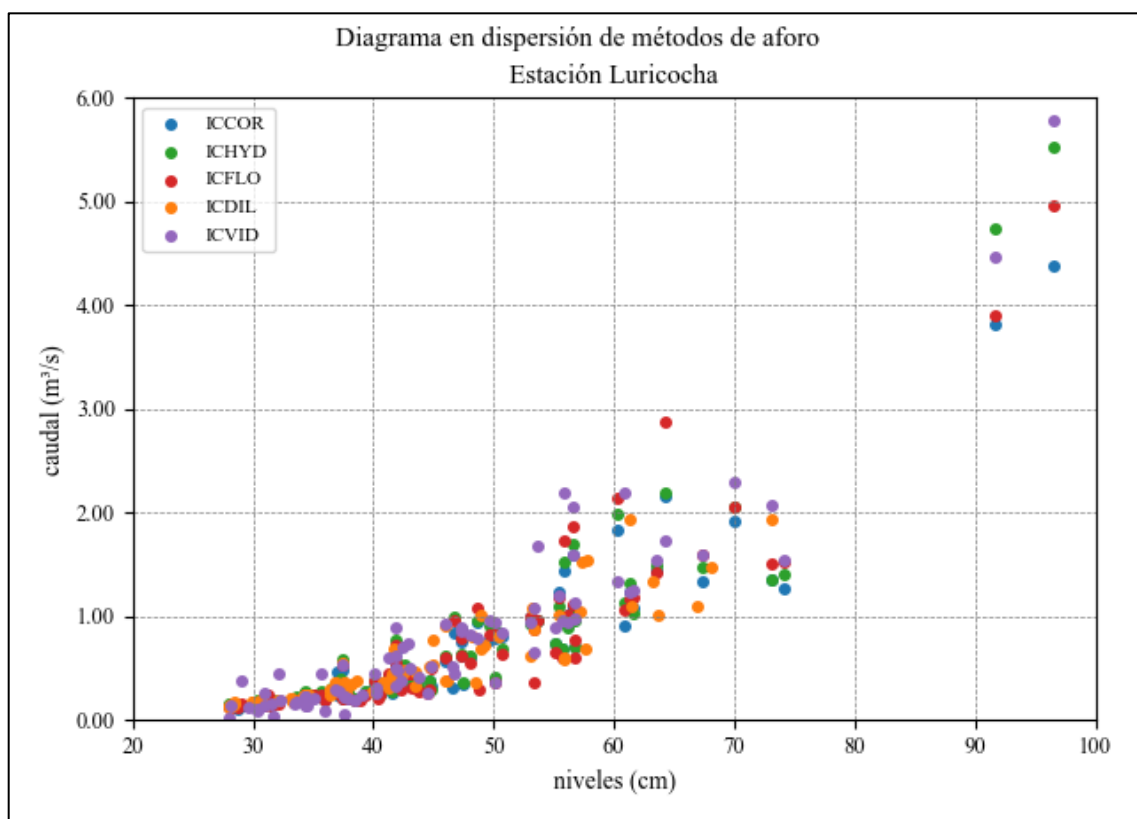


Figura 47: Diagrama en dispersión de métodos de aforo, Estación Luricocha

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

En la estación Sexemayo Lote 1, las mediciones de caudal máximo fueron obtenidas en febrero de 2024, con valores de altura que varían entre 21 y 26 cm, y caudales máximos que oscilan entre 0.05 y 0.23 m³/s. Posteriormente, se realizaron mediciones de caudal mínimo entre marzo y abril de 2024, donde las alturas registradas varían entre 13 y 15 cm, con caudales mínimos que varían entre 0.01 y 0.02 m³/s en los puntos de medición. En la Tabla 4 se muestra el resultado de aforos por captor.

Tabla 4: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Sexemayo

Captor	N°	Fecha	Qmin (m3/s)	Date	Qmax (m3/s)
ICCOR	69	18/04/2024 13:17	0.02	2/02/2024 13:15	0.20
ICHYD	69	18/04/2024 13:17	0.02	2/02/2024 13:15	0.20
ICFLO	70	18/04/2024 13:08	0.02	2/02/2024 15:31	0.23
ICDIL	69	18/04/2024 14:05	0.01	2/02/2024 14:25	0.05
ICVID	70	28/03/2024 12:13	0.02	2/02/2024 15:43	0.20

Tres métodos de aforo presentaron congruencia en condiciones de bajo y medio caudal, con los captosres ICCOR, ICFLO e ICVID registrando una alta densidad de mediciones entre cotas de 15 a 18 cm y caudales de 50 a 100 L/s. No obstante, el captor ICHYD mostró una mayor dispersión en estos rangos, desviándose de la tendencia observada en los demás métodos. Por otro lado, el captor ICDIL operó de manera independiente, sin correlacionarse con los otros cuatro dispositivos, lo que sugiere una tendencia propia en sus registros. La Figura 48 ilustra la correlación entre los métodos de aforo y las variaciones observadas en los captosres ICCOR, ICFLO e ICVID.

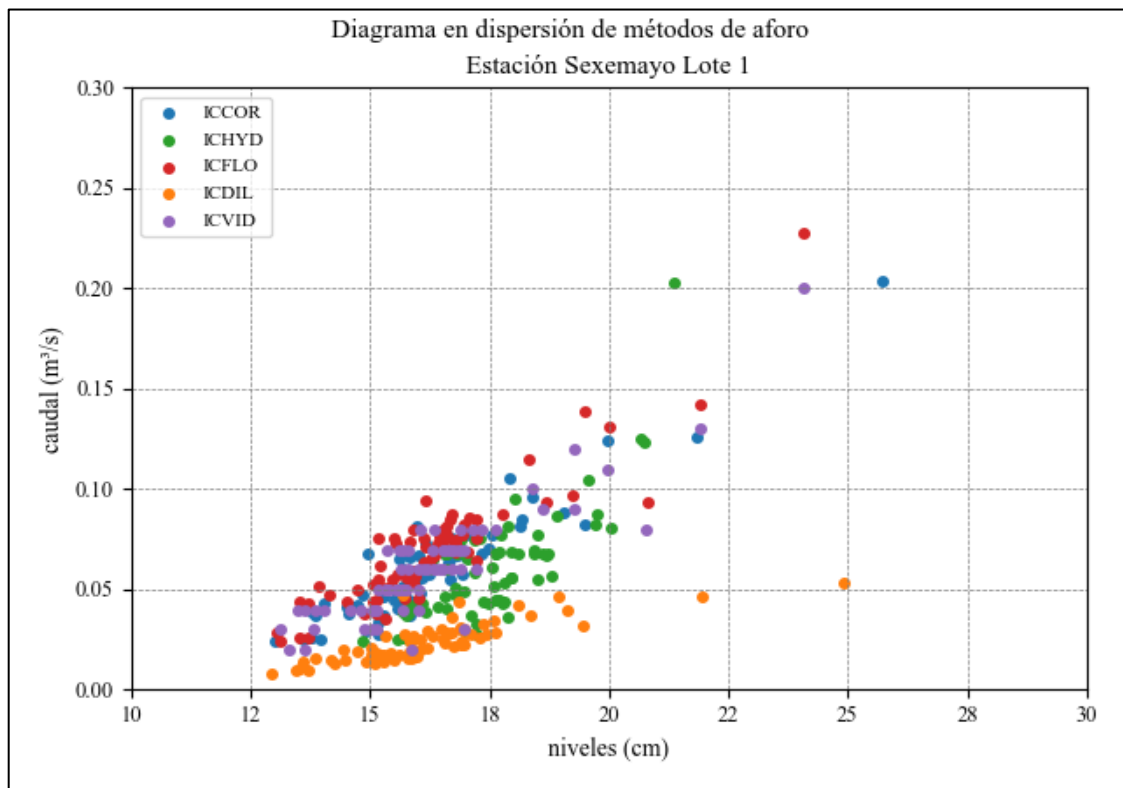


Figura 48: Diagrama en dispersión de métodos de aforo, Estación Sexemayo Lote 1

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

En la estación Charamaya, las mediciones de caudal máximo se registraron en marzo de 2024, con alturas que oscilaron entre 61 y 81 cm y caudales máximos de entre 3 y 14 m³/s. Posteriormente, se realizaron mediciones de caudal mínimo en noviembre de 2023 y febrero de 2024, con alturas registradas entre 26 y 32 cm y caudales mínimos que variaron entre 0.1 y 0.2 m³/s en la mayoría de los puntos de medición. La Tabla 5 presenta el detalle de los aforos obtenidos por captor.

Tabla 5: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Charamaya

Captor	N°	Fecha	Qmin (m3/s)	Date	Qmax (m3/s)
ICCOR	43	9/11/2023 14:10	0.08	4/03/2024 13:19	2.57
ICHYD	43	9/11/2023 14:10	0.07	6/03/2024 10:55	2.90
ICFLO	40	9/11/2023 13:26	0.24	6/03/2024 10:54	3.32
ICDIL	31	11/02/2024 11:35	0.16	4/03/2024 14:36	2.90
ICVID	52	11/02/2024 11:48	0.10	7/03/2024 14:30	13.86

Los cinco métodos de aforo mostraron congruencia en condiciones de bajo caudal, registrando una alta densidad de mediciones entre cotas de 40 a 50 cm con caudales inferiores a 2 m³/s. Sin embargo, a partir de la cota 50 hasta 60 cm, las mediciones comenzaron a dispersarse, con caudales que permanecieron por debajo de 4 m³/s. En condiciones de caudal medio, la dispersión se acentuó significativamente entre cotas de 60 a 70 cm, con valores que oscilaron entre 2 y 4 m³/s. Para caudales elevados, únicamente el captor ICVID estimó caudales extremos de hasta 14 m³/s, diferenciándose de los demás métodos. La Figura 49 muestra la correlación entre los métodos de aforo y las tendencias identificadas en los captosres ICCOR, ICHYD, ICFLO, ICDIL e ICVID.

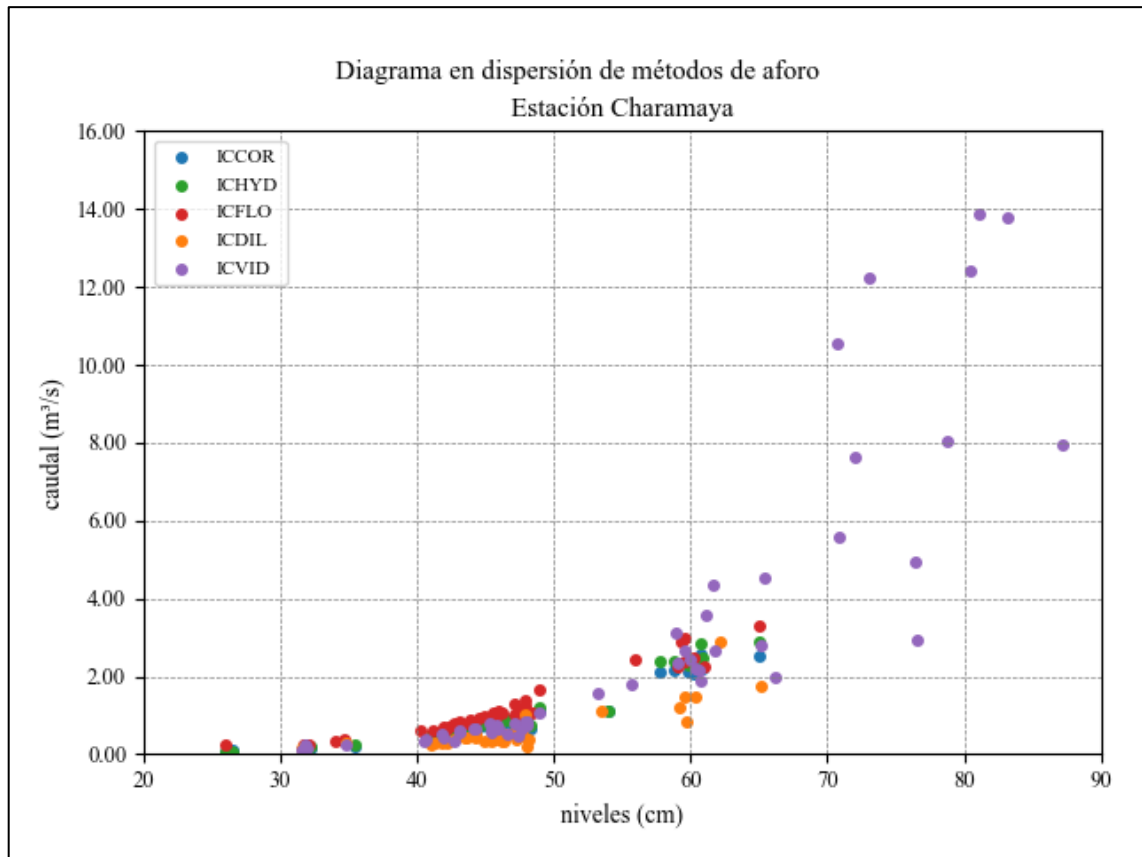


Figura 49: Serie de niveles Estación Charamaya, Puno

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

En la estación Conaviri, las mediciones de caudal máximo se realizaron en marzo de 2024, registrando alturas entre 36 y 99 cm y caudales máximos que oscilaron entre 2 y 22 m³/s. Posteriormente, en noviembre de 2023 y febrero de 2024, se efectuaron mediciones de caudal mínimo, con alturas registradas entre 8 y 18 cm y caudales mínimos comprendidos entre 0.02 y 0.23 m³/s en la mayoría de los puntos de medición. La Tabla 6 presenta el detalle de los aforos obtenidos por captor.

Tabla 6: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor en la estación Conaviri

Captor	Nº	Fecha	Qmin (m3/s)	Date	Qmax (m3/s)
ICCOR	40	9/11/2023 17:28	0.02	1/03/2024 08:40	2.34
ICHYD	40	9/11/2023 17:29	0.02	1/03/2024 08:40	2.65
ICFLO	40	5/02/2024 16:32	0.10	1/03/2024 12:10	2.51
ICDIL	26	20/04/2024 10:58	0.17	1/03/2024 10:40	1.93
ICVID	44	20/04/2024 13:26	0.23	19/03/2024 15:10	21.82

Los cinco métodos de aforo coincidieron en condiciones de caudal bajo y medio, registrando una alta densidad de mediciones entre cotas de 20 a 40 cm con caudales entre 1 a 3 m³/s. En condiciones de alto caudal, solo el captor ICVID estimo caudales de crecida de 10 m³/s y eventos extremos por encima de los 20 m³/s. La Figura 50 ilustra la correlación entre los métodos de aforo y sus tendencias posibles entre los captores ICCOR, ICHYD, ICFLO, ICDIL e ICVID.

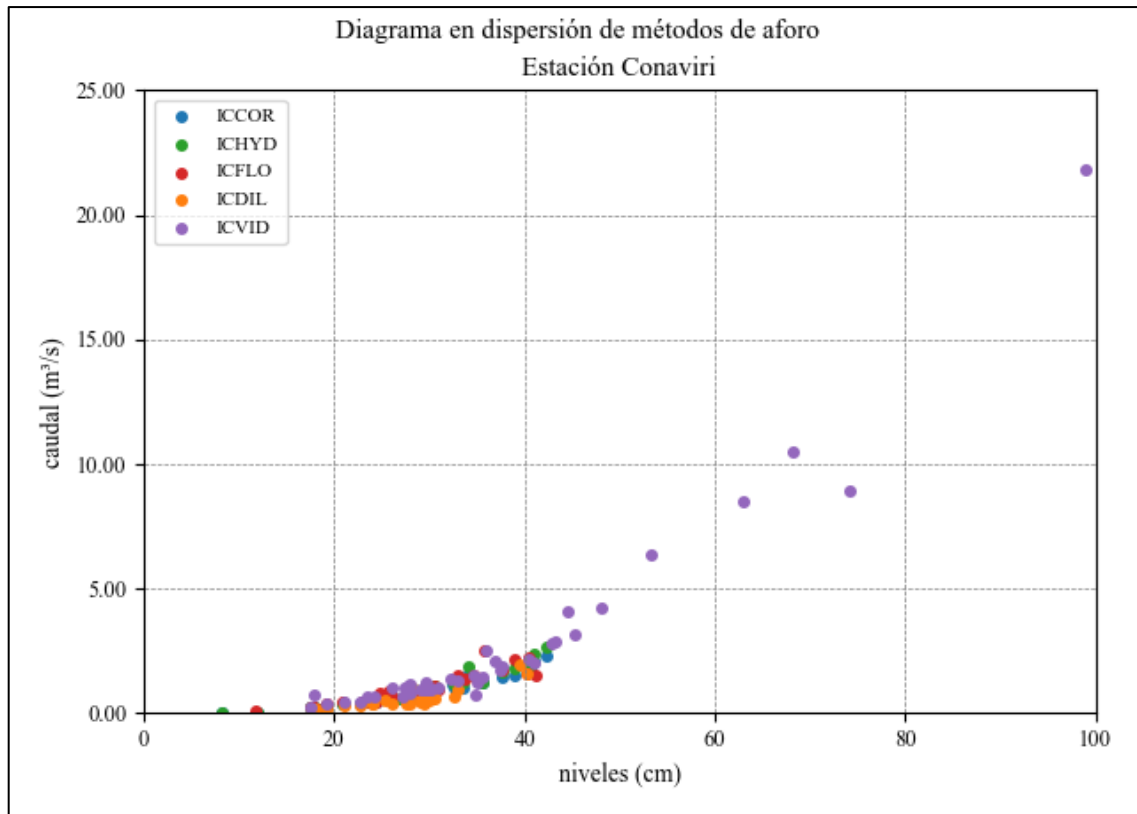


Figura 50: Serie de niveles Estación Conaviri, Puno

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

4.3. Desarrollo de curvas de gasto líquido en Hydraccess

El desarrollo de las curvas de gasto líquido se basó en los niveles registrados por los Levelogger Solinst 5 en las estaciones hidrométricas. La curva de calibración nivel-caudal se expresa mediante una ecuación hidráulica derivada de las mediciones de caudales disponibles (Organización Meteorológica Mundial, 2020). A partir de la ecuación hidráulica potencial incorporado en Hydraccess, la distribución de puntos se ajusta a una única curva de calibración.

Las estaciones multiregionales Huancayocc, Luricocha, Sexemayo Lote 1, Charamaya y Conaviri cuentan con su propia curva de calibración, construida mediante el captor ICGAS, el cual integra los aforos obtenidos a partir de los captores ICCOR, ICHYD, ICFLO, ICDIL e ICVID.

Tabla 7: Valores de caudales mínimos y máximos obtenidos por captor

Estación	Captor	N° Aforos	Fecha	Qmax (m3/s)
EHUA	ICGAS	425	27/03/2024 18:01	6.86
ELUR	ICGAS	410	28/02/2024 11:16	5.79
ESEX	ICGAS	347	2/02/2024 15:31	0.23
ECHA	ICGAS	209	7/03/2024 14:30	13.86
ECON	ICGAS	190	19/03/2024 15:10	21.82

Tabla 8: Parámetros Estadísticos mediante Hydraccess

Estación	r ²	D.E.	D.M.	N° de Aforos
Huancayocc	0.82	0.24	0.19	408
Luricocha	0.88	0.27	0.16	410
Sexemayo	0.83	0.01	0.01	276
Charamaya	0.85	0.42	0.25	202
Conaviri	0.93	0.32	0.17	179

Nota: En la tabla se presentan el coeficiente de determinación del ajuste (r²), la desviación estándar del ajuste (D.E.) y la desviación media del ajuste (D.M.).

A continuación, se presentan los resultados de curva de calibración estación Huancayocc:

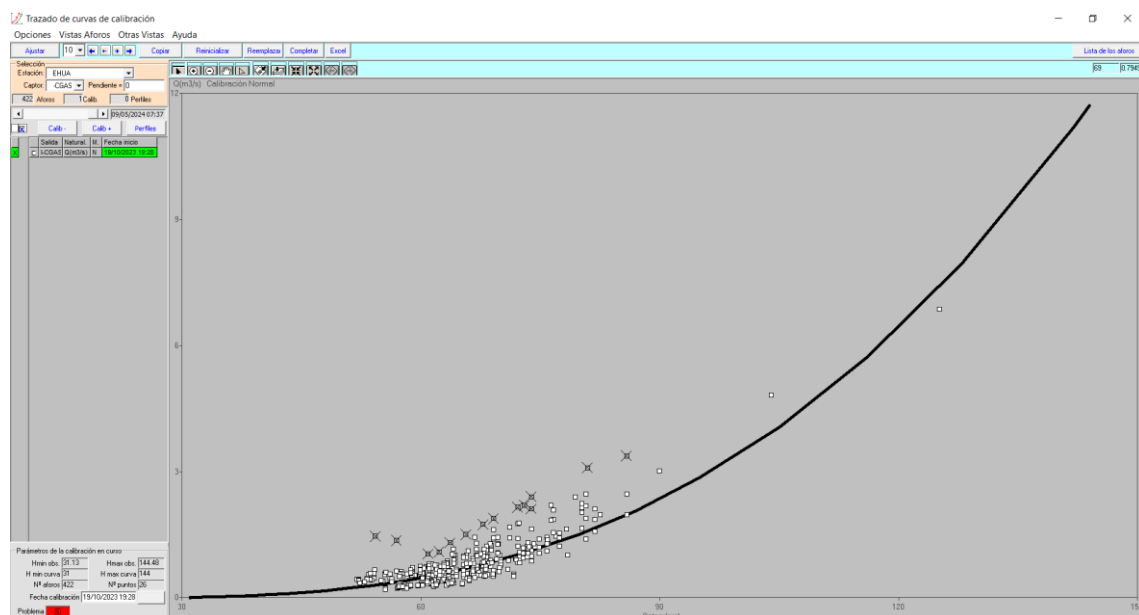


Figura 51: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Huancayocc

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

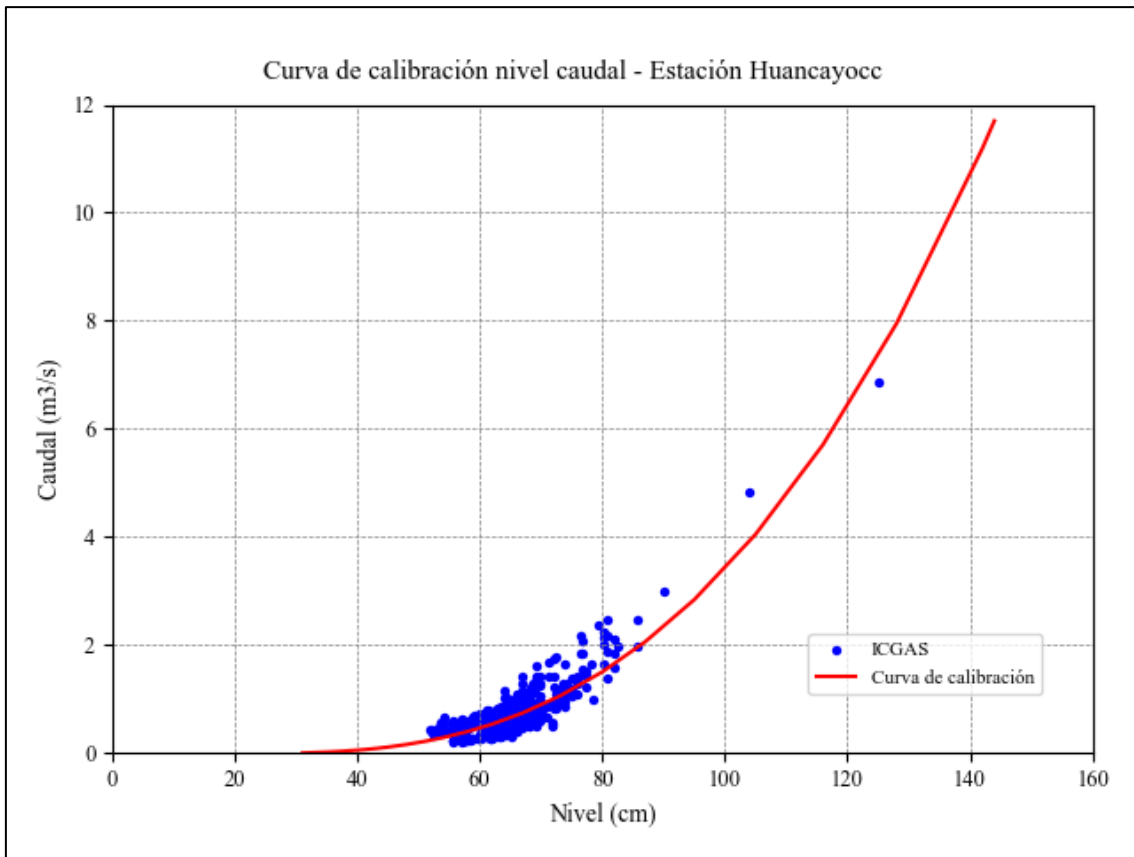


Figura 52: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Huancayooc

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

A continuación, se presentan los resultados de curva de calibración estación Luricocha:

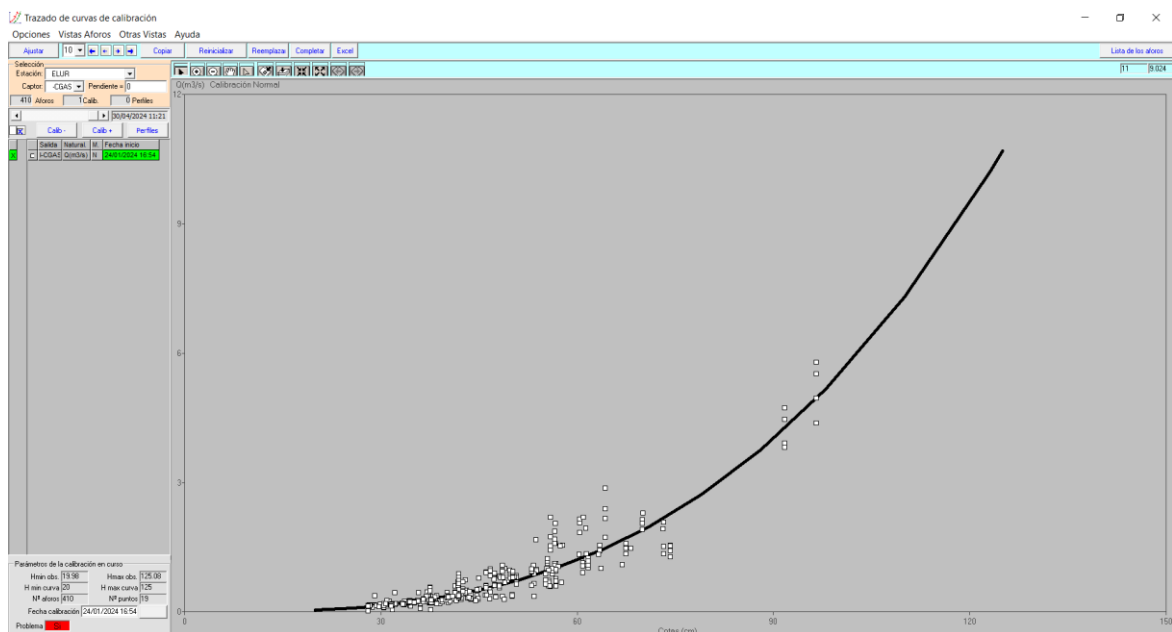


Figura 53: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Luricocha

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

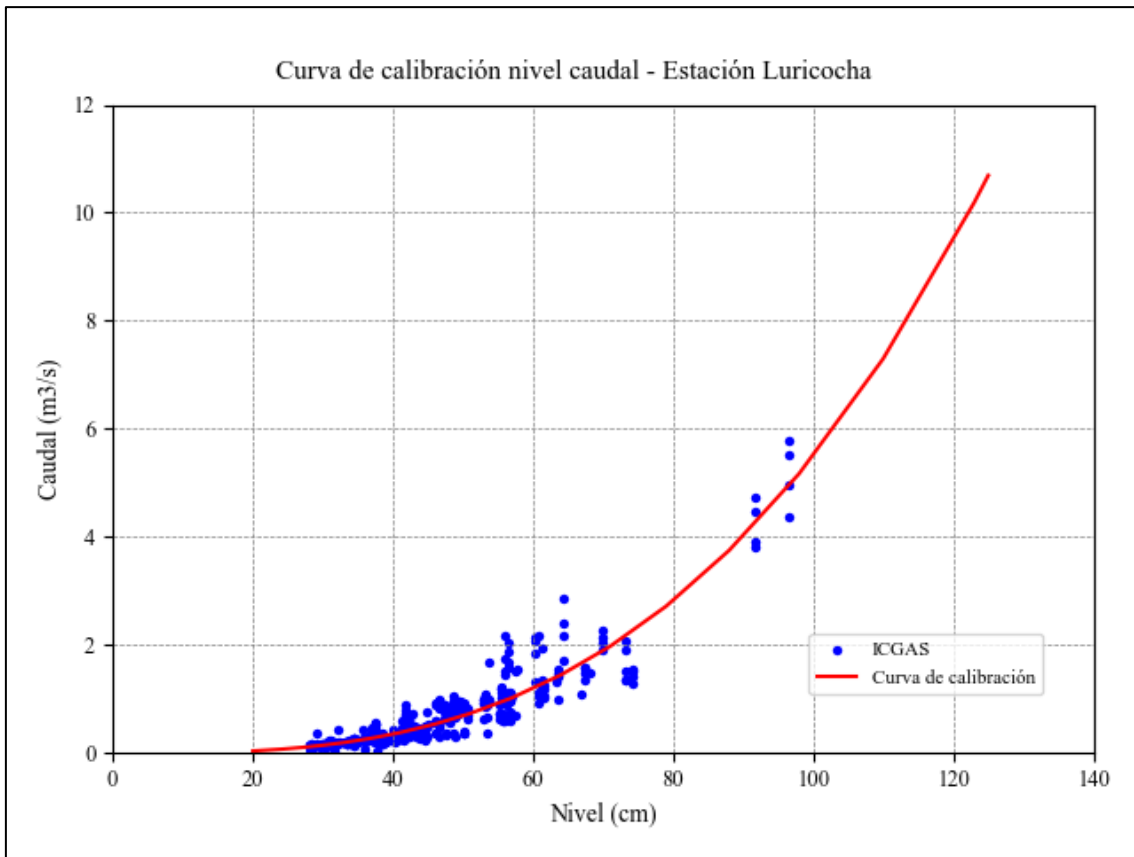


Figura 54: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Luricocha

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

A continuación, se presentan los resultados de curva de calibración estación Sexemayo:

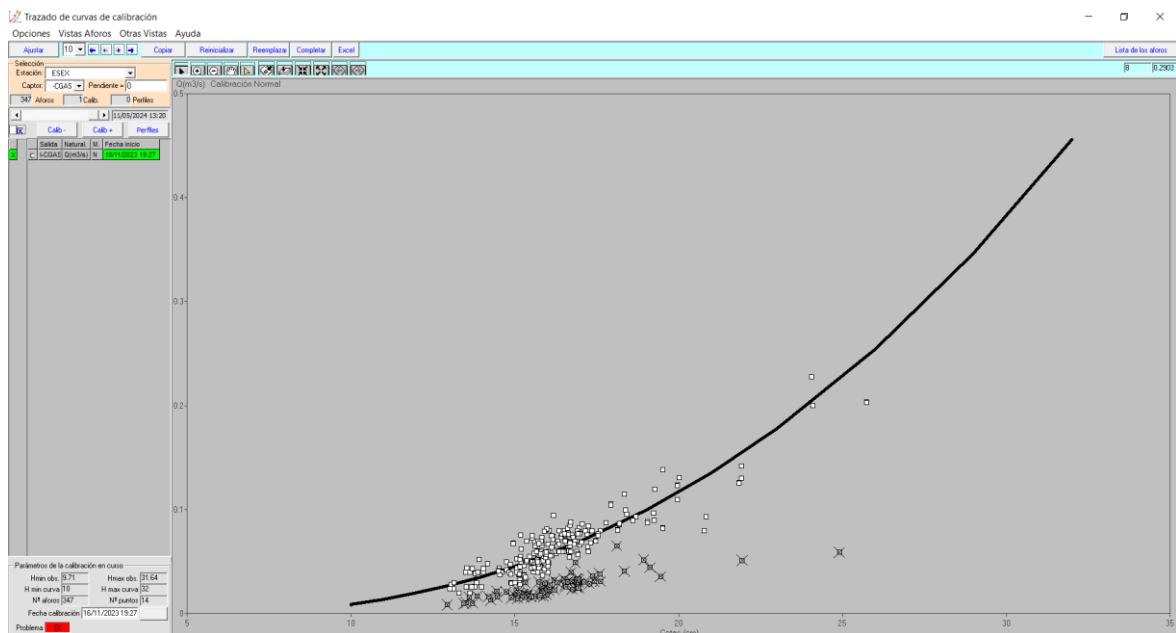


Figura 55: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Sexemayo Lote 1

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

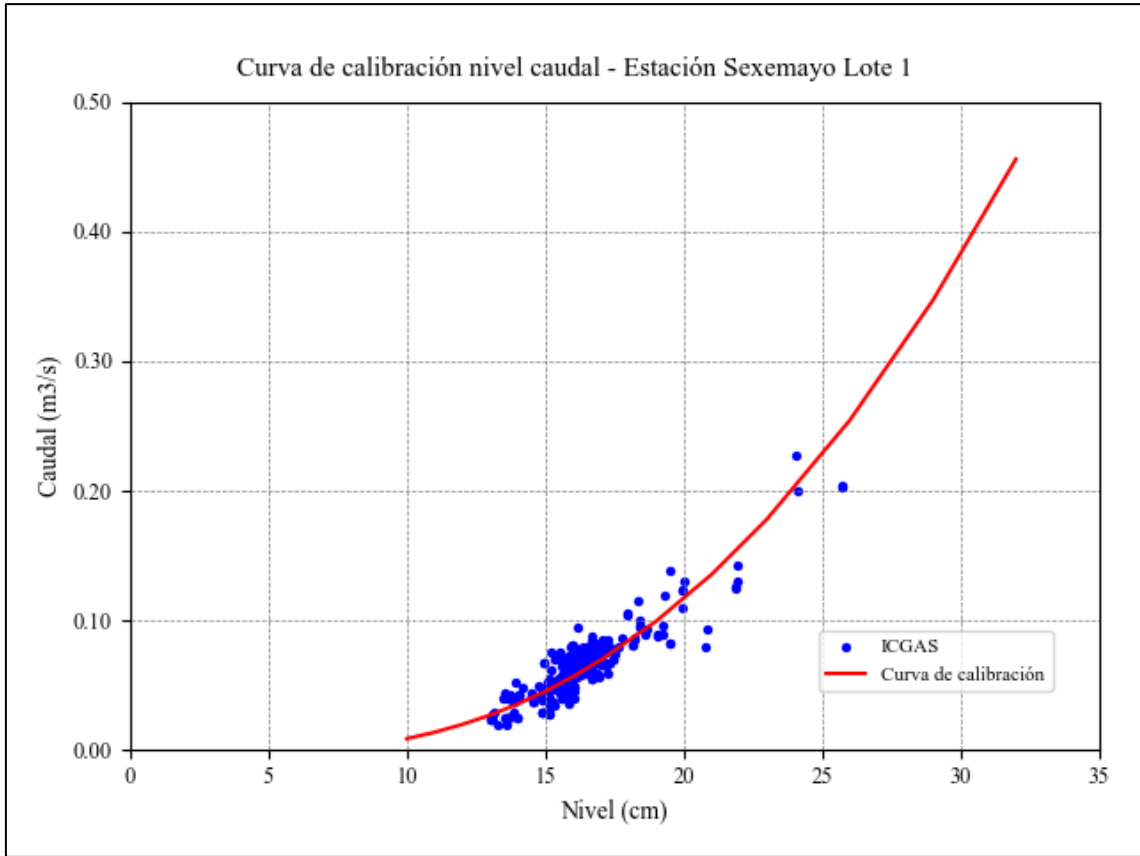


Figura 56: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Sexemayo Lote 1

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

A continuación, se presentan los resultados de curva de calibración estación Charamaya:

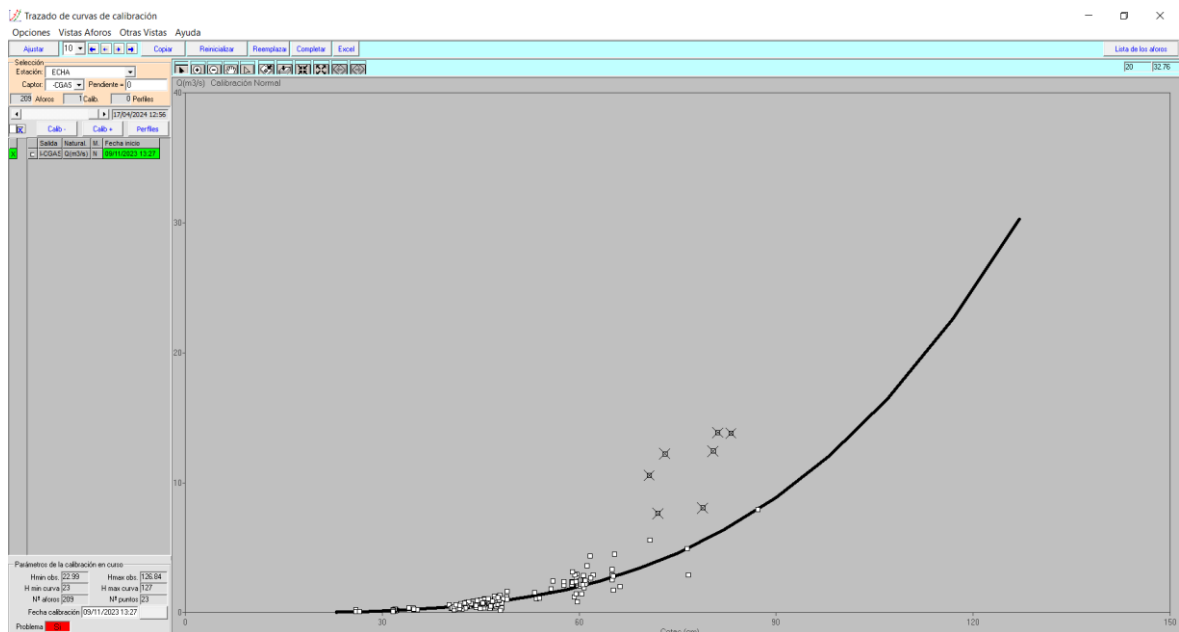


Figura 57: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Charamaya

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

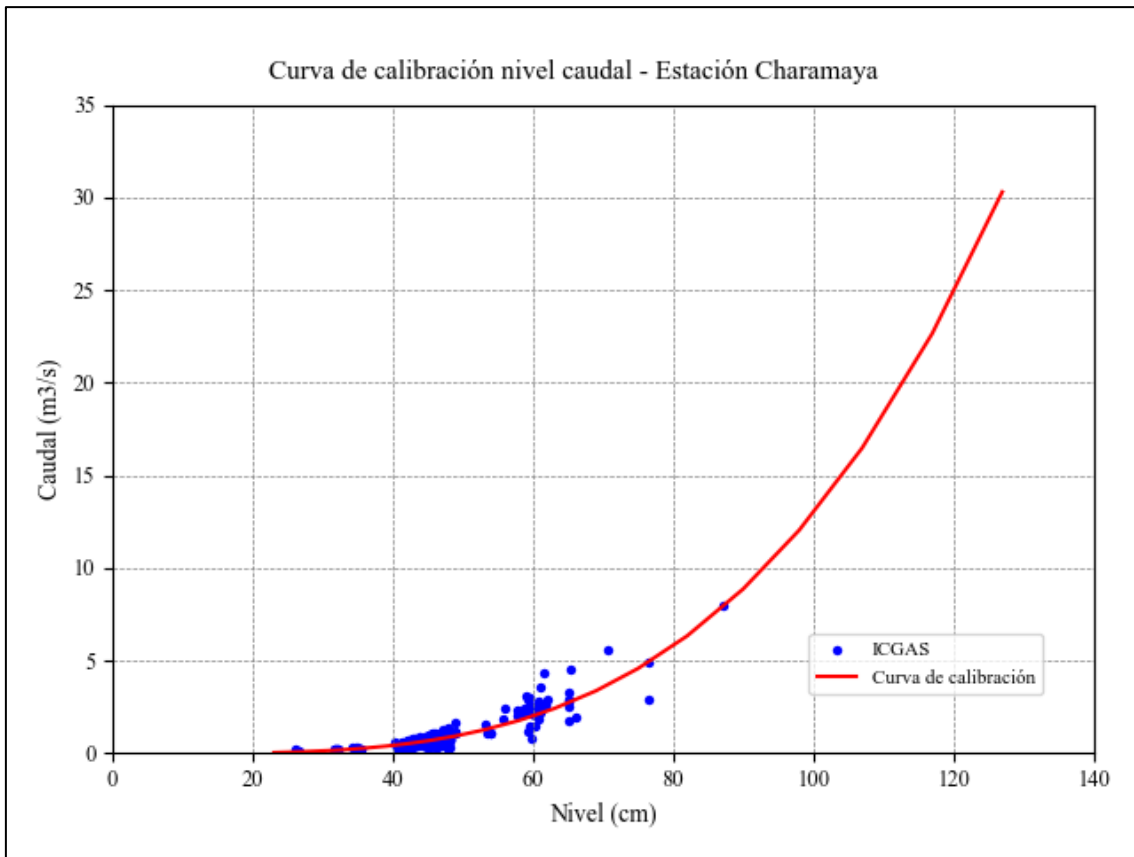


Figura 58: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Charamaya

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

A continuación, se presentan los resultados de curva de calibración estación Conaviri:

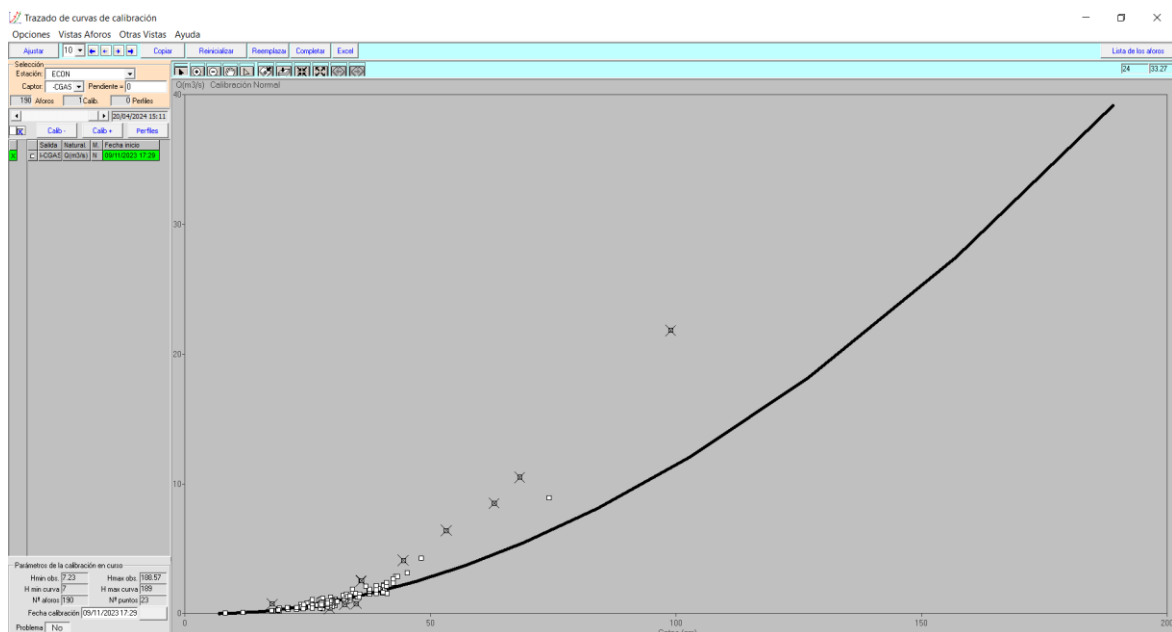


Figura 59: Curva de gasto Líquido en Hydraccess, Estación Conaviri

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

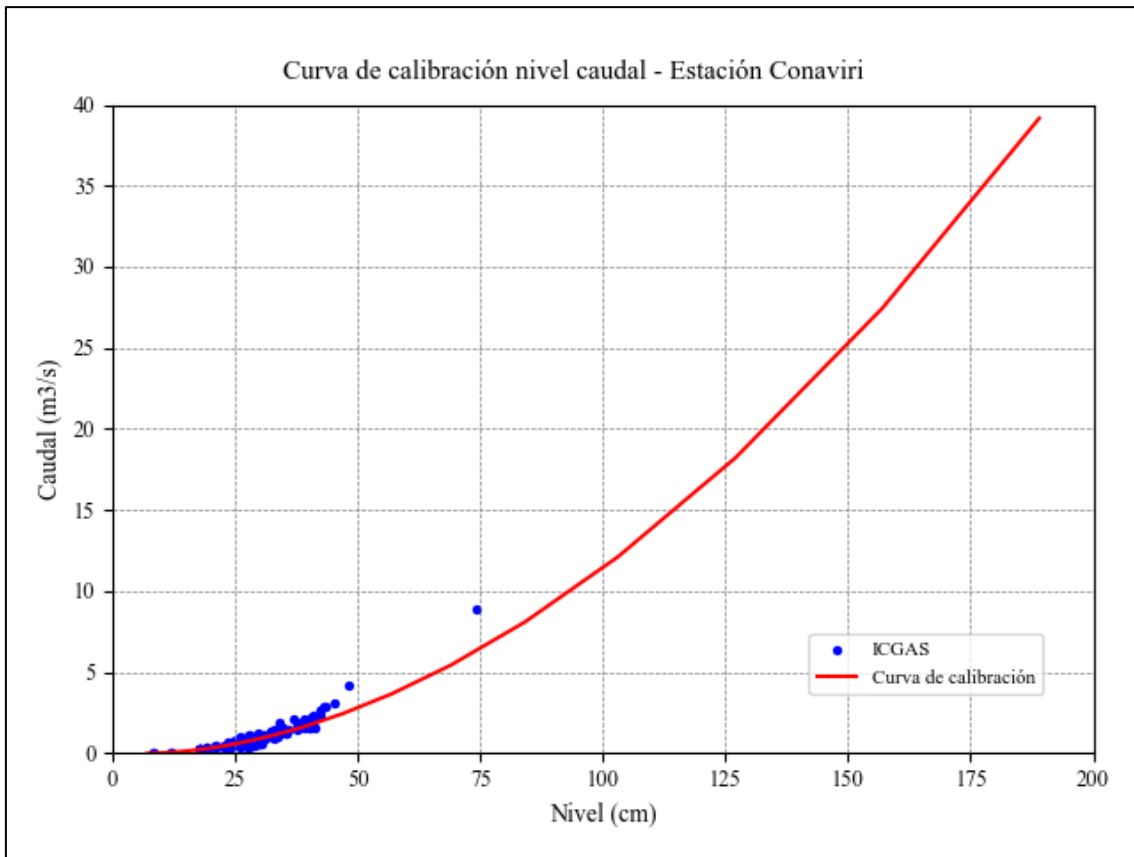


Figura 60: Curva de gasto Líquido en Pycharm, Estación Conaviri

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

4.4. Serie de caudales

La serie de caudales de la estación Huancayooc muestra picos máximos significativos en febrero y marzo de 2024, alcanzando valores a 11 m³/s. En contraste, el caudal se mantiene por debajo de 2 m³/s durante el resto del periodo.

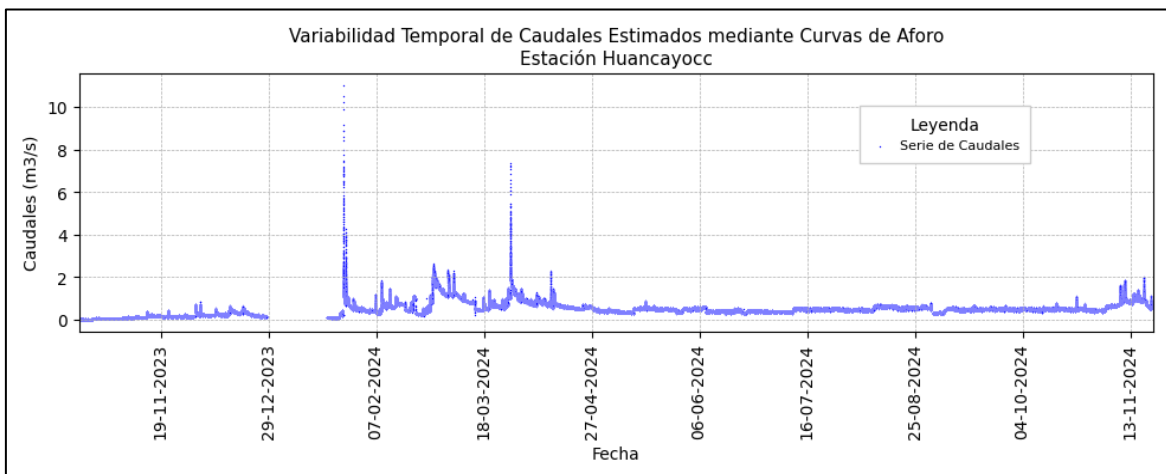


Figura 61: Serie de caudales Estación Huancayooc

La estación Luricocha muestra picos de caudal de 10 m³/s a fines de febrero de 2024. Durante el resto del periodo enero-junio de 2024, los caudales permanecen por debajo de 3 m³/s durante el resto del periodo.

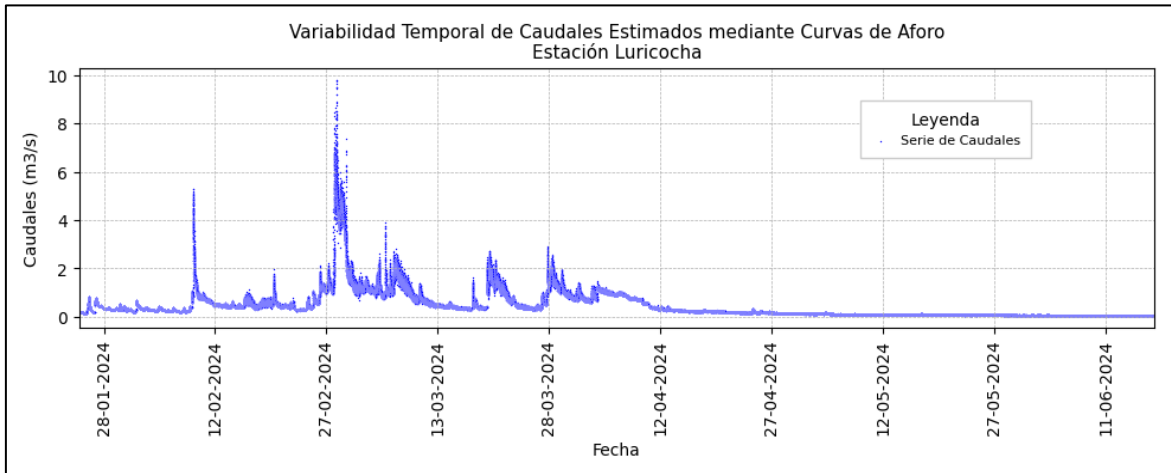


Figura 62: Serie de caudales Estación Luricocha

La estación Sexemayo Lote 1 presenta caudales estimados con picos de hasta 450 L/s en varios momentos entre noviembre de 2023 y agosto de 2024. Los caudales mínimos se mantienen cerca de 100 L/s durante el resto del periodo.

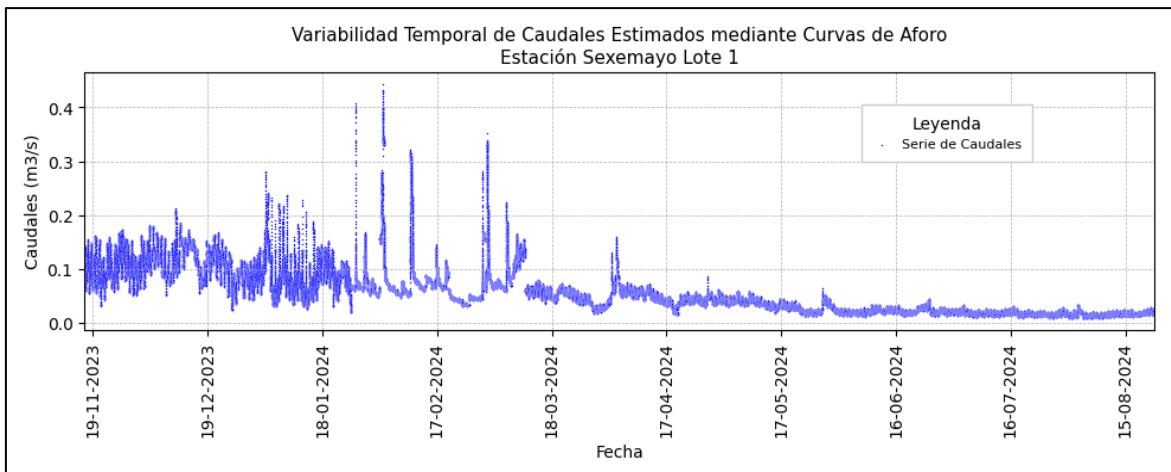


Figura 63: Serie de caudales Estación Sexemayo Lote 1

La estación Charamaya muestra picos de caudal de hasta 30 m³/s a finales de febrero y mediados de marzo de 2024. Durante el resto del período, los caudales se mantienen por debajo de los 4 m³/s.

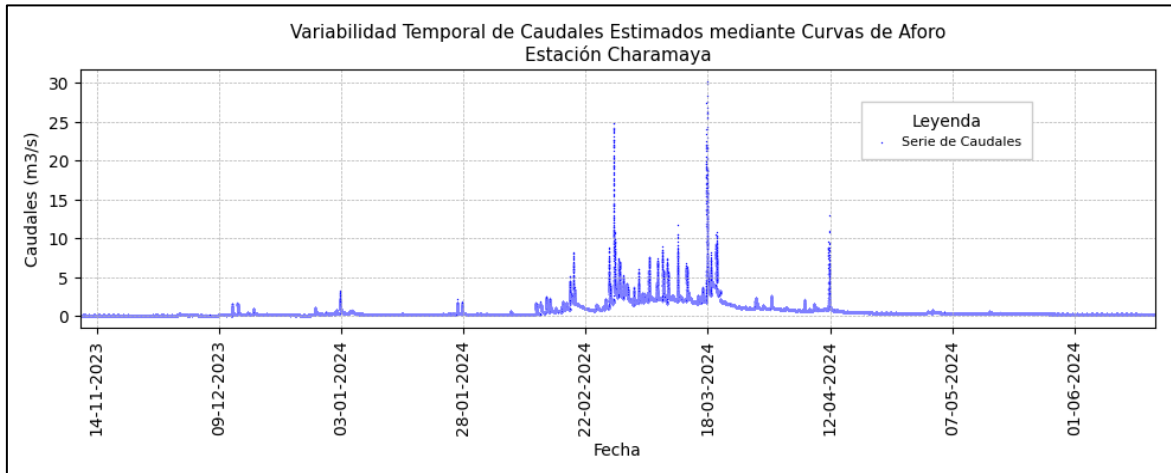


Figura 64: Serie de caudales estación Charamaya

La estación Conaviri muestra picos de caudal de hasta 39 m³/s a mediados de marzo de 2024. El caudal se mantiene por debajo de 5 m³/s durante el resto del período.

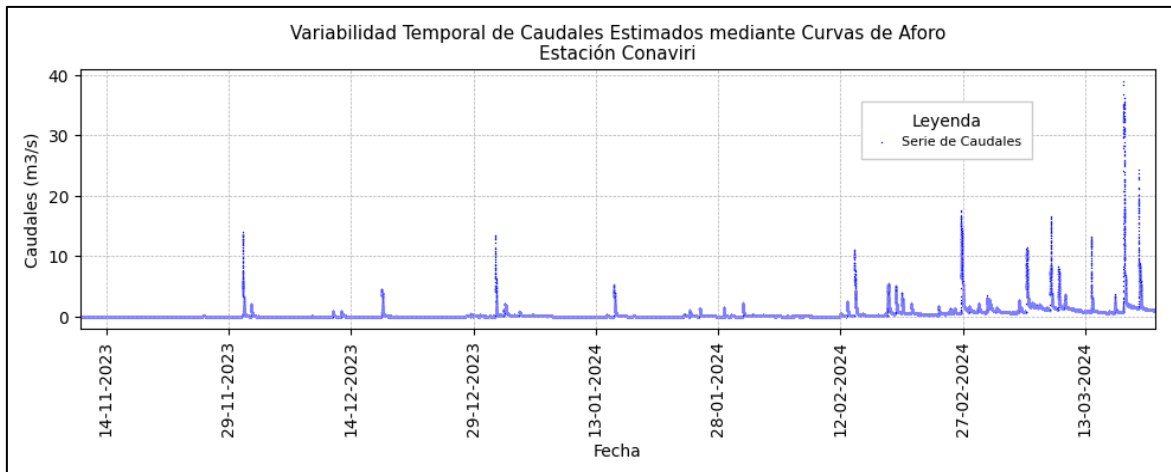


Figura 65: Serie de caudales estación Conaviri

4.5. Evaluación de la incertidumbre en la medición de caudal

En la estación Huancayocc se analizaron 85 registros de aforo utilizando el método de correntómetro del captor ICCOR. De estos, 15 registros presentaron una incertidumbre menor o igual al 10%, siendo clasificados como "buenos"; 14 registros mostraron una

incertidumbre entre 10% y 20%, considerados "aceptables"; 50 registros registraron una incertidumbre entre 20% y 50%, clasificados como "dudosos". Finalmente, 6 registros presentaron una incertidumbre superior al 50%, por lo que fueron catalogados como "subestimados" o "sobreestimados". La Tabla 9 presenta los valores porcentuales de incertidumbre correspondientes a cada caudal.

Tabla 9: Cuantificación de la incertidumbre global estación Huancayocc

Date	Qg	Qrc	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	Estado $\epsilon 2$	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
31/01/2024 17:10	0.5	0.6	18%	5%	Bueno	0.4	0.7	23%
05/02/2024 09:40	0.5	0.4	18%	10%	Bueno	0.3	0.6	28%
06/02/2024 16:30	0.4	0.4	18%	1%	Bueno	0.3	0.5	19%
12/02/2024 09:50	0.6	0.7	13%	9%	Bueno	0.5	0.7	22%
20/02/2024 10:20	0.5	0.5	12%	5%	Bueno	0.4	0.6	17%
29/02/2024 11:30	1.9	1.9	14%	2%	Bueno	1.6	2.2	17%
02/03/2024 13:03	1.4	1.5	12%	5%	Bueno	1.2	1.7	17%
05/03/2024 13:15	1.2	1.3	12%	8%	Bueno	1.0	1.4	20%
06/03/2024 09:10	1.1	1.2	12%	8%	Bueno	0.9	1.3	20%
07/03/2024 11:25	1.3	1.4	12%	7%	Bueno	1.0	1.5	19%
08/03/2024 09:32	1.2	1.2	12%	3%	Bueno	1.0	1.3	15%
10/03/2024 15:00	1.1	1.2	12%	8%	Bueno	0.8	1.3	20%
12/03/2024 11:50	0.8	0.9	12%	8%	Bueno	0.7	1.0	20%
12/04/2024 13:40	0.6	0.6	12%	1%	Bueno	0.5	0.7	13%
13/04/2024 11:30	0.8	0.8	12%	2%	Bueno	0.7	0.9	14%

En la curva de calibración de la estación Huancayocc se analizaron los aforos mediante bandas de confianza al 95% (Q \pm 95%). Las bandas incluyen aforos en verde (Q+95%) y morado (Q-95%), representando un intervalo donde el caudal verdadero tiene un 95% de probabilidad de encontrarse dentro de las bandas. Los aforos negros corresponden al método del correntómetro (ICCOR) y fueron filtrados con base en el parámetro $\epsilon 2$. Solo los datos con $\epsilon 2$ menor al 10% y clasificados como "Bueno" se consideraron válidos.

A continuación, se presentan los resultados mediante gráficas de la incertidumbre.

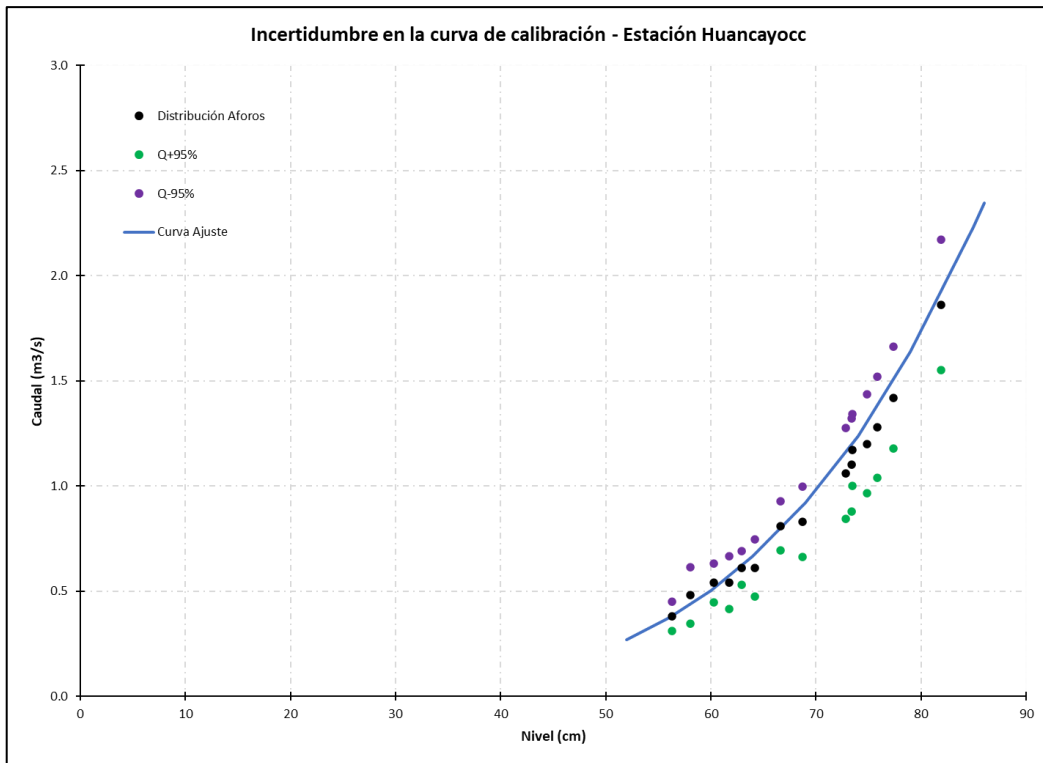


Figura 66: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada
 FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

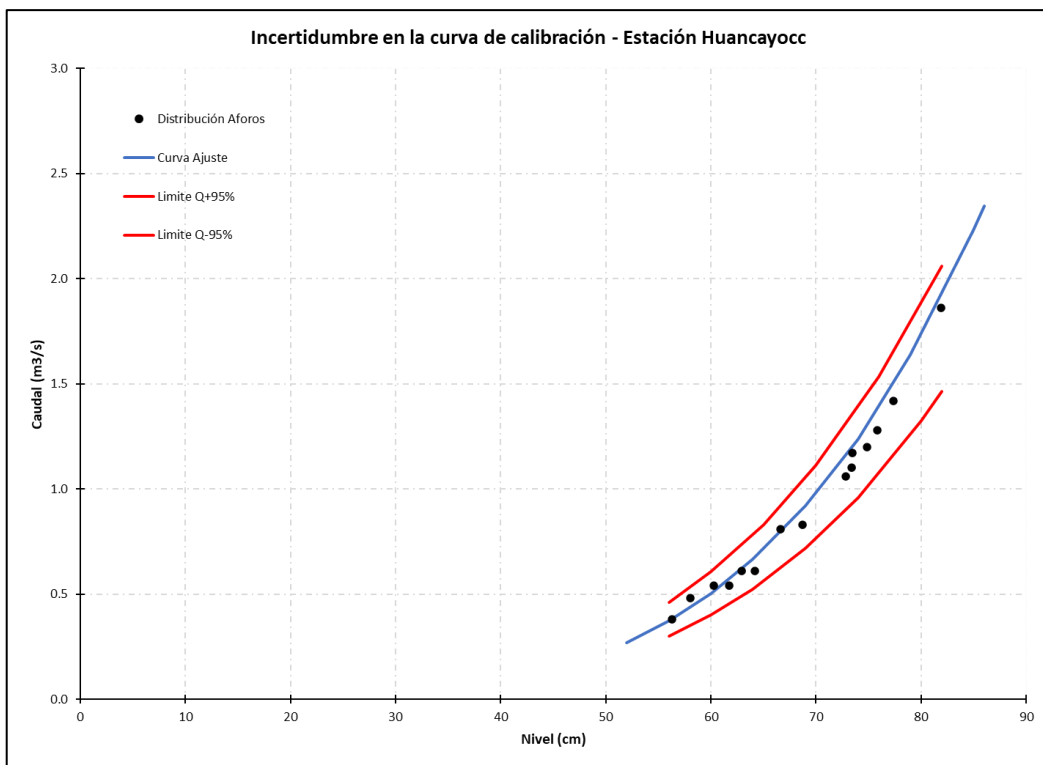


Figura 67: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Huancayoccc
 FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024)

En la estación Luricocha se revisaron 80 registros de aforo utilizando el método correntómetro del captor ICCOR. De estos registros, 28 mostraron una incertidumbre menor o igual al 10%, clasificándolos como "buenos". Además, 17 registros presentaron una incertidumbre entre 10% y 20%, considerados "aceptables", 26 registros tuvieron una incertidumbre entre 20% y 50%, clasificados como "dudosos". Finalmente, 9 registros presentaron una incertidumbre mayor al 50%, catalogados como "subestimados" o "sobrestimados". La Tabla 10 muestra los valores porcentuales de esta incertidumbre para cada valor de caudal.

Tabla 10: Cuantificación de la incertidumbre global para la estación Luricocha

Date	Qg	Qrc	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	Estado $\epsilon 2$	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
08/02/2024 12:13	0.2	0.3	14%	2%	Bueno	0.2	0.3	16%
09/02/2024 14:15	1.0	1.0	14%	3%	Bueno	0.8	1.2	18%
11/02/2024 12:37	0.6	0.6	13%	9%	Bueno	0.5	0.8	22%
12/02/2024 11:48	0.5	0.5	13%	6%	Bueno	0.4	0.6	19%
13/02/2024 09:32	0.4	0.4	13%	4%	Bueno	0.3	0.5	17%
14/02/2024 12:50	0.4	0.4	13%	3%	Bueno	0.4	0.5	17%
15/02/2024 15:26	0.4	0.4	13%	1%	Bueno	0.3	0.5	14%
25/02/2024 08:40	0.6	0.6	16%	2%	Bueno	0.5	0.7	18%
26/02/2024 13:58	1.2	1.2	14%	2%	Bueno	1.0	1.4	16%
27/02/2024 08:40	1.4	1.3	14%	9%	Bueno	1.1	1.8	23%
28/02/2024 11:16	4.4	4.4	14%	0%	Bueno	3.7	5.0	15%
29/02/2024 09:03	3.8	3.8	14%	0%	Bueno	3.3	4.4	15%
09/03/2024 07:06	1.0	0.9	14%	8%	Bueno	0.8	1.2	22%
14/03/2024 15:51	0.6	0.5	14%	7%	Bueno	0.4	0.7	22%
15/03/2024 09:12	0.4	0.4	14%	4%	Bueno	0.3	0.5	18%
16/03/2024 09:45	0.3	0.4	14%	8%	Bueno	0.3	0.4	22%
28/03/2024 09:23	1.9	1.8	14%	9%	Bueno	1.5	2.4	23%
10/04/2024 10:55	0.4	0.4	14%	6%	Bueno	0.3	0.5	21%
11/04/2024 13:46	0.4	0.4	14%	2%	Bueno	0.3	0.4	16%
17/04/2024 11:25	0.2	0.2	14%	8%	Bueno	0.2	0.3	23%
18/04/2024 10:43	0.2	0.2	14%	5%	Bueno	0.2	0.3	19%
19/04/2024 15:36	0.2	0.2	14%	7%	Bueno	0.2	0.3	22%
20/04/2024 09:25	0.2	0.2	14%	5%	Bueno	0.2	0.2	19%
22/04/2024 13:28	0.2	0.2	14%	3%	Bueno	0.2	0.2	17%
23/04/2024 11:07	0.2	0.2	14%	7%	Bueno	0.1	0.2	21%
24/04/2024 11:28	0.3	0.3	14%	4%	Bueno	0.2	0.3	18%
25/04/2024 09:41	0.1	0.1	17%	6%	Bueno	0.1	0.2	23%
27/04/2024 12:34	0.2	0.2	17%	5%	Bueno	0.1	0.2	22%

En la curva de calibración de la estación Luricocha se analizaron los aforos mediante bandas de confianza al 95% ($Q \pm 95\%$). Las bandas incluyen aforos en verde ($Q+95\%$) y morado ($Q-$

95%), representando un intervalo donde el caudal verdadero tiene un 95% de probabilidad de encontrarse dentro de las bandas. Los aforos negros corresponden al método del correntómetro (ICCOR) y fueron filtrados con base en el parámetro ϵ_2 . Solo los datos con ϵ_2 menor al 10% y clasificados como "Bueno" se consideraron válidos.

A continuación, se presentan los resultados mediante gráficas de la incertidumbre.

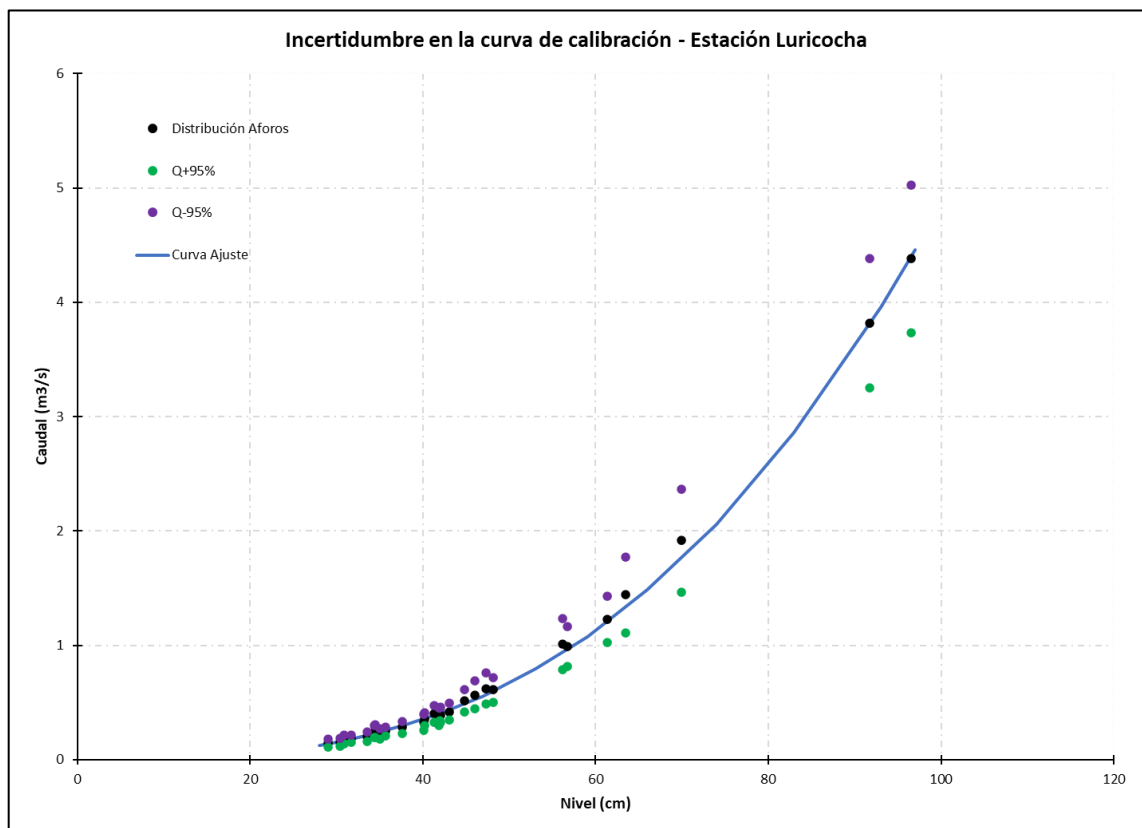


Figura 68: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada.

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

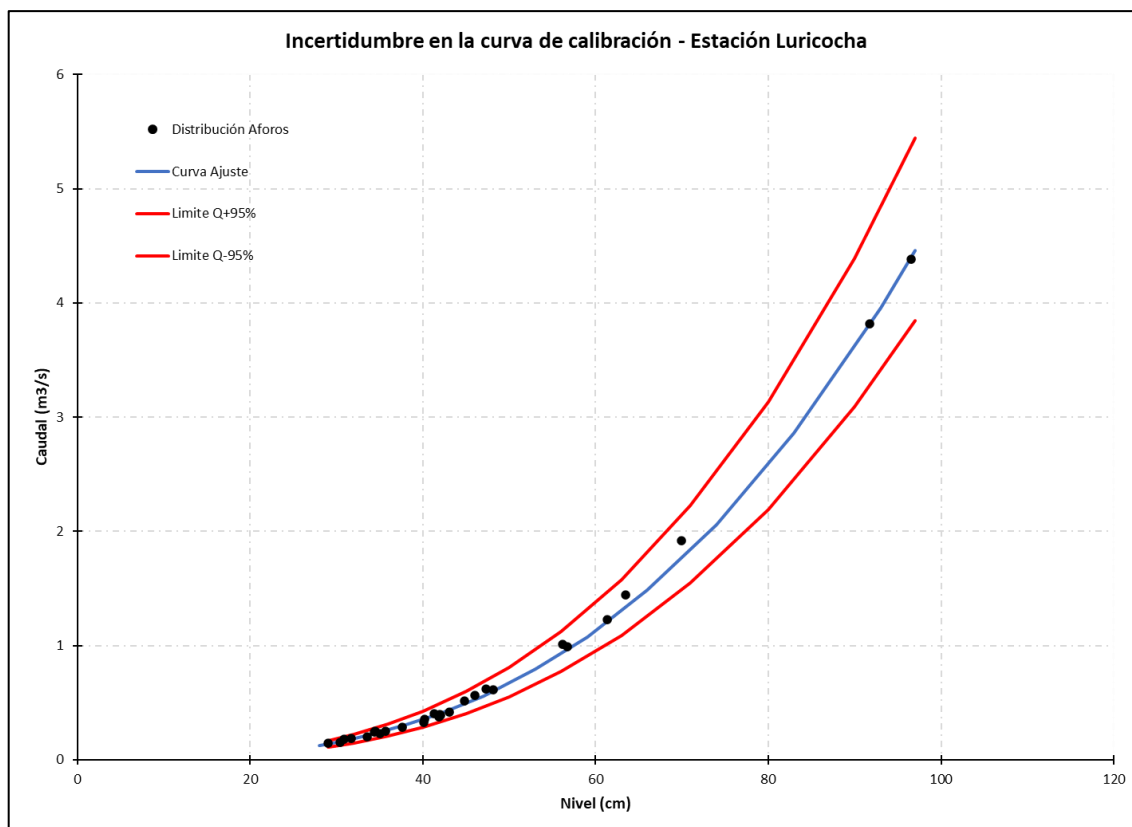


Figura 69: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Luricocha

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

En la estación Sexemayo Lote 1 se revisaron 69 registros de aforo utilizando el método correntómetro del captor ICCOR. De estos registros, 27 mostraron una incertidumbre menor o igual al 10%, clasificándolos como "buenos", 23 registros presentaron una incertidumbre entre 10% y 20%, considerados "aceptables", 18 registros tuvieron una incertidumbre entre 20% y 50%, clasificados como "dudosos". Finalmente, 1 registro presentó una incertidumbre mayor al 50%, catalogados como "subestimados" o "sobrestimados". La Tabla 11 muestra los valores porcentuales de esta incertidumbre para cada valor de caudal.

Tabla 11: Cuantificación de la incertidumbre global para la estación Sexemayo Lote 1

Date	Qg	Qrc	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	Estado $\epsilon 2$	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
23/01/2024 09:13	0.1	0.1	17%	4%	Bueno	0.1	0.1	21%
27/01/2024 15:43	0.1	0.1	17%	0%	Bueno	0.1	0.1	17%
29/01/2024 15:35	0.1	0.1	10%	4%	Bueno	0.1	0.1	13%
08/02/2024 16:28	0.1	0.1	10%	1%	Bueno	0.1	0.1	11%
09/02/2024 15:40	0.1	0.1	10%	5%	Bueno	0.0	0.1	14%
13/02/2024 14:41	0.1	0.1	10%	3%	Bueno	0.1	0.1	12%
14/02/2024 16:30	0.1	0.1	10%	4%	Bueno	0.1	0.1	14%
15/02/2024 11:51	0.1	0.1	10%	2%	Bueno	0.1	0.1	12%
15/02/2024 16:38	0.1	0.1	10%	5%	Bueno	0.1	0.1	14%
20/02/2024 15:30	0.0	0.0	10%	0%	Bueno	0.0	0.1	10%
23/02/2024 13:54	0.0	0.0	10%	4%	Bueno	0.0	0.0	13%
27/02/2024 12:24	0.0	0.0	11%	3%	Bueno	0.0	0.0	14%
06/03/2024 12:53	0.1	0.1	10%	8%	Bueno	0.1	0.1	17%
07/03/2024 08:45	0.1	0.1	10%	4%	Bueno	0.1	0.1	14%
13/03/2024 11:21	0.1	0.1	10%	6%	Bueno	0.1	0.1	15%
22/03/2024 12:51	0.1	0.1	10%	4%	Bueno	0.1	0.1	14%
02/04/2024 11:58	0.1	0.1	10%	0%	Bueno	0.0	0.1	10%
03/04/2024 11:15	0.1	0.1	10%	9%	Bueno	0.1	0.1	19%
04/04/2024 11:40	0.1	0.1	10%	1%	Bueno	0.1	0.1	11%
10/04/2024 16:28	0.1	0.1	10%	4%	Bueno	0.1	0.1	13%
11/04/2024 12:05	0.1	0.1	10%	1%	Bueno	0.1	0.1	11%
15/04/2024 11:20	0.0	0.0	10%	5%	Bueno	0.0	0.1	15%
18/04/2024 13:17	0.0	0.0	10%	6%	Bueno	0.0	0.0	16%
22/04/2024 10:50	0.1	0.1	10%	2%	Bueno	0.0	0.1	12%
25/04/2024 12:20	0.0	0.0	11%	9%	Bueno	0.0	0.1	20%
26/04/2024 10:35	0.0	0.0	11%	7%	Bueno	0.0	0.0	18%
01/05/2024 13:59	0.0	0.0	11%	10%	Bueno	0.0	0.1	20%

En la curva de calibración de la estación Sexemayo Lote 1 se analizaron los aforos mediante bandas de confianza al 95% (Q \pm 95%). Las bandas incluyen aforos en verde (Q+95%) y morado (Q-95%), representando un intervalo donde el caudal verdadero tiene un 95% de probabilidad de encontrarse dentro de las bandas. Los aforos negros corresponden al método del correntómetro (ICCOR) y fueron filtrados con base en el parámetro $\epsilon 2$. Solo los datos con $\epsilon 2$ menor al 10% y clasificados como "Bueno" se consideraron válidos.

A continuación, se presentan los resultados mediante gráficas de la incertidumbre.

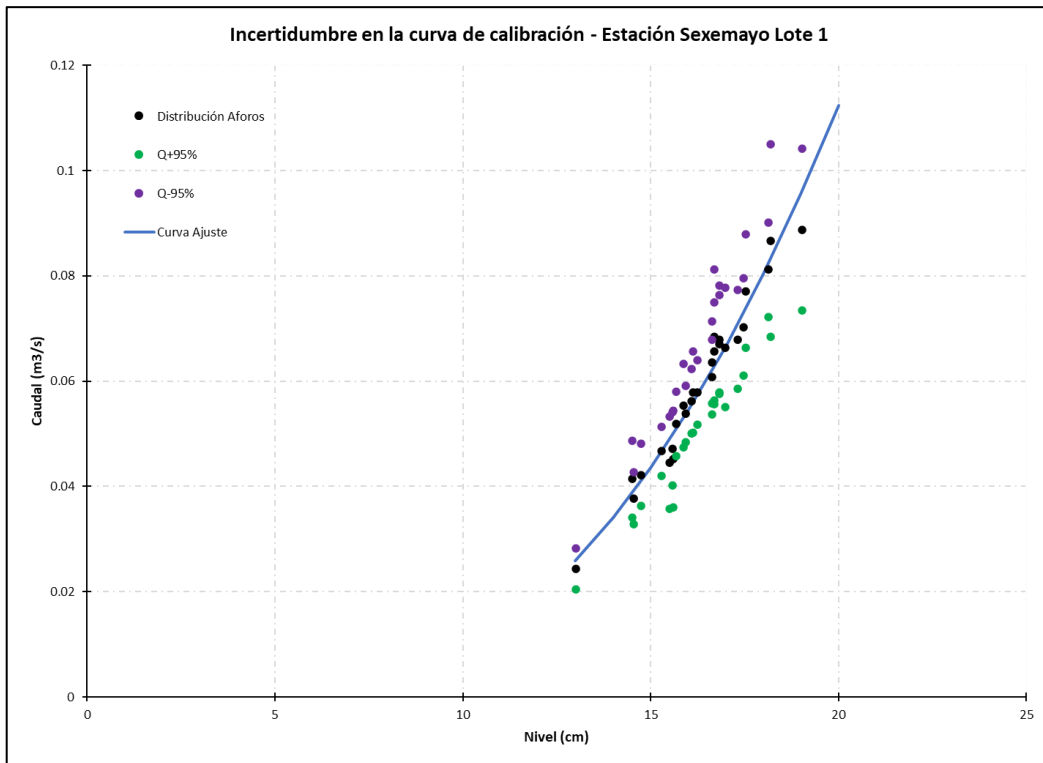


Figura 70: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

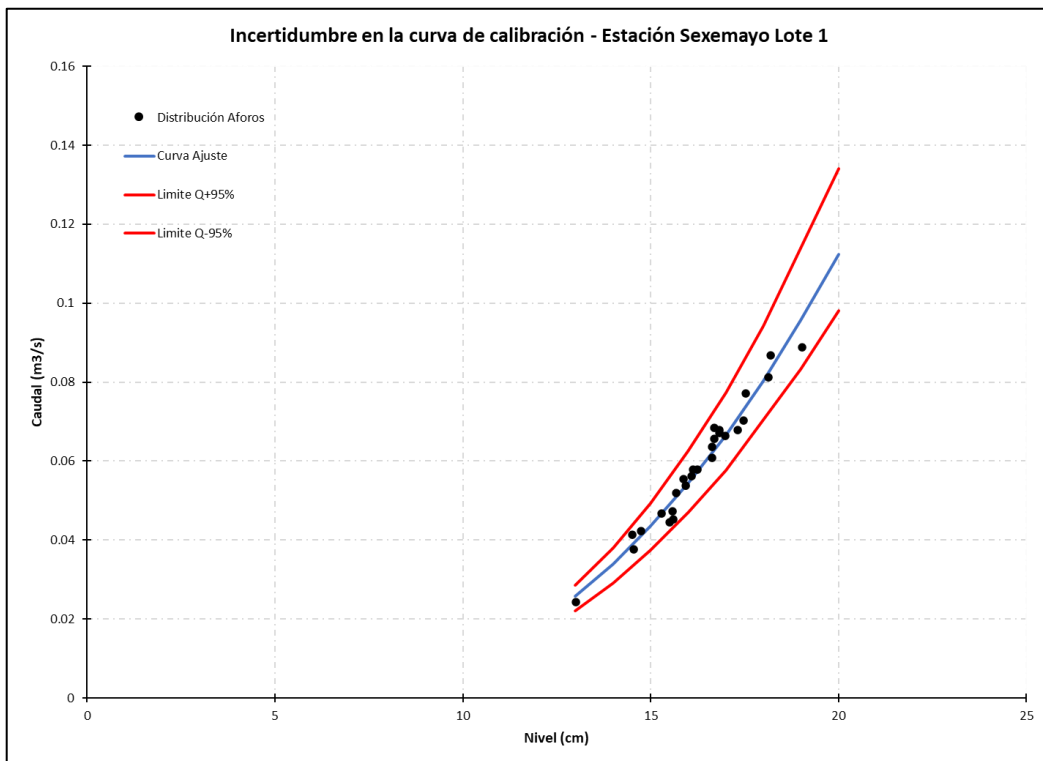


Figura 71: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Sexemayo Lote 1

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

En la estación Charamaya se examinaron 52 registros de aforo utilizando el método de correntómetro del captor ICCOR. De estos, 27 mediciones presentaron una incertidumbre menor o igual al 10%, siendo clasificadas como "buenas". Además, 15 mediciones mostraron una incertidumbre entre 10% y 20%, consideradas "aceptables"; 8 mediciones registraron una incertidumbre entre 20% y 50%, clasificadas como "dudosas". Finalmente, 2 mediciones presentaron una incertidumbre superior al 50%, por lo que fueron catalogadas como "subestimadas" o "sobreestimadas". La Tabla 12 muestra los valores porcentuales de esta incertidumbre para cada valor de caudal.

Tabla 12: Cuantificación de la incertidumbre global para la estación Charamaya

Date	Qg	Qrc	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	Estado $\epsilon 2$	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
09/11/2023 14:10	0.1	0.1	16%	6%	Bueno	0.1	0.1	21%
09/02/2024 11:50	0.2	0.2	12%	8%	Bueno	0.1	0.2	20%
10/02/2024 11:30	0.2	0.2	12%	6%	Bueno	0.1	0.2	18%
14/02/2024 08:56	0.6	0.6	12%	3%	Bueno	0.5	0.7	14%
15/02/2024 10:12	0.6	0.6	11%	8%	Bueno	0.5	0.7	18%
16/02/2024 01:12	0.6	0.6	12%	2%	Bueno	0.5	0.7	14%
16/02/2024 13:12	0.6	0.6	12%	2%	Bueno	0.5	0.7	14%
05/03/2024 10:30	2.3	2.3	9%	1%	Bueno	2.1	2.5	10%
06/03/2024 10:55	2.9	2.7	10%	8%	Bueno	2.4	3.4	17%
07/03/2024 10:10	2.4	2.4	10%	1%	Bueno	2.1	2.7	11%
09/03/2024 10:30	2.5	2.5	11%	0%	Bueno	2.2	2.7	11%
02/04/2024 10:40	1.0	0.9	10%	2%	Bueno	0.9	1.1	12%
03/04/2024 10:10	1.0	0.9	10%	7%	Bueno	0.8	1.2	16%
04/04/2024 10:05	0.9	0.9	11%	2%	Bueno	0.8	1.0	13%
04/04/2024 13:30	0.9	0.8	10%	7%	Bueno	0.8	1.0	16%
05/04/2024 10:30	0.8	0.8	10%	1%	Bueno	0.7	0.9	11%
06/04/2024 10:45	0.7	0.8	10%	8%	Bueno	0.6	0.8	17%
07/04/2024 10:27	0.7	0.7	10%	4%	Bueno	0.6	0.8	13%
07/04/2024 13:07	0.7	0.8	10%	7%	Bueno	0.6	0.8	16%
08/04/2024 11:25	0.8	0.8	10%	5%	Bueno	0.7	0.9	15%
12/04/2024 09:10	1.0	0.9	10%	5%	Bueno	0.8	1.1	15%
12/04/2024 13:10	0.9	0.8	10%	7%	Bueno	0.8	1.1	17%
13/04/2024 11:17	0.8	0.7	10%	2%	Bueno	0.7	0.8	12%
14/04/2024 09:54	0.7	0.7	10%	6%	Bueno	0.6	0.8	15%
15/04/2024 10:20	0.6	0.6	10%	4%	Bueno	0.5	0.7	13%
16/04/2024 11:50	0.6	0.5	10%	6%	Bueno	0.5	0.7	16%
17/04/2024 12:20	0.5	0.5	10%	3%	Bueno	0.4	0.5	13%

En la curva de calibración de la estación Charamaya se analizaron los aforos mediante bandas de confianza al 95% (Q \pm 95%). Las bandas incluyen aforos en verde (Q+95%) y

morado (Q-95%), representando un intervalo donde el caudal verdadero tiene un 95% de probabilidad de encontrarse dentro de las bandas. Los aforos negros corresponden al método del correntómetro (ICCOR) y fueron filtrados con base en el parámetro ϵ_2 . Solo los datos con ϵ_2 menor al 10% y clasificados como "Bueno" se consideraron válidos.

A continuación, se presentan los resultados mediante gráficas de la incertidumbre.

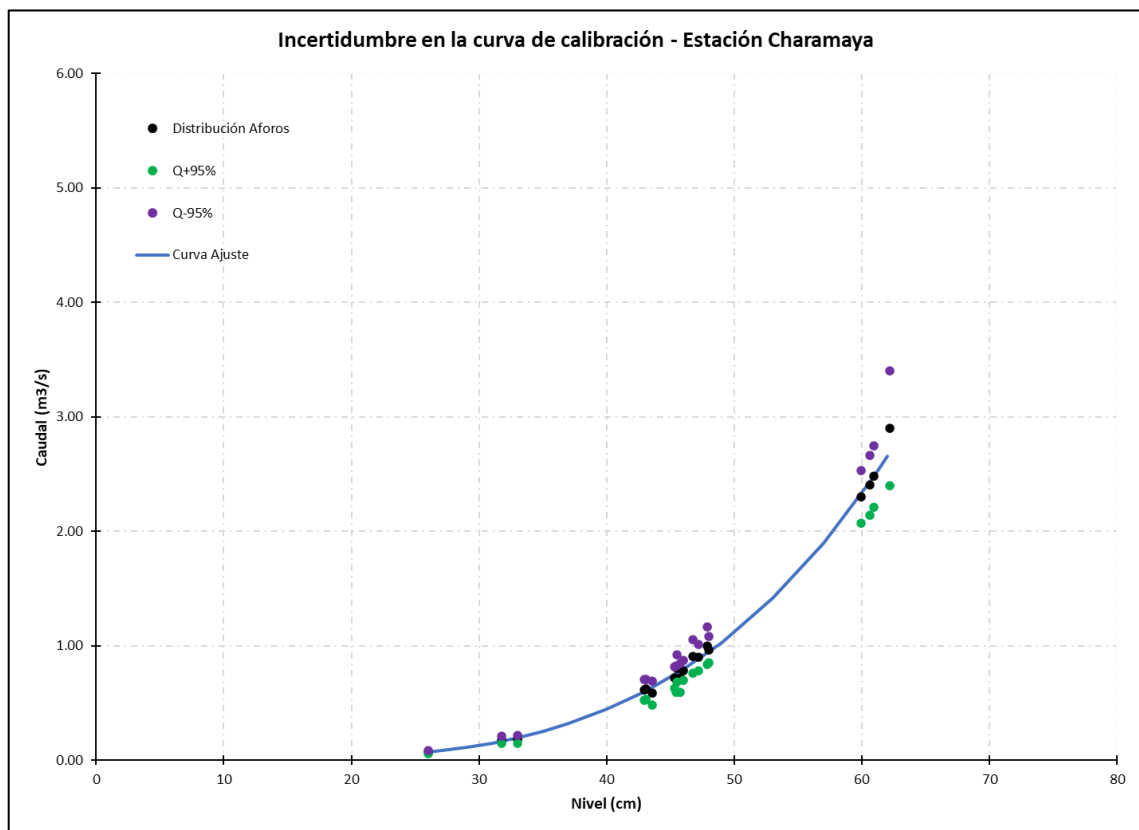


Figura 72: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

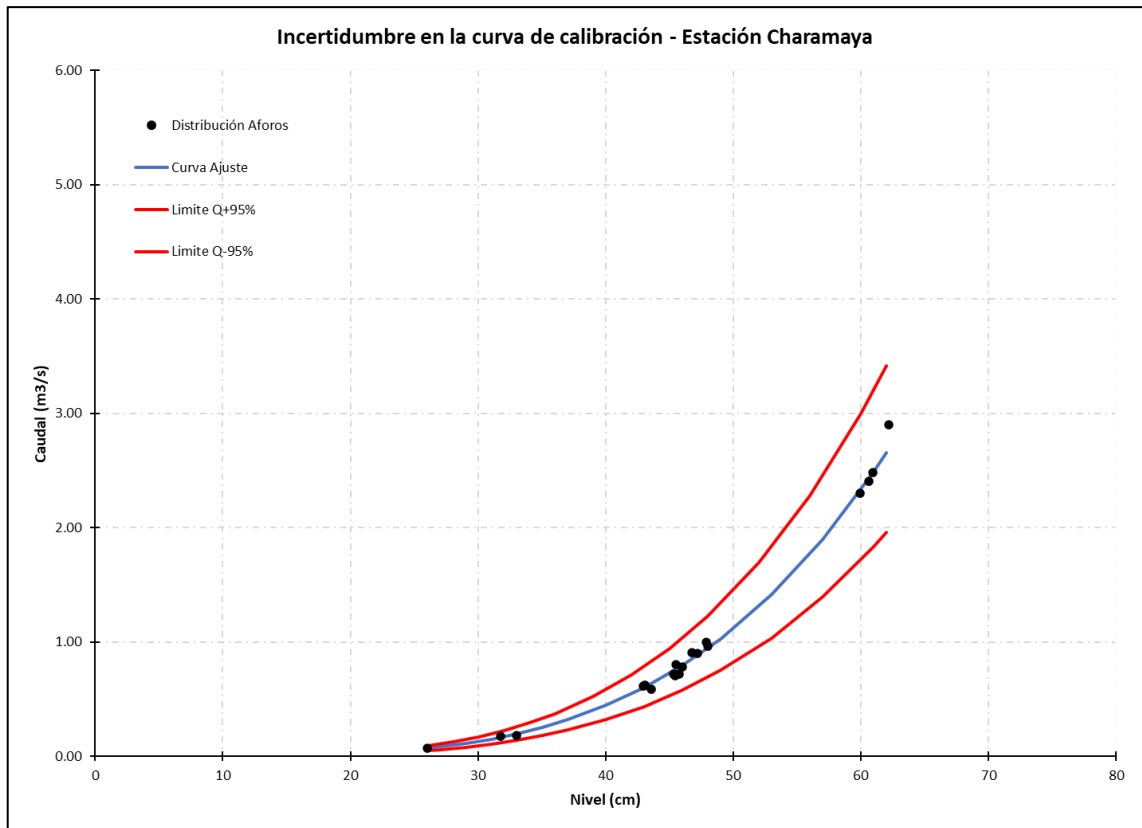


Figura 73: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Charamaya

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

En la estación Conaviri se revisaron 40 registros de aforo utilizando el método correntómetro del captor ICCOR. De estos registros, 17 mostraron una incertidumbre menor o igual al 10%, clasificándolos como "buenos". Además, 18 registros presentaron una incertidumbre entre 10% y 20%, considerados "aceptables", 4 registros tuvieron una incertidumbre entre 20% y 50%, clasificados como "dudosos". Finalmente, solo un registro presentó una incertidumbre mayor al 50%, catalogados como "subestimados" o "sobrestimados". La Tabla 13 muestra los valores porcentuales de esta incertidumbre para cada valor de caudal.

Tabla 13: Cuantificación de la incertidumbre global para la estación Conaviri

Date	Qg	Qrc	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	Estado $\epsilon 2$	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
22/02/2024 10:00	0.4	0.4	16%	7%	Bueno	0.3	0.5	23%
23/02/2024 11:00	0.3	0.3	16%	9%	Bueno	0.2	0.4	24%
25/02/2024 10:26	0.5	0.5	16%	4%	Bueno	0.4	0.6	20%
25/02/2024 12:33	1.1	1.1	16%	4%	Bueno	0.9	1.4	19%
27/02/2024 09:43	1.2	1.2	16%	4%	Bueno	1.0	1.5	19%
28/02/2024 14:20	0.8	0.8	16%	7%	Bueno	0.7	1.0	22%
18/03/2024 07:05	1.9	1.7	16%	7%	Bueno	1.4	2.3	23%
20/03/2024 14:23	1.2	1.2	16%	3%	Bueno	1.0	1.4	19%
22/03/2024 14:00	0.9	0.9	16%	7%	Bueno	0.7	1.0	23%
23/03/2024 10:22	0.8	0.9	16%	9%	Bueno	0.6	1.0	25%
23/03/2024 14:47	0.8	0.9	16%	9%	Bueno	0.6	1.0	24%
24/03/2024 09:34	0.8	0.8	16%	0%	Bueno	0.7	0.9	16%
24/03/2024 14:30	0.7	0.8	16%	3%	Bueno	0.6	0.9	19%
27/03/2024 13:36	0.6	0.7	16%	7%	Bueno	0.5	0.8	23%
28/03/2024 08:29	0.8	0.9	16%	7%	Bueno	0.6	1.0	22%
29/03/2024 09:10	0.8	0.9	16%	7%	Bueno	0.6	1.0	23%
29/03/2024 14:00	0.8	0.9	16%	9%	Bueno	0.6	1.0	25%

En la curva de calibración de la estación Conaviri se analizaron los aforos mediante bandas de confianza al 95% ($Q \pm 95\%$). Las bandas incluyen aforos en verde ($Q+95\%$) y morado ($Q-95\%$), representando un intervalo donde el caudal verdadero tiene un 95% de probabilidad de encontrarse dentro de las bandas. Los aforos negros corresponden al método del correntómetro (ICCOR) y fueron filtrados con base en el parámetro $\epsilon 2$. Solo los datos con $\epsilon 2$ menor al 10% y clasificados como "Bueno" se consideraron válidos.

A continuación, se presentan los resultados mediante gráficas de la incertidumbre.

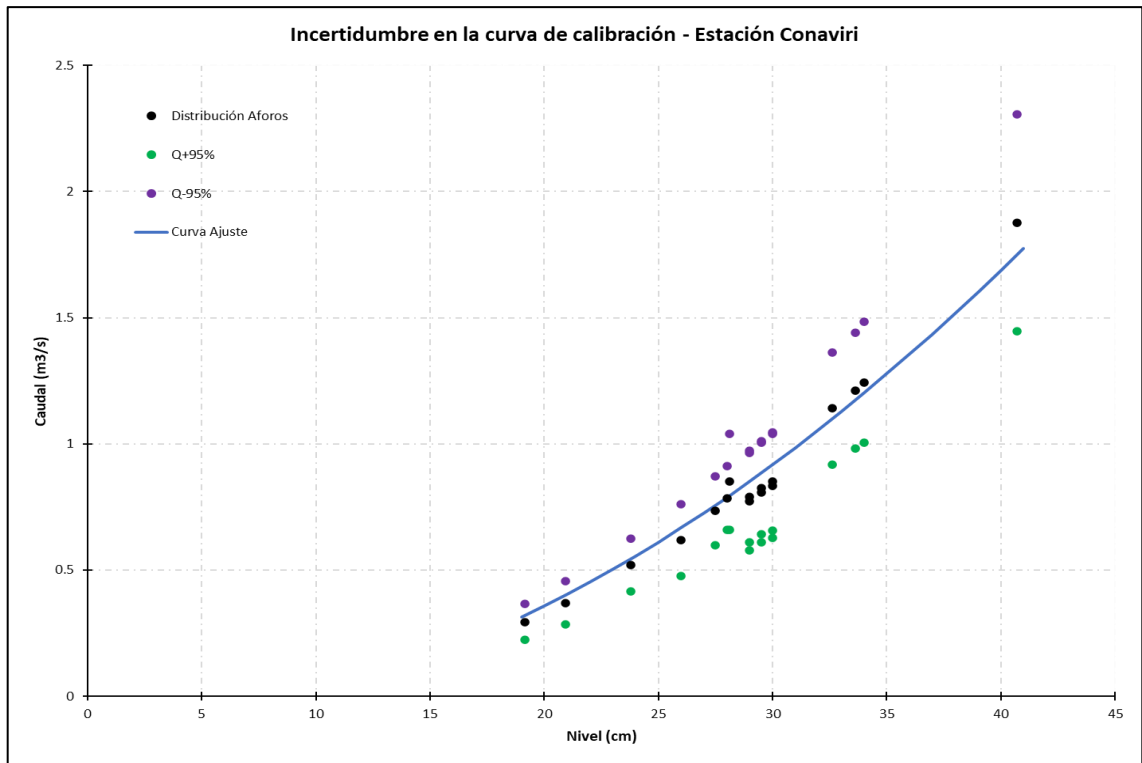


Figura 74: Distribución de aforos con un nivel de confianza al 95%, estableciendo los límites correspondientes a la incertidumbre asociada.

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

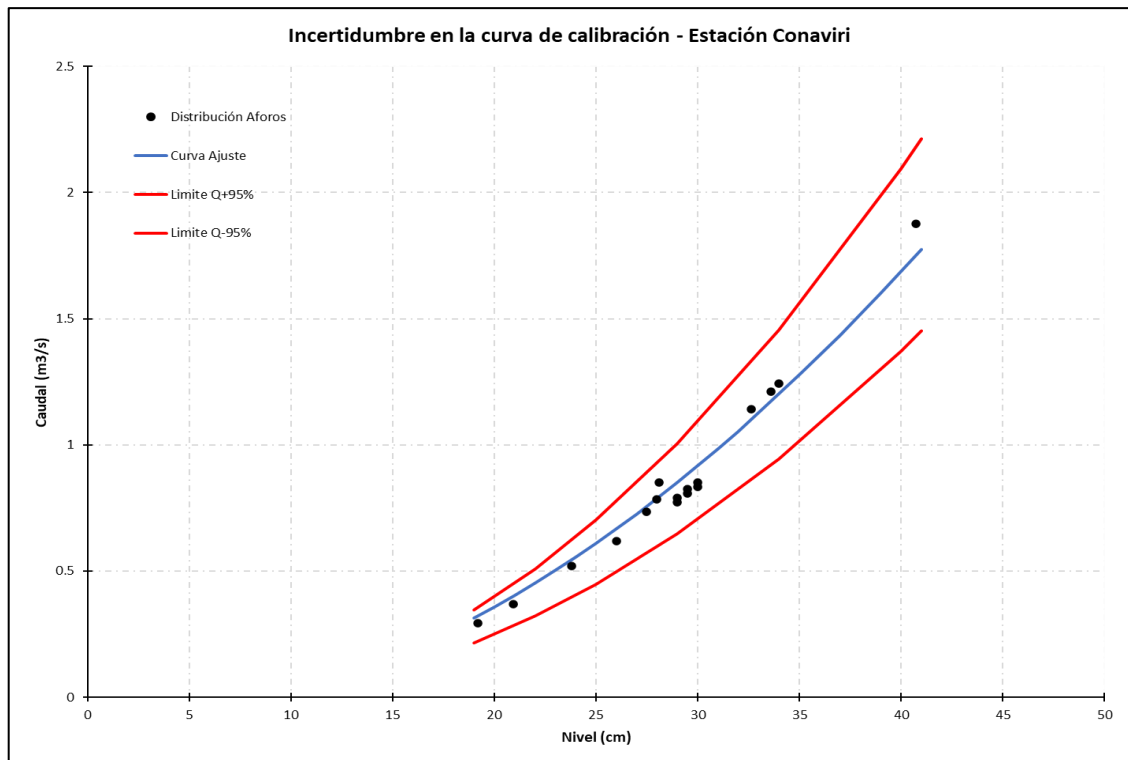


Figura 75: Curva de calibración con aforos ICCOR, ajuste modelado y límites de incertidumbre al 95% para la Estación Conaviri

FUENTE: Elaboración propia con datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2024).

4.6. Análisis estadístico

Los resultados del análisis de bondad de ajuste mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, con un nivel de significancia del 5 %, indican que todas las estaciones evaluadas presentan distribuciones aceptadas (Tabla 14). La estación Huancayocc mostró el mejor ajuste con la distribución L-Moments EV2 (Valor Máximo), Luricocha y Charamaya con Log-Pearson III, Sexemato con L-Moments Pareto y Conaviri con Pearson III. Los valores de D_{max} estuvieron por debajo del valor crítico en todos los casos, lo que valida estadísticamente las distribuciones seleccionadas.

Tabla 14: Prueba de Kolmogorov-Smirnov y distribución de mejor ajuste por estación

Estación	D_{imax}	$\alpha = 5\%$ (Nivel de confianza)	Distribución de mejor ajuste
Huancayocc	0.05010	ACEPTADA	L-Moments EV2 (Valor Máximo)
Luricocha	0.10133	ACEPTADA	Log-Pearson III
Sexemato	0.07549	ACEPTADA	L-Moments Pareto
Charamaya	0.07634	ACEPTADA	Log-Pearson III
Conaviri	0.07760	ACEPTADA	Pearson III

V. CONCLUSIONES

- El estudio comparó métodos de aforo en cinco estaciones hidrométricas multirregionales durante la época húmeda en Ayacucho, Cajamarca y Puno, encontrando una correlación significativa en caudales menores a 1 m³/s y mayor variabilidad en caudales elevados. Las limitaciones incluyen diferencias en la precisión entre métodos, especialmente en flujos altos, y la dependencia de ciertos dispositivos, como la videocámara, para registrar caudales máximos. Los resultados destacan que, aunque los métodos tradicionales y modernos ofrecen alta precisión en caudales bajos, presentan desafíos metodológicos en condiciones hidrológicas altas.
- Se cuantificaron los caudales en cada estación empleando diversas metodologías de aforo, incluyendo correntómetro, trazador químico, flotador y videocámara, evidenciando que cada método presenta ventajas y limitaciones según el contexto hidrológico. El correntómetro fue el más confiable en caudales bajos, mientras que el flotador se destacó en ríos de baja velocidad. El trazador químico mostró limitaciones en flujos con poca turbulencia, como en la estación Sexemayo Lote 1, lo que restringe su aplicabilidad en arroyos con insuficiente mezcla de flujo. En caudales elevados, la videocámara demostró ser útil, pero su precisión depende de condiciones ópticas y requiere validación con otros métodos. La selección de la metodología de aforo debe adaptarse a las características específicas de cada río para mejorar la precisión de las mediciones.
- El desarrollo de curvas de gasto líquido mediante el software Hydraccess permitió evidenciar la heterogeneidad de los recursos hídricos en el Perú y facilitar la predicción de caudales máximos. Se observó una notable variabilidad entre las estaciones, con caudales altos en Huancayo y Luricocha, y caudales bajos en Sexemayo. Además, la mayor disponibilidad hídrica en Charamaya y Conaviri representa una oportunidad para implementar estrategias de gestión que beneficien a las comunidades locales. Sin embargo, estos hallazgos subrayan la necesidad de un monitoreo continuo para evaluar el impacto del cambio climático y la efectividad de medidas de control de inundaciones en cada cuenca.

- El análisis de incertidumbre en las mediciones de caudal durante la época húmeda reveló valores que oscilaron entre el 10% y el 28%, con las mayores incertidumbres asociadas al correntómetro en comparación con las curvas de calibración. Se determinó que la incertidumbre es más alta en caudales extremos, donde la variabilidad de las mediciones es mayor. Esto subraya la importancia de aplicar criterios de filtrado rigurosos, como el parámetro ϵ_2 y las bandas de confianza al 95%, para mejorar la precisión de las estimaciones de caudal. La implementación de estrategias de control y calibración periódica en las estaciones hidrométricas permitirá reducir los márgenes de error y fortalecer la confiabilidad de los registros hidrológicos en estudios futuros.
- El análisis estadístico mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, aplicado en Hydrognomon, permitió identificar la distribución de mejor ajuste para cada estación hidrométrica. Huancayoc se ajusta a L-Moments EV2-Max, Luricocha a Log-Pearson III, Sexemayo a L-Moments Pareto, Charamaya a Log-Pearson III y Conaviri a Pearson III. Los resultados evidencian que cada serie de caudales presenta un comportamiento probabilístico distinto y que las distribuciones seleccionadas fueron aceptadas bajo un nivel de significancia del 5 %, validando así la representatividad estadística de las series de caudales.

VI. RECOMENDACIONES

Con base en los hallazgos y limitaciones del estudio, se proponen las siguientes recomendaciones para mejorar la medición de caudales en distintos contextos.

- Para caudales altos, se recomienda utilizar métodos alternativos para corroborar la precisión de los aforos obtenidos mediante el método de videocámara, especialmente durante eventos de crecidas. En caudales poco turbulentos y de baja velocidad, el método de flotador y correntómetro resulta efectivo, mientras que el trazador químico debe evitarse en estos casos. Para caudales turbulentos y con alta pendiente, se sugiere emplear el trazador químico y el correntómetro como métodos de referencia.
- Se recomienda aplicar calibraciones específicas para cada estación hidrométrica, empleando curvas de gasto líquido basadas en los niveles registrados por las estaciones hidrométricas. Esto optimizará la precisión de las mediciones nivel-caudal y permitirá una mejor representación de las variaciones regionales en el flujo hídrico. Además, es aconsejable complementar la ecuación hidráulica de Hydraccess con datos de caudales adicionales para obtener una curva de ajuste más robusta en estaciones con flujos variables.
- Emplear un único tipo de sensor registrador de niveles en cada estación, garantizando así la homogeneidad en los datos y minimizando la dispersión causada por el cambio de sensores. Además, es fundamental que la compensación avanzada de niveles esté alineada con los caudales observados en campo para reducir la incertidumbre en las mediciones.
- Emplear métodos de cuantificación de incertidumbre para el método de flotador, trazador químico y videocámara, para evaluar el porcentaje de error en caudales y comparar con los resultados obtenidos mediante el correntómetro. Esto permitirá una evaluación más robusta y precisa de los caudales en los límites de confiabilidad de cada curva por método.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abrantes, J.R.C.B., Moruzzi, R.B., Silveira, A., & De Lima, J.L.M.P. (2018). Comparison of thermal, salt and dye tracing to estimate shallow flow velocities: Novel triple-tracer approach. *Journal of Hydrology*, 557, 362-377. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.048>
- Ali, G., & Maghrebi, M.F. (2023). A robust approach for the derivation of rating curves using minimum gauging data. *Journal of Hydrology*, 623, 129609. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129609>
- Arboleda Orozco, J.F., Felipe-Obando, O., & Yerrén Suarez, J.E. (2018). *Manual de hidrometría. Documento Técnico N° 001 SENAMHI-DHI-2018*. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/264>
- Bertoldi, W., Zanoni, L., & Tubino, M. (2010). Assessment of morphological changes induced by flow and flood pulses in a gravel bed braided river: The Tagliamento River (Italy). *Geomorphology*, 114(3), 348-360. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.07.017>
- Boiten, W. (2003). *Hydrometry: IHE Delft Lecture Note Series (1st ed.)*. CRC Press. Balkema. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780203971093>
- Chen, Y., & Chiu, C. (2004). A fast method of flood discharge estimation. *Hydrological Processes*, 18(9), 1671-1684. <https://doi.org/10.1002/hyp.1476>
- Chow, V.T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- Cotton, J.A., Wharton, G., Bass, J.A.B., Heppell, C.M., & Wotton, R.S. (2006). The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment. *Geomorphology*, 77(3-4), 320-334. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.010>
- Despax, A., Perret, C., Garçon, R., Hauet, A., Belleville, A., Le Coz, J., & Favre, A.-C. (2016). Considering sampling strategy and cross-section complexity for estimating the uncertainty of discharge measurements using the velocity-area method. *Journal of Hydrology*, 533, 128-140. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.048>

- Di Baldassarre, G., & Montanari, A. (2009). Uncertainty in river discharge observations: A quantitative analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*
- Dobriyal, P., Badola, R., Tuboi, C., & Hussain, S.A. (2017). A review of methods for monitoring streamflow for sustainable water resource management. *Applied Water Science*, 7(6), 2617-2628. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0488-y>
- Dobson, D.W., Todd Holland, K., & Calantoni, J. (2014). Fast, large-scale, particle image velocimetry-based estimations of river surface velocity. *Computers & Geosciences*, 70, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.05.007>
- Elder, K., & Kattelmann, R. (1990). Refinements in dilution gauging for mountain streams. (*Issue 193*). *IAHS Publ.* <https://www.researchgate.net/publication/242578259>
- Esri. (2016). *ArcGIS Desktop* (Versión 10.5) [Software de sistema]. <https://www.esri.com>
- European ISO EN Rule 748. (2007). *Hydrometry—Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats*. BSI British Standards. <https://doi.org/10.3403/30123552>
- Farina, G., Alvisi, S., Franchini, M., Corato, G., & Moramarco, T. (2015). Estimation of bathymetry (and discharge) in natural river cross-sections by using an entropy approach. *Journal of Hydrology*, 527, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.037>
- Fortesa, J., García-Comendador, J., Calsamiglia, A., López-Tarazón, J. A., Latron, J., Alorda, B., & Estrany, J. (2019). Comparison of stage/discharge rating curves derived from different recording systems: Consequences for streamflow data and water management in a Mediterranean island. *Science of The Total Environment*, 665, 968-981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.158>
- Fujita, I., Watanabe, H., & Tsubaki, R. (2007). Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space-time image velocimetry (STIV). *International Journal of River Basin Management*, 5(2), 105-114. <https://doi.org/10.1080/15715124.2007.9635310>
- García Parra, B., Peña Rojas, L.E., Barrios, M., & Múnera Estrada, J.C. (2016). Uncertainty of discharge estimation in high-grade Andean streams. *Flow Measurement and Instrumentation*, 48, 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2016.02.005>
- Gore, J.A., & Banning, J. (2017). Discharge Measurements and Streamflow Analysis. En *Methods in Stream Ecology, Volume 1* (pp. 49-70). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416558-8.00003-2>
- Hamilton, S., Watson, M., & Pike, R. (2019). The Role of the Hydrographer in Rating Curve

- Development. *Confluence: Journal of Watershed Science and Management*, 3(1).
<https://doi.org/10.22230/jwsm.2019v3n1a11>
- Hauet, A., Creutin, J.-D., & Belleudy, P. (2008). Sensitivity study of large-scale particle image velocimetry measurement of river discharge using numerical simulation. *Journal of Hydrology*, 349(1-2), 178-190.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.10.062>
- Hudson, R., & Fraser, J. (2002). *Alternative methods of flow rating in small Coastal streams. Forest research extensionnote EN-014, 11*. Nanaimo, BC: British Columbia ForestService, Vancouver Forest Region.
- IGP. (2024). *Base de datos integral de Hidrometría del PP0089, “Reducción de la degradación de Suelos Agrario”*. Instituto Geofísico del Perú. [Base de datos de acceso restringido]. [Dataset].
- JetBrains. (2024). *Pycharm* (Versión 2024.1.4) [Software de desarrollo integrado].
<https://www.jetbrains.com/es-es/pycharm/>
- Jiang, C., Zhu, D., Li, H., Liu, X., & Li, D. (2023). Improving hydrodynamic modeling of river networks by incorporating data assimilation using a particle filter. *International Journal of Sediment Research*, 38(5), 711-723.
<https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2023.06.001>
- Kim, S.E., Shin, J., Seo, I.W., & Lyu, S. (2016). Development of Stage-discharge Rating Curve Using Hydraulic Performance Graph Model. *Procedia Engineering*, 154, 334-339. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.486>
- Kite, G. (1993). Computerized streamflow measurement using slug injection. *Hydrological Processes*, 7(2), 227-233. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360070212>
- Kozanis, S., Christofides, A., Mamassis, N., Efstratiadis, A., & Demetris Koutsoyiannis. (2010). *Hydrognomon—Open source software for the analysis of hydrological data*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21350.83527>
- Le Coz, J. (2012). *A literature review of methods for estimating the uncertainty associated with stage-discharge relations*.
- Lee, M., Yoo, Y., Joo, H., Kim, K.T., Kim, H.S., & Kim, S. (2021). Construction of rating curve at high water level considering rainfall effect in a tidal river. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100907.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100907>
- Manfreda, S., Pizarro, A., Moramarco, T., Cimorelli, L., Pianese, D., & Barbeta, S. (2020). Potential advantages of flow-area rating curves compared to classic stage-discharge-

- relations. *Journal of Hydrology*, 585, 124752. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124752>
- McMillan, H., Freer, J., Pappenberger, F., Krueger, T., & Clark, M. (2010). Impacts of uncertain river flow data on rainfall-runoff model calibration and discharge predictions. *Hydrological Processes*, 24(10), 1270-1284. <https://doi.org/10.1002/hyp.7587>
- Melesse, G., Melesse, H., & T, D. (2021). Determining the reference basic wind speed in Ethiopia and comparing with compulsory Ethiopian standard CES 145, 2015. *Results in Engineering*, 9, 100209. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100209>
- Microsoft Corporation. (2019). *Microsoft Excel* (Versión 2019) [Software de hoja de cálculo]. Microsoft. <https://www.microsoft.com/excel>
- Morlot, T., Perret, C., Favre, A.-C., & Jalbert, J. (2014). Dynamic rating curve assessment for hydrometric stations and computation of the associated uncertainties: Quality and station management indicators. *Journal of Hydrology*, 517, 173-186. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.007>
- OMM. (2020). *Guía de prácticas hidrológicas: Vol. I: Hidrología – De la medición a la información hidrológica OMM-N° 168* (Edición de 2008). Organización Meteorológica Mundial.
- Patalano, A. (2022). *RIVeR* (Versión 2.6) [Software]. Centro de Investigación y Tecnología del Agua. Universidad Nacional de Córdoba. <https://riverdischarge.blogspot.com/>
- Patalano, A., García, C. M., & Rodríguez, A. (2017). Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV). *Computers & Geosciences*, 109, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.07.009>
- Pelletier, P.M. (1988). Uncertainties in the single determination of river discharge: A literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 15(5), 834-850. <https://doi.org/10.1139/188-109>
- Petersen-Øverleir, A., & Reitan, T. (2009). Accounting for rating curve imprecision in flood frequency analysis using likelihood-based methods. *Journal of Hydrology*, 366(1-4), 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.014>
- Shin, S.S., & Park, S.D. (2021). Application of spherical-rod float image velocimetry for evaluating high flow rate in mountain rivers. *Flow Measurement and Instrumentation*, 78, 101906. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2021.101906>
- Shin, S.S., Park, S.D., & Lee, S.K. (2016). Measurement of Flow Velocity Using Video

- Image of Spherical Float. *Procedia Engineering*, 154, 885-889.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.464>
- Sikorska, A.E., & Renard, B. (2017). Calibrating a hydrological model in stage space to account for rating curve uncertainties: General framework and key challenges. *Advances in Water Resources*, 105, 51-66.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.011>
- Solinst Canada Ltd. (2023a). *Guía del usuario de la serie Levelogger*.
<https://www.solinst.com/espanol/productos/registradores-automaticos/3001-serie-levelogger/instrucciones-de-operacion/3001-user-guide/3001-user-guide.pdf>
- Solinst Canada Ltd. (2023b). *Levelogger* (Versión 4.6.3) [Software].
<https://www.solinst.com/espanol/productos/registradores-automaticos/05-software.php>
- Tauro, F., & Grimaldi, S. (2017). Ice dices for monitoring stream surface velocity. *Journal of Hydro-Environment Research*, 14, 143-149.
<https://doi.org/10.1016/j.jher.2016.09.001>
- Tazioli, A. (2011). Experimental methods for river discharge measurements: Comparison among tracers and current meter. *Hydrological Sciences Journal*, 56(7), 1314-1324.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2011.607822>
- Thollet, F. (2023). *SolutionNaCl* (Versión 2.41) [Software]. Instituto Nacional de Investigación sobre Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de Francia (INRAE).
<https://riverhydraulics.riverly.inrae.fr/outils/logiciels-pour-la-mesure/solution-nacl>
- Thollet, F., Bonazzi, C., Coz, J.L., & Bonnefoy, A. (2021). *Solution NaCl: Un logiciel pour rendre plus accessibles les jaugeages par dilution au sel*. SHF Hydrométrie 2021: de la mesure à la prise de décision, Nov 2021. <https://hal.inrae.fr/hal-03460773v1>
- Tomkins, K.M. (2014). Uncertainty in streamflow rating curves: Methods, controls and consequences: Uncertainty in streamflow rating curves. *Hydrological Processes*, 28(3), 464-481. <https://doi.org/10.1002/hyp.9567>
- Tourian, M.J., Sneeuw, N., Riegger, J., & Bardossy, A. (2012). A new method to derive river discharge from satellite altimetry (ENVISAT). *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 5250-5253.
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6352425>
- Turnipseed, P., & Sauer, V. (2010). *Discharge measurements at gaging stations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 3-A8*.

- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., & Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vauchel, P. (2007a). *Derniers développements du logiciel Hydraccess*. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-05/010041286.pdf
- Vauchel, P. (2007b). *Hydraccess* (Versión 7.1) [Software]. Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD). <https://hybam.obs-mip.fr/es/hydraccess-3/>
- WMO. (2010a). *Manual on stream gauging* (VOLUME I – Fieldwork). World Meteorological Organization.
- WMO. (2010b). *Manual on stream gauging* (II – Computation of discharge). World Meteorological Organization.
- Zounemat-Kermani, M., Kişi, Ö., Adamowski, J., & Ramezani-Charmahineh, A. (2016). Evaluation of data driven models for river suspended sediment concentration modeling. *Journal of Hydrology*, 535, 457-472. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.012>

VIII. ANEXOS

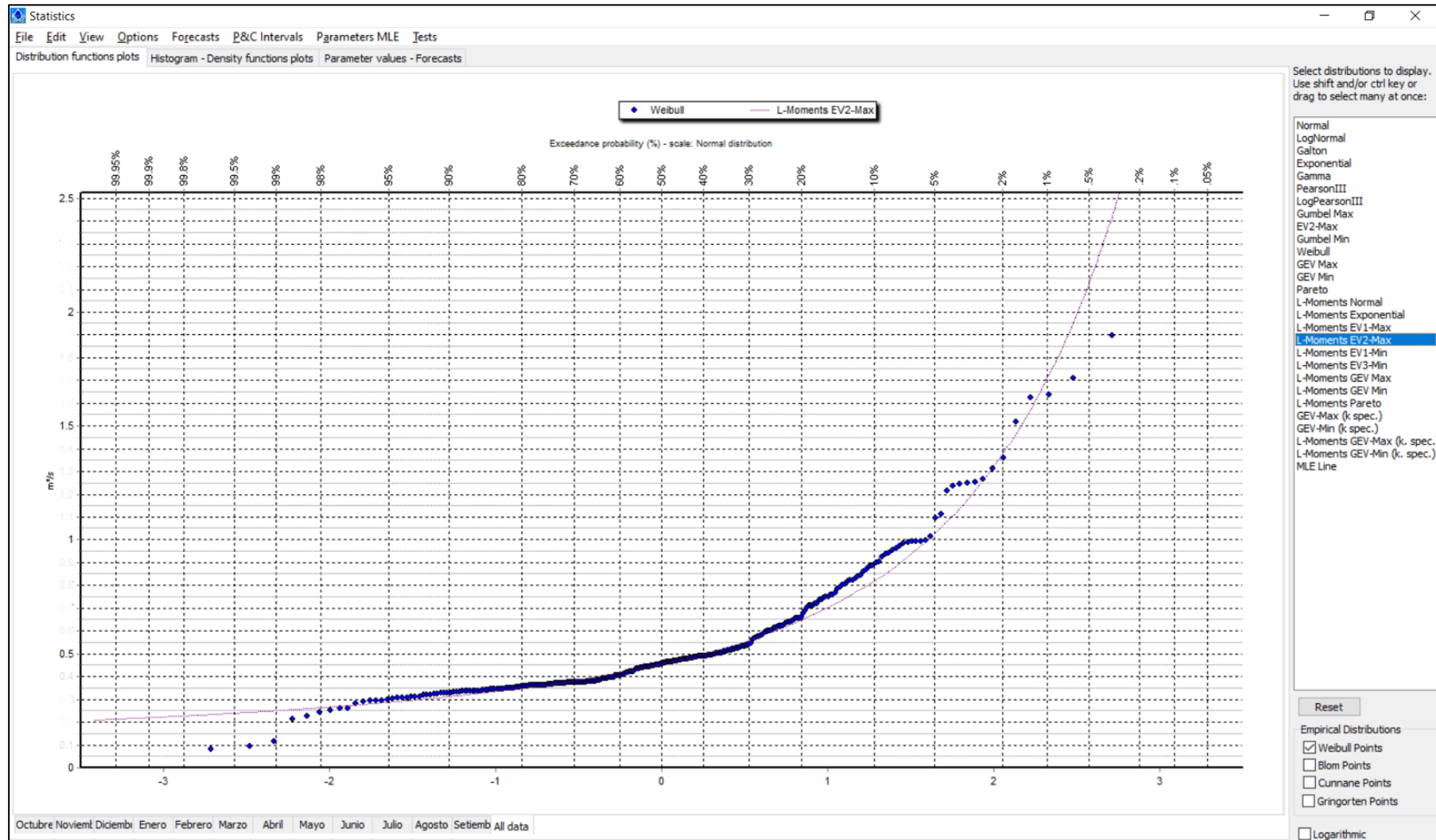
Anexo 1: Colaboradores en la investigación

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera (SCAH), financió la obtención y procesamiento de información como parte de las actividades desarrolladas dentro del Programa Presupuestal por Resultados N° 0089, enfocado a la “Reducción de la degradación de Suelos Agrario”. Estos datos fueron empleados para la elaboración de la presente tesis de pregrado y para optar al título de Ingeniero Agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Además, el M. Sc. (c) Ing. Kithner Alfonso Espinoza Varillas, especialista de investigación en modelamiento hidrológico, hidro-sedimentología y erosión del IGP, supervisó las diferentes etapas del desarrollo de la presente investigación.

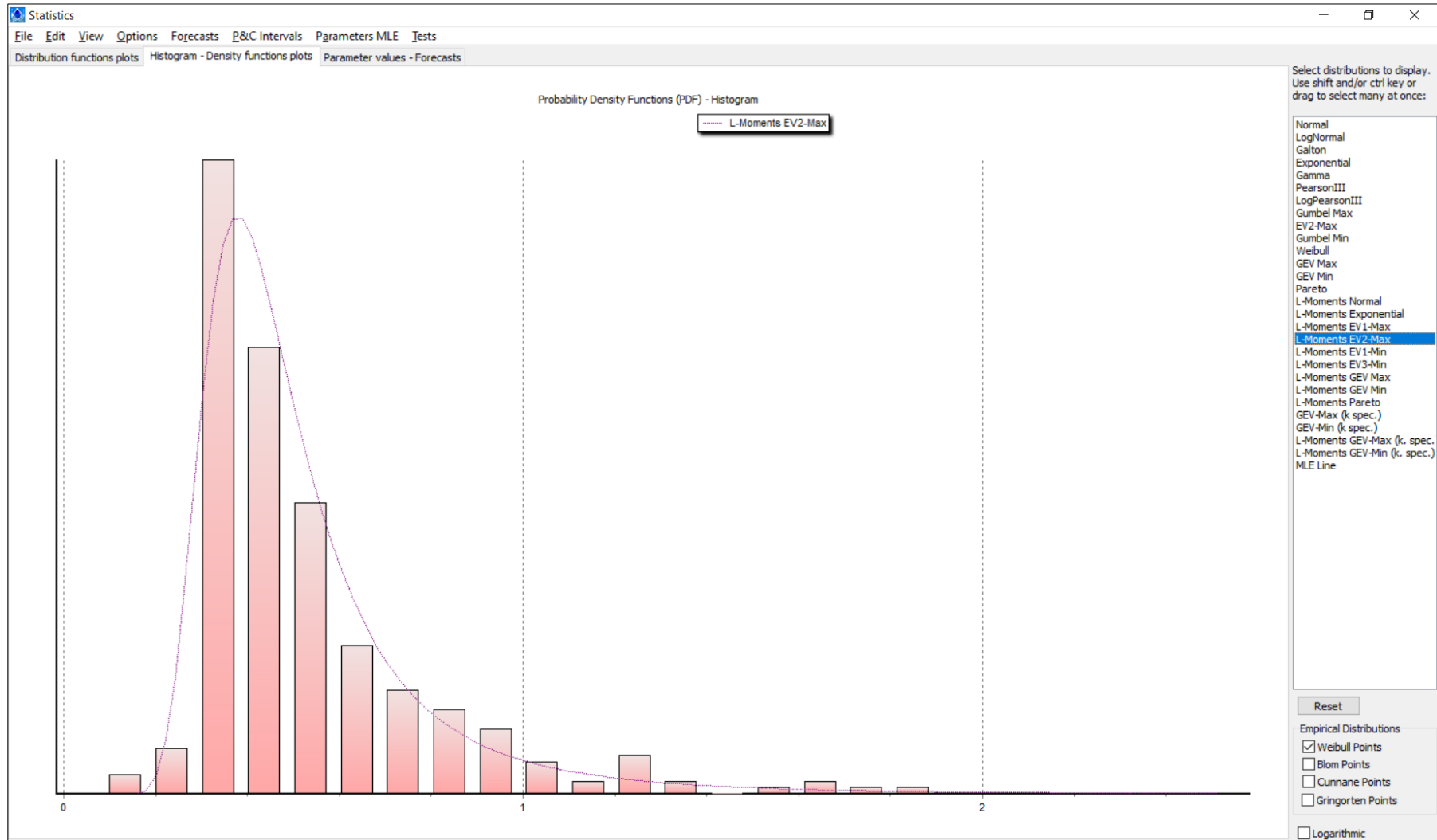
- Instituto Geofísico del Perú (IGP):



Anexo 2: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Huancayoc mediante la distribución L-Moments EV2-Max



Anexo 3: Histograma de la serie de caudales de la estación Huancayocc utilizando la distribución L-Moments EV2-Max, que presenta el mejor ajuste



Anexo 4: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Huancayoc a distintas distribuciones estadísticas

Statistics

File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests

Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.19352
Normal (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.19514
LogNormal	REJECT	REJECT	REJECT	0.02580%	0.12137
Galton	REJECT	REJECT	REJECT	0.22341%	0.10573
Exponential	REJECT	REJECT	REJECT	0.07180%	0.11422
Exponential (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.76831%	0.09564
Gamma	REJECT	REJECT	REJECT	0.00069%	0.14379
Pearson III	REJECT	REJECT	REJECT	0.14683%	0.10895
Log Pearson III	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.58023%	0.08923
EV1-Max (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00551%	0.13141
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	0.16573%	0.10803
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.26402
EV3-Min (Weibull)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00004%	0.15920
GEV-Max	REJECT	REJECT	REJECT	0.29126%	0.10365
GEV-Min	REJECT	REJECT	REJECT	0.14953%	0.10881
Pareto	REJECT	REJECT	REJECT	%	1.04885
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.1506%	0.05675
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.87045%	0.08766
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.01296%	0.12595
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43.0206%	0.05010
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.26461
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.17020
Pareto (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	1.45082
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.53874%	0.08947
GEV-Min (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.22604
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.45236%	0.08508
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.22682

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once:

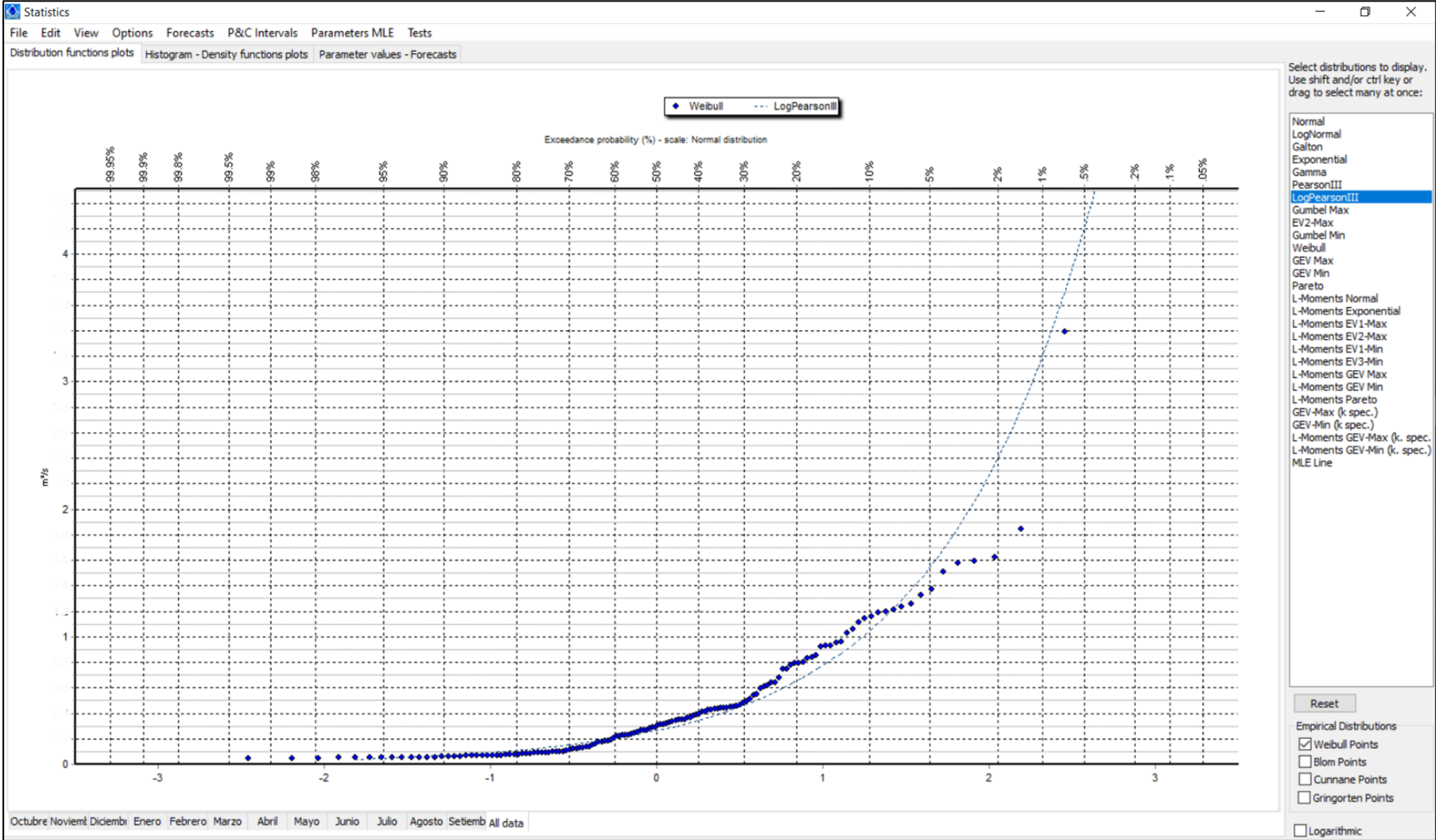
- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- Gumbel Max
- EV2-Max
- Gumbel Min
- Weibull
- GEV Max
- GEV Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV3-Min
- L-Moments GEV Max
- L-Moments GEV Min
- L-Moments Pareto
- GEV-Max (k spec.)
- GEV-Min (k spec.)
- L-Moments GEV-Max (k spec.)
- L-Moments GEV-Min (k spec.)
- MLE Line

Reset

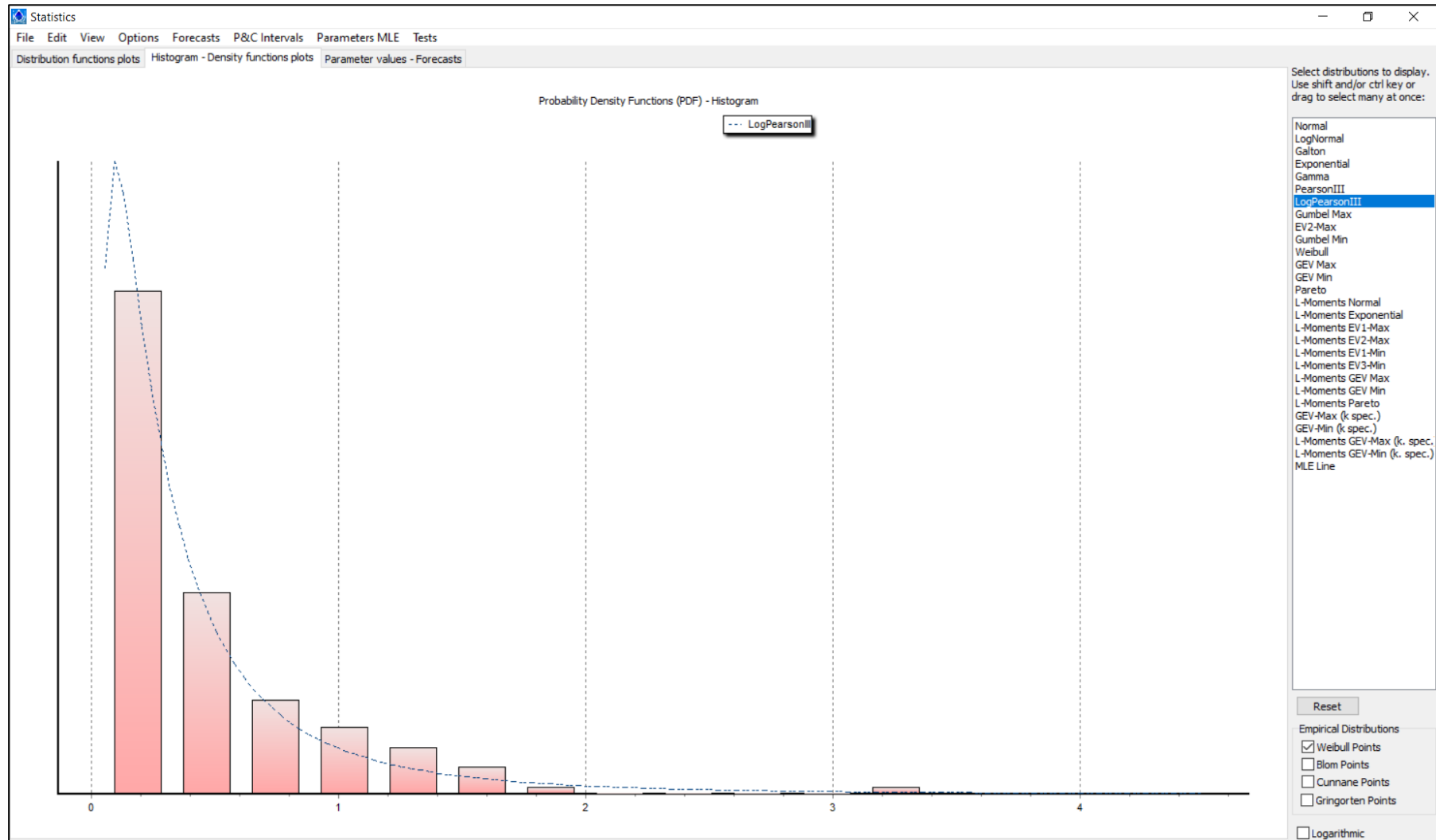
Empirical Distributions

- Weibull Points
- Blom Points
- Cunnane Points
- Gringorten Points
- Logarithmic

Anexo 5: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Luricocha mediante la distribución LogPearsonIII



Anexo 6: Histograma de la serie de caudales de la estación Luricocha utilizando la distribución LogPearsonIII, que presenta el mejor ajuste



Anexo 7: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Huancayocc a distintas distribuciones estadísticas

Statistics					
File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests					
Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts					
Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	0.00331%	0.19688
Normal (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.02017%	0.18000
LogNormal	REJECT	REJECT	REJECT	0.01420%	0.18341
Galton	REJECT	REJECT	REJECT	0.63482%	0.14232
Exponential	REJECT	REJECT	REJECT	0.30477%	0.15113
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.55839%	0.13074
Gamma	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.51544%	0.12413
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	36.5104%	0.07724
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	10.8269%	0.10133
EV1-Max (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00680%	0.19034
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.34737
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.25169
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	REJECT	REJECT	4.29153%	0.11631
GEV-Max	REJECT	REJECT	REJECT	0.35751%	0.14926
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	23.6863%	0.08664
Pareto	ACCEPT	REJECT	REJECT	4.60221%	0.11524
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.10569%	0.10430
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.7767%	0.09841
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.24576%	0.15362
EV2-Max (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00002%	0.23960
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.25044
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	4.93314%	0.11418
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	11.8037%	0.09982
GEV-Max (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	0.54751%	0.14414
GEV-Min (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00043%	0.21442
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.08137%	0.13557
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00052%	0.21278

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once:

- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- Gumbel Max
- EV2-Max
- Gumbel Min
- WEibull
- GEV Max
- GEV Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV3-Min
- L-Moments GEV Max
- L-Moments GEV Min
- L-Moments Pareto
- GEV-Max (k spec.)
- GEV-Min (k spec.)
- L-Moments GEV-Max (k. spec.)
- L-Moments GEV-Min (k. spec.)
- MLE Line

Reset

Empirical Distributions

Weibull Points

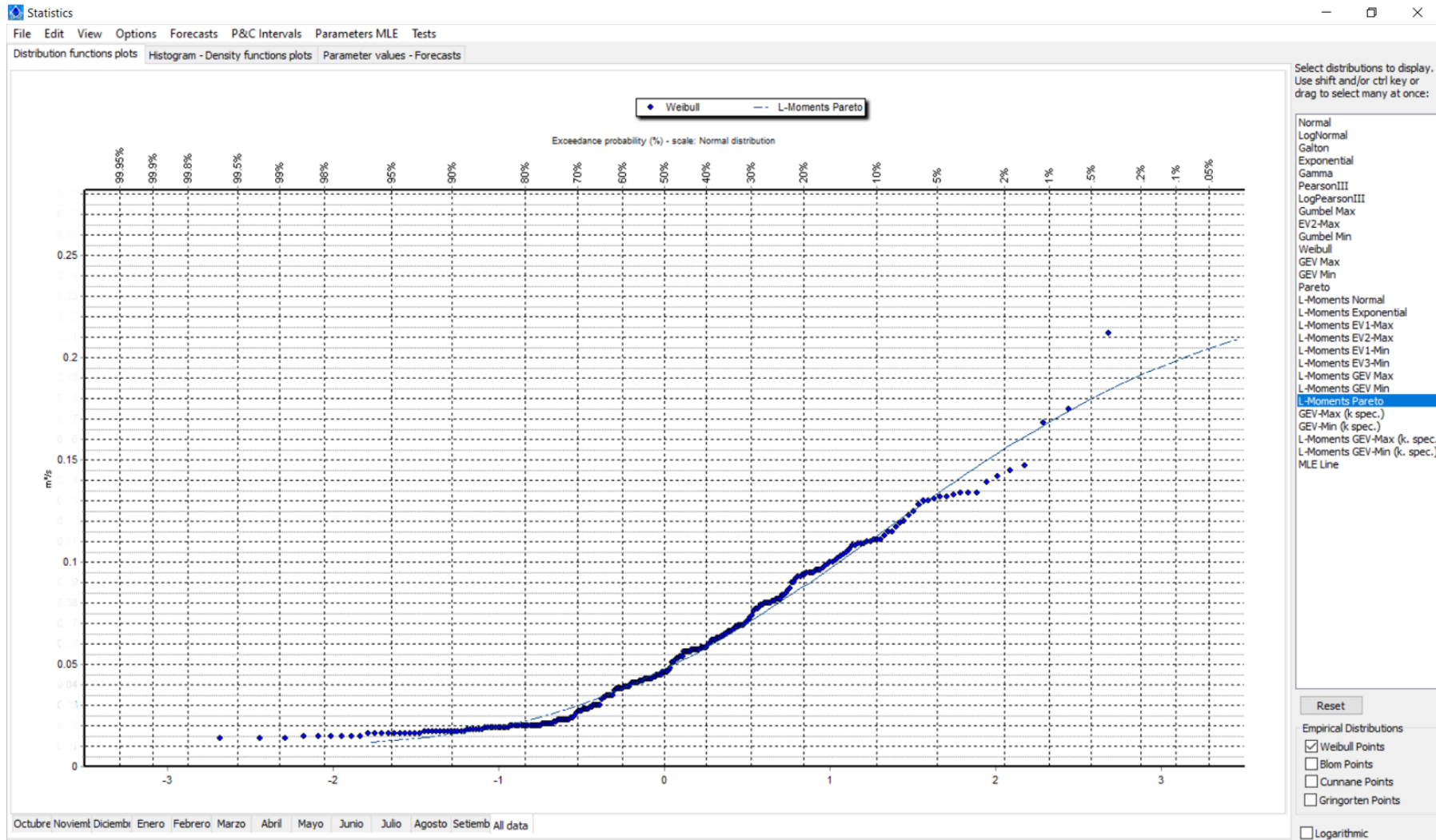
Blom Points

Cunnane Points

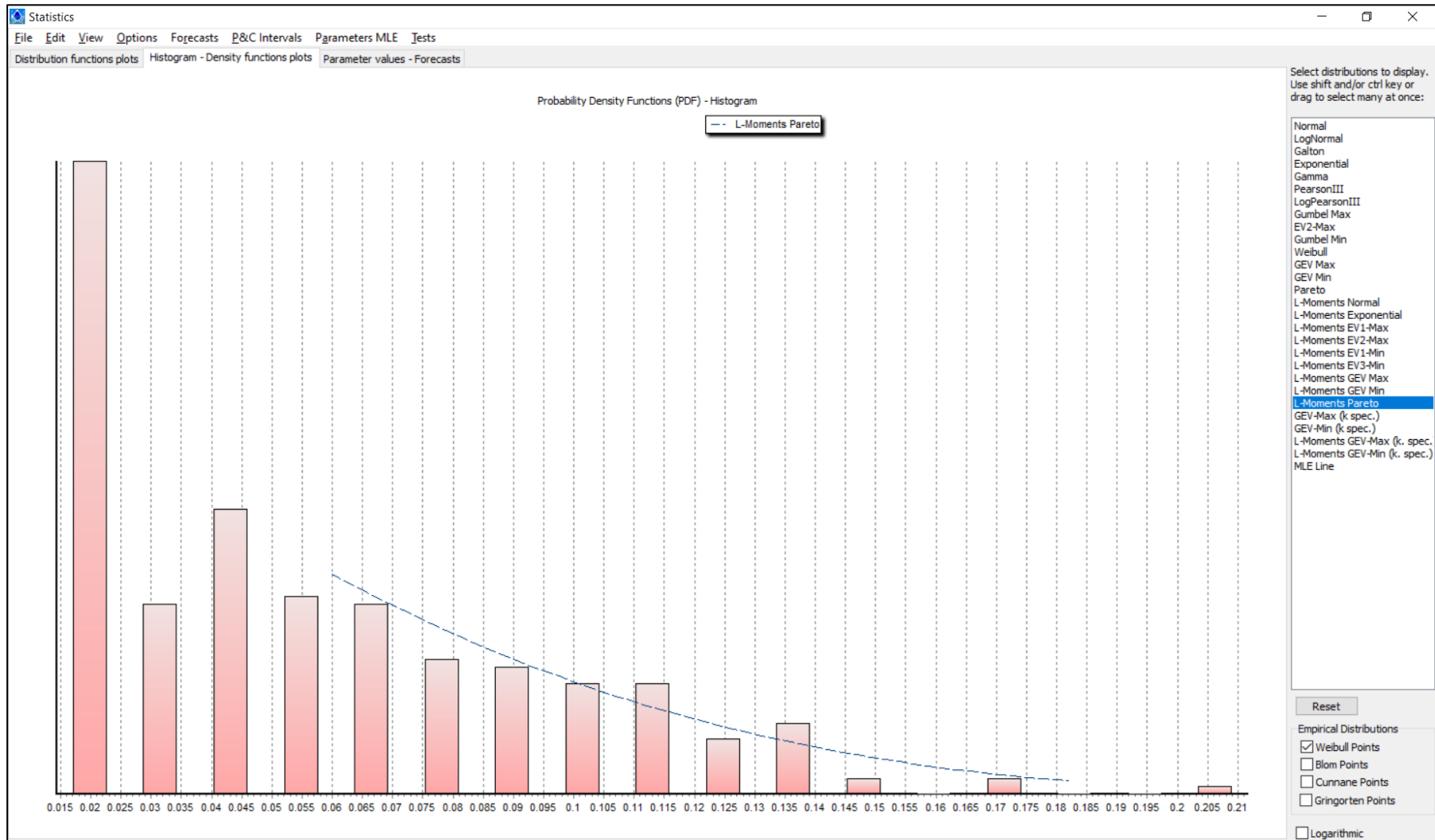
Gringorten Points

Logarithmic

Anexo 8: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Sexemayo mediante la distribución L-Moments Pareto



Anexo 9: Histograma de la serie de caudales de la estación Sexemayo utilizando la distribución L-Moments Pareto, que presenta el mejor ajuste



Anexo 10: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Sexemayo a distintas distribuciones estadísticas

Statistics

File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests

Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	0.03504%	0.12633
Normal (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.05496%	0.12300
LogNormal	REJECT	REJECT	REJECT	0.00008%	0.16503
Galton	REJECT	REJECT	REJECT	0.69757%	0.10218
Exponential	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.19731
Exponential (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.11726%	0.11718
Gamma	REJECT	REJECT	REJECT	0.31356%	0.10916
Pearson III	REJECT	REJECT	REJECT	0.82044%	0.10070
Log Pearson III	REJECT	REJECT	REJECT	0.19570%	0.11307
EV1-Max (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	0.26240%	0.11065
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.29174
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.18517
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.93792%	0.09249
GEV-Max	REJECT	REJECT	REJECT	0.55453%	0.10423
GEV-Min	REJECT	REJECT	REJECT	0.70359%	0.10210
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.13214%	0.08221
GEV-Max (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.24474%	0.11123
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.68648%	0.08918
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.51108%	0.10495
EV2-Max (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.20559
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.18358
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.65842%	0.09403
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.11358%	0.07549
GEV-Max (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00012%	0.16259
GEV-Min (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00157%	0.14728
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.09367%	0.11893
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00110%	0.14950

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once:

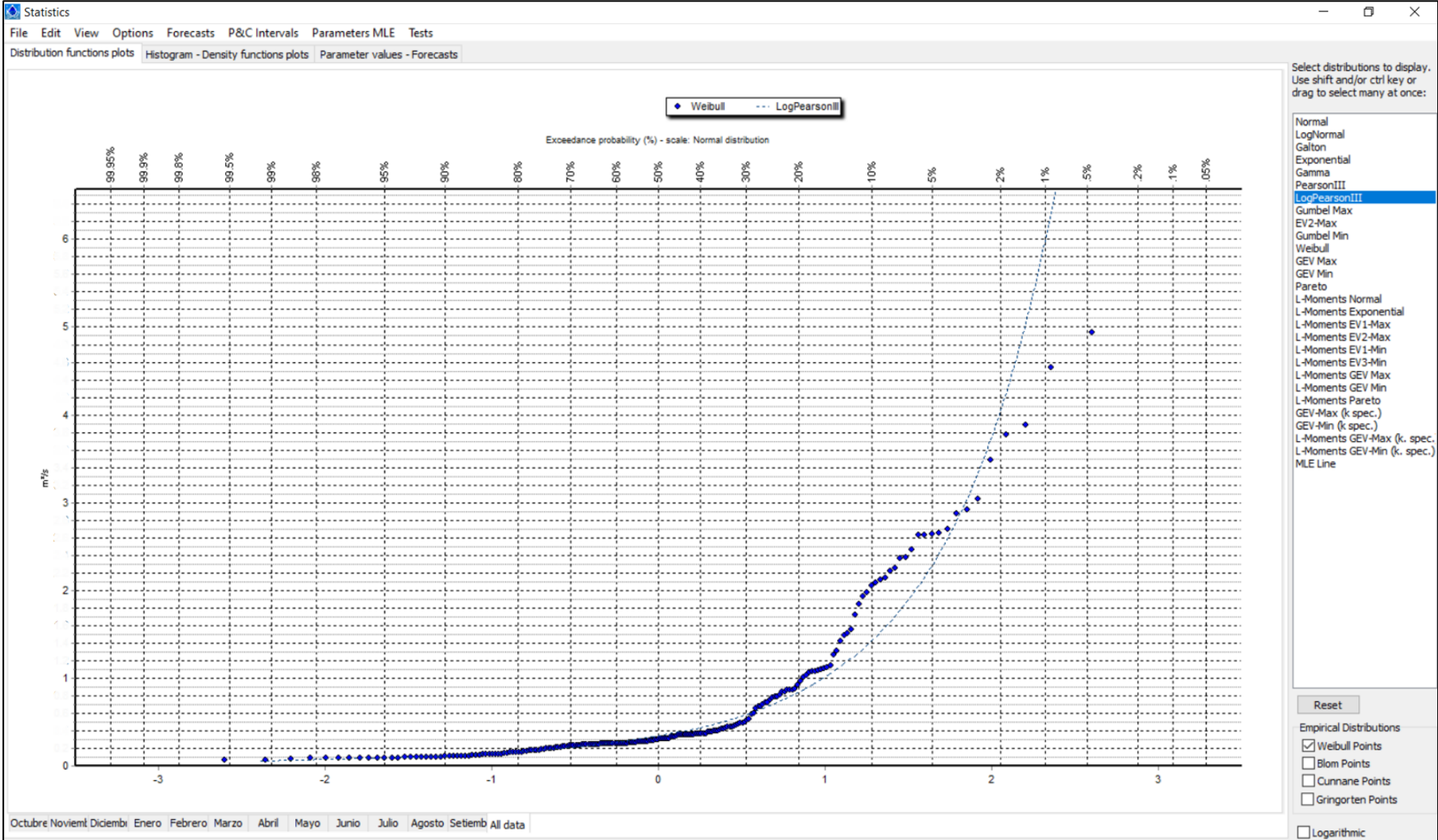
- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- Gumbel Max
- EV2-Max
- Gumbel Min
- Weibull
- GEV Max
- GEV Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV3-Min
- L-Moments GEV Max
- L-Moments GEV Min
- L-Moments Pareto**
- GEV-Max (k. spec.)
- GEV-Min (k. spec.)
- L-Moments GEV-Max (k. spec.)
- L-Moments GEV-Min (k. spec.)
- MLE Line

Reset

Empirical Distributions

- Weibull Points
- Blom Points
- Cunnane Points
- Gringorten Points
- Logarithmic

Anexo 11: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Charamaya mediante la distribución Log Pearson III



Anexo 12: Histograma de la serie de caudales de la estación Charamaya utilizando la distribución Log Pearson III, que presenta el mejor ajuste



Anexo 13: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Charamaya a distintas distribuciones estadísticas

Statistics

File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests

Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.27285
Normal (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.29730
LogNormal	REJECT	REJECT	REJECT	0.01820%	0.14609
Galton	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.22637
Exponential	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.26112
Exponential (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00004%	0.18768
Gamma	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.21746
Pearson III	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.23642
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	15.7555%	0.07634
EV1-Max (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.24802
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.40218
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.34156
EV3-Min (Weibull)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00008%	0.18412
GEV-Max	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.22223
GEV-Min	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.23574
Pareto	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.23903
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.07019%	0.10953
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3.59628%	0.09600
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.23722
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.06567%	0.10957
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.35748
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00234%	0.16139
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.57670%	0.09061
GEV-Max (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.22012
GEV-Min (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.30269
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.20390
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.32289

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once:

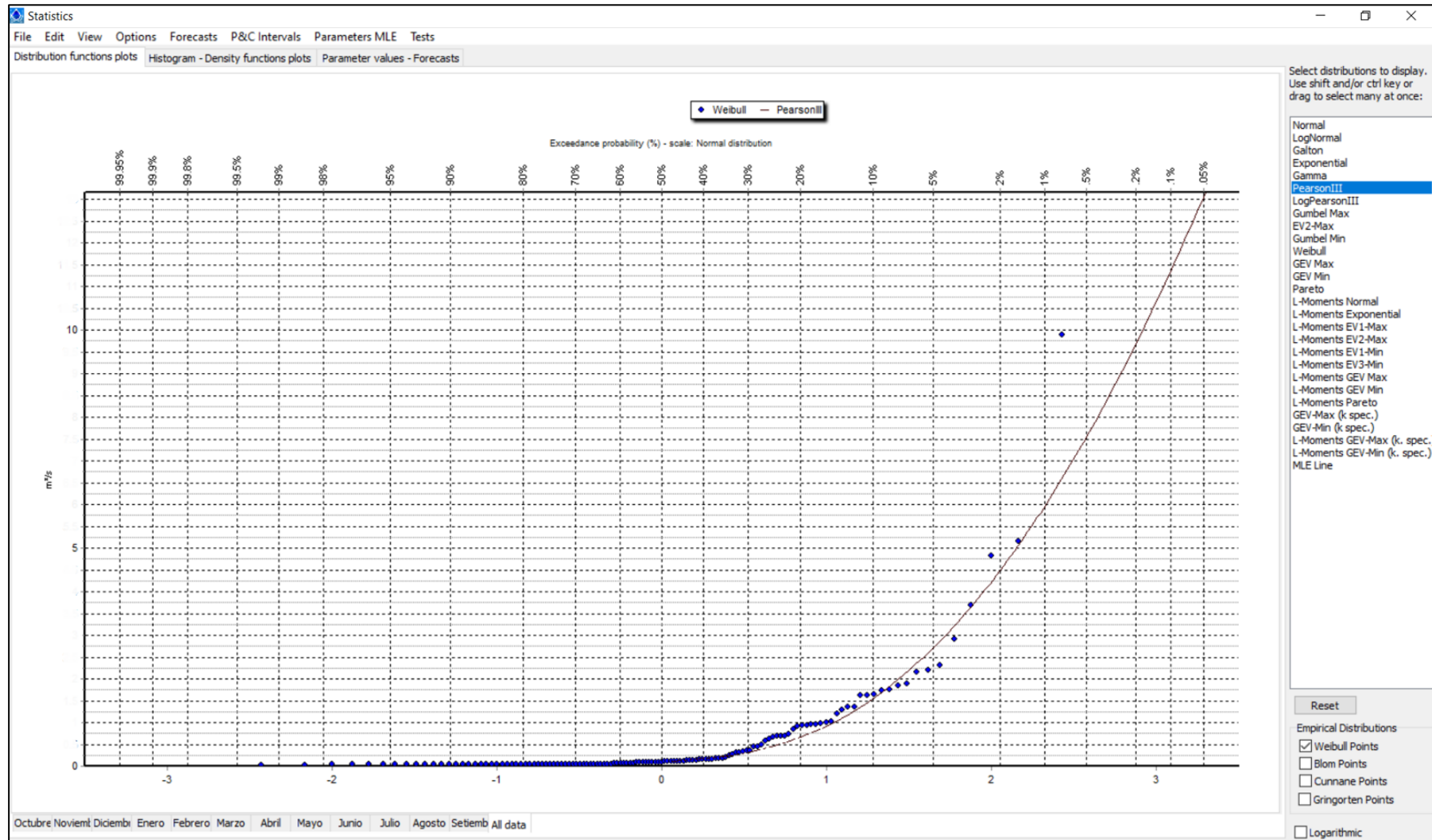
- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- Gumbel Max
- EV2-Max
- Gumbel Min
- WEibull
- GEV Max
- GEV Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV3-Min
- L-Moments GEV Max
- L-Moments GEV Min
- L-Moments Pareto
- GEV-Max (k spec.)
- GEV-Min (k spec.)
- L-Moments GEV-Max (k. spec.)
- L-Moments GEV-Min (k. spec.)
- MLE Line

Reset

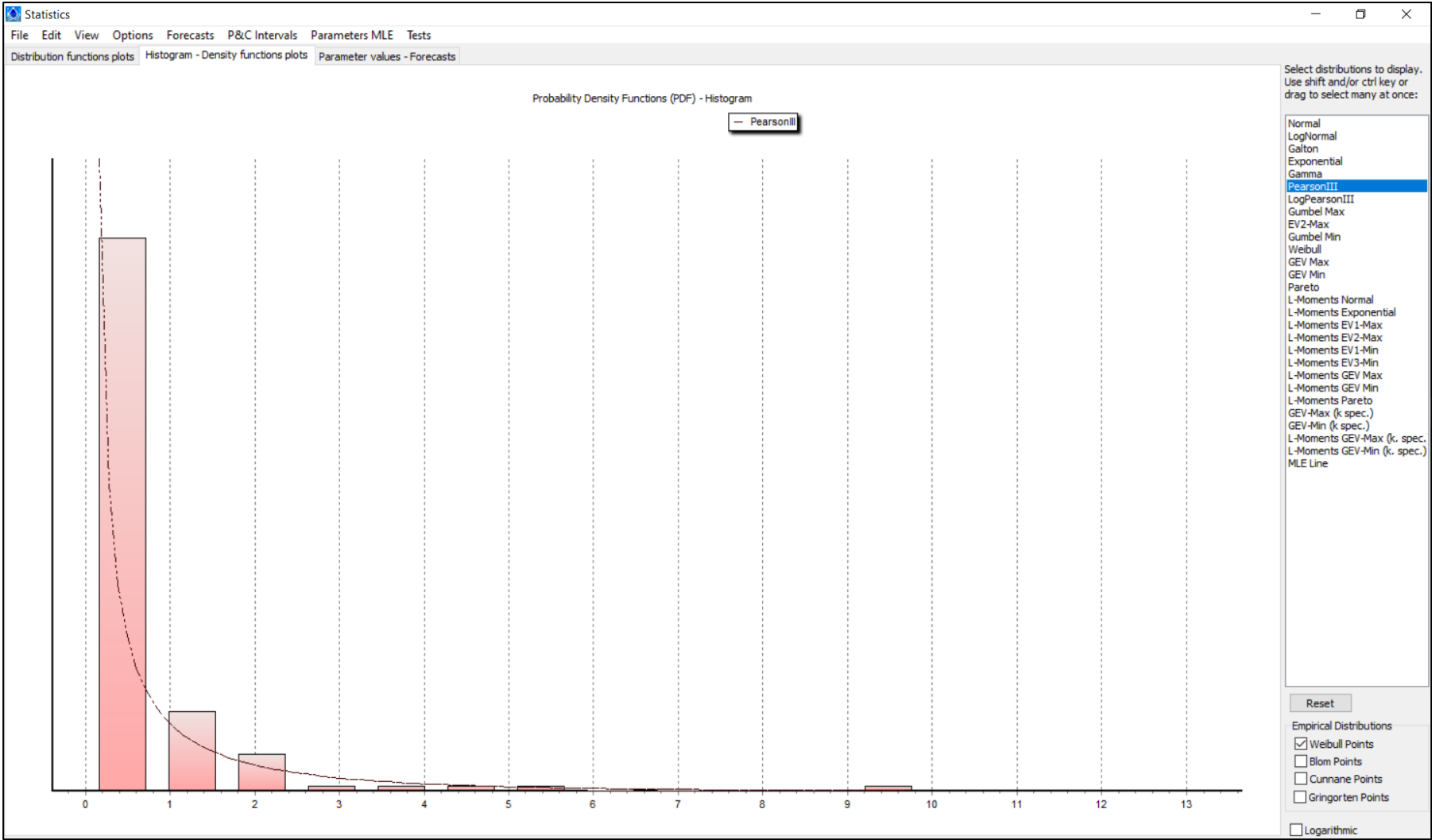
Empirical Distributions

- Weibull Points
- Blom Points
- Cunnane Points
- Gringorten Points
- Logarithmic

Anexo 14: Gráfico de probabilidad acumulada y ajuste estadístico de la serie de caudales de la estación Conaviri mediante la distribución Pearson III



Anexo 15: Histograma de la serie de caudales de la estación Conaviri utilizando la distribución Pearson III, que presenta el mejor ajuste



Anexo 16: Test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar el ajuste de la serie de caudales de la estación Conaviri a distintas distribuciones estadísticas

Statistics

File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests

Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.32124
Normal (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.34293
LogNormal	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.26852
Galton	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.36971
Exponential	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.41939
Exponential (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.29802
Gamma	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.40667
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	40.9244%	0.07760
Log Pearson III	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.13486%	0.13164
EV1-Max (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.36362
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.62548
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.34328
EV3-Min (Weibull)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.25903
GEV-Max	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.35666
GEV-Min	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.38401
Pareto	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.38858
GEV-Max (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.03086%	0.18303
GEV-Min (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.26133
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.29941
EV2-Max (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.31559
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.38784
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.26652
Pareto (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.01094%	0.19353
GEV-Max (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.36895
GEV-Min (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.30437
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.27652
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.36084

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once:

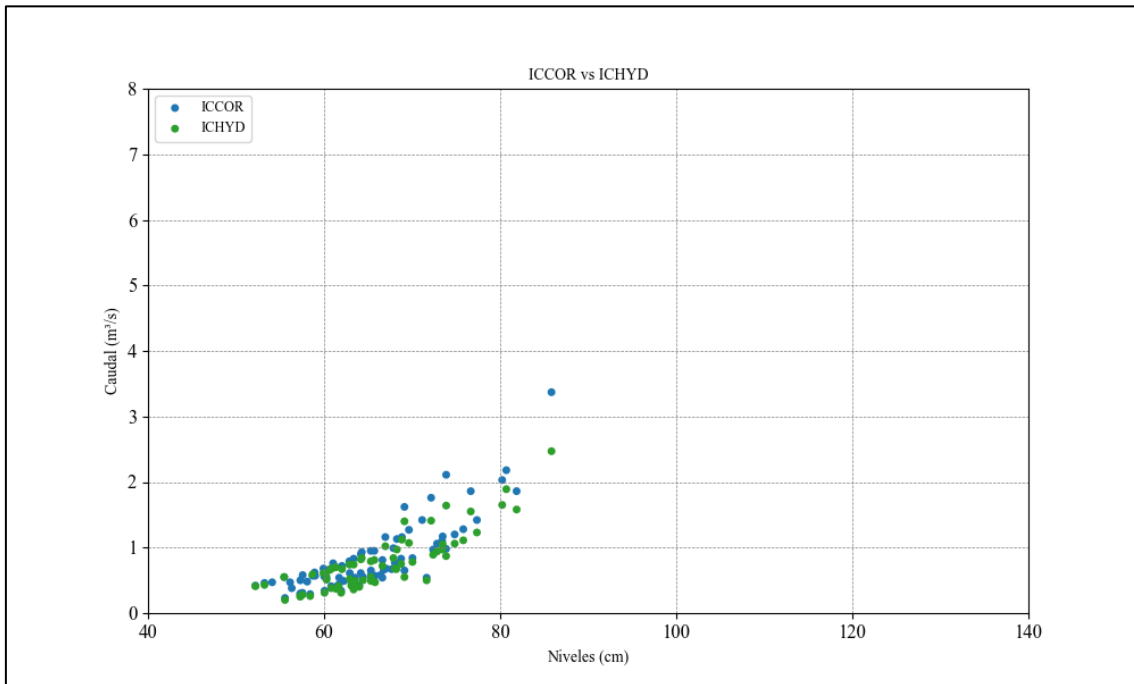
- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- Gumbel Max
- EV2-Max
- Gumbel Min
- WEibull
- GEV Max
- GEV Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV3-Min
- L-Moments GEV Max
- L-Moments GEV Min
- L-Moments Pareto
- GEV-Max (k. spec.)
- GEV-Min (k. spec.)
- L-Moments GEV-Max (k. spec.)
- L-Moments GEV-Min (k. spec.)
- MLE Line

Reset

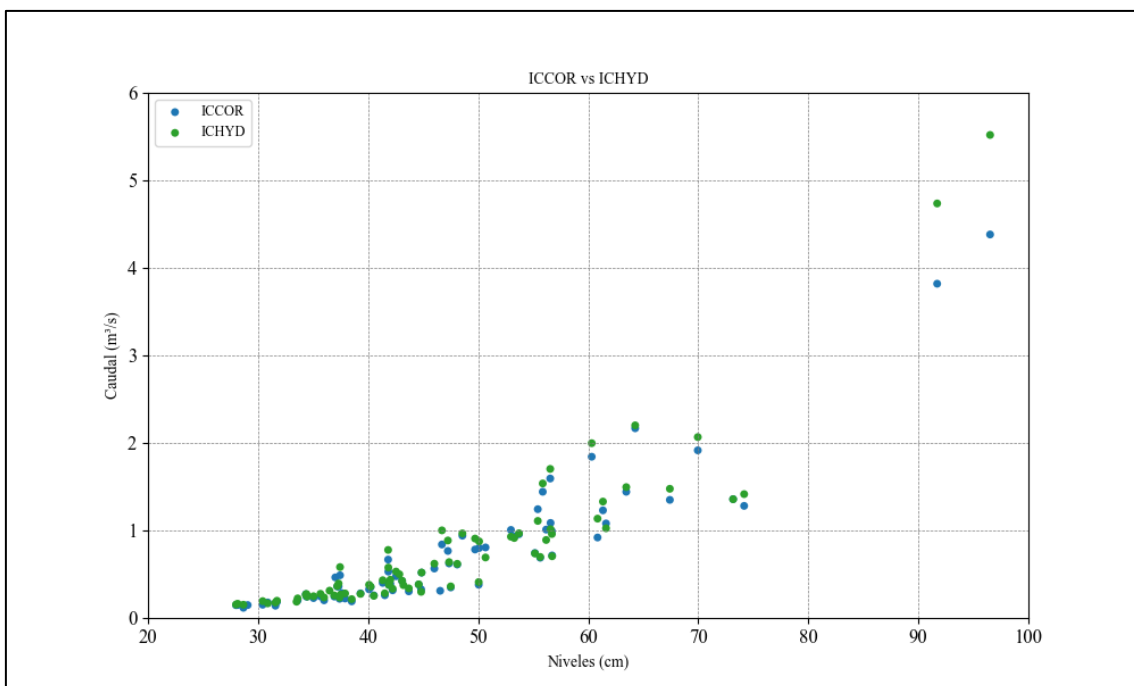
Empirical Distributions

- Weibull Points
- Blom Points
- Cunnane Points
- Gringorten Points
- Logarithmic

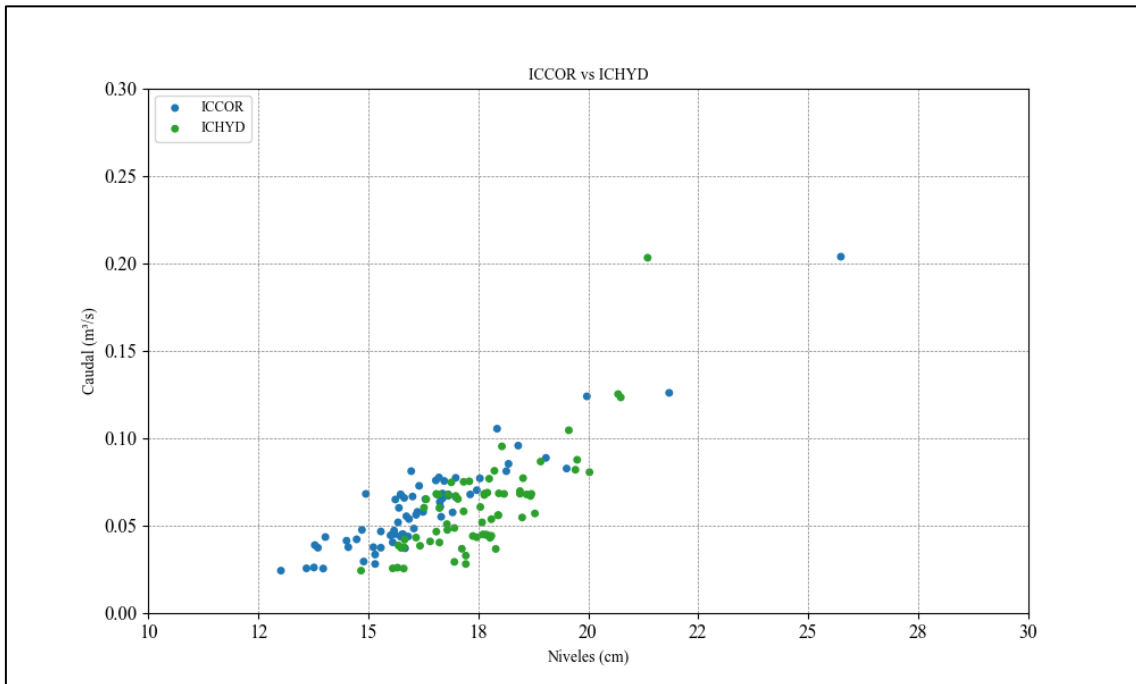
Anexo 17: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Huancayocc



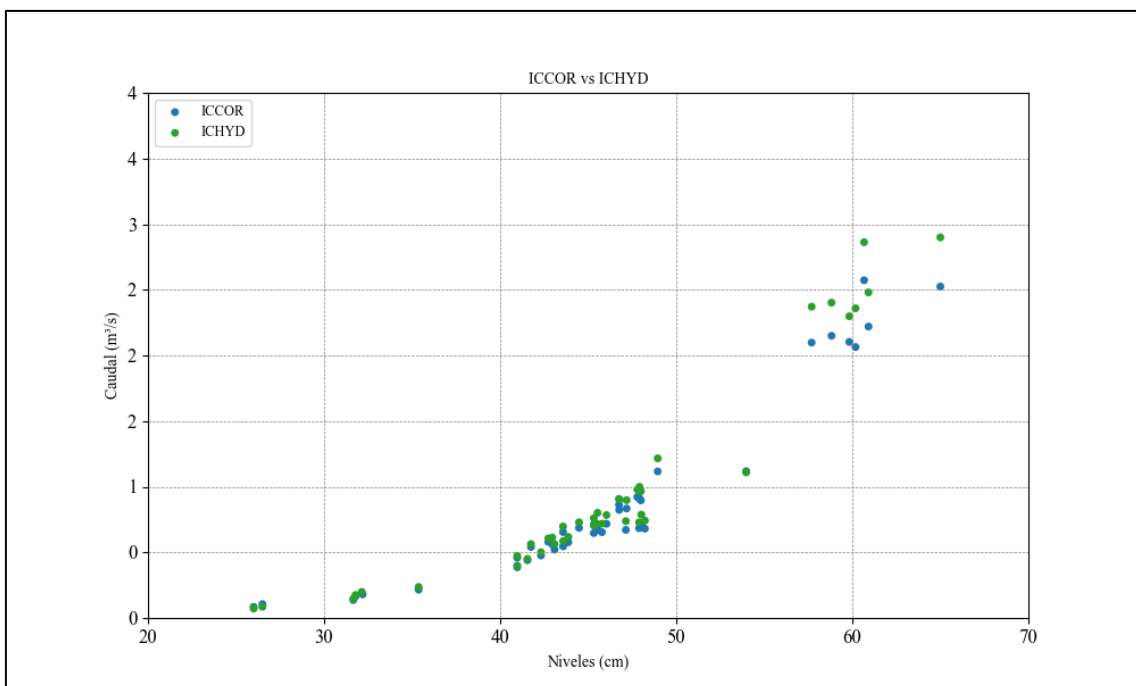
Anexo 18: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Luricocha



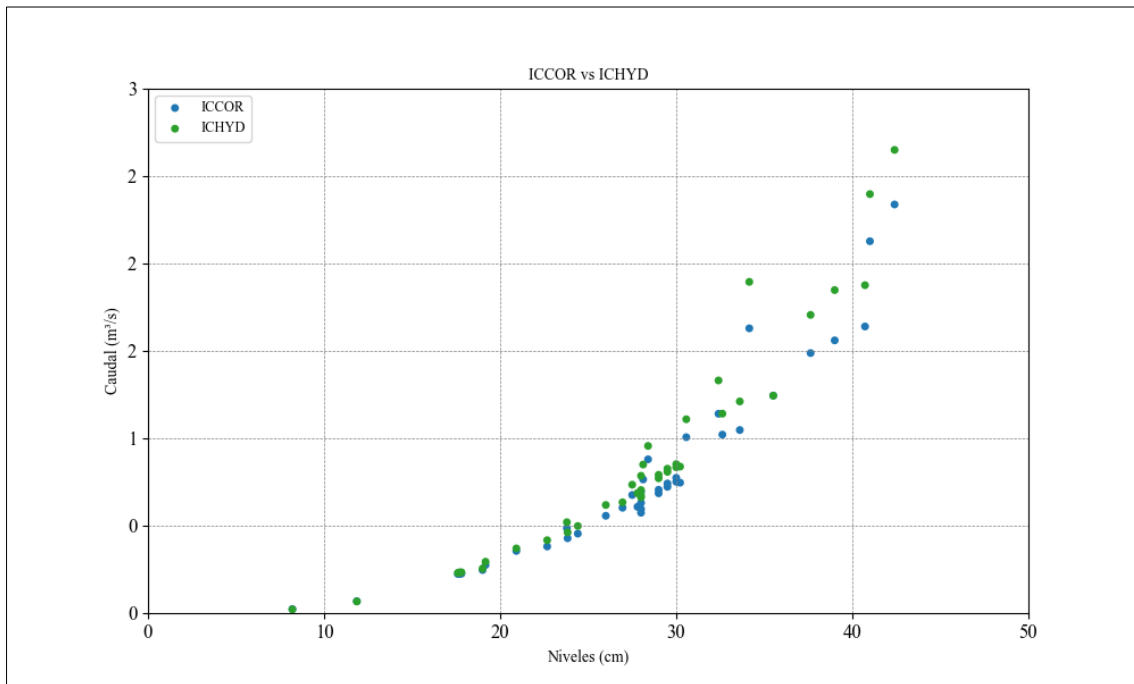
Anexo 19: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Sexemayo Lote 1



Anexo 20: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Charamaya



Anexo 21: Relación entre ICCOR e ICHYD estación Conaviri



Anexo 22: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Huancayoc

Date	$\epsilon_1(Qg)$	$\epsilon_2(Qg, Qrc)$	Estado ϵ_2	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
31/01/2024 17:10	18%	5%	Bueno	0.4	0.7	23%
01/02/2024 14:50	18%	33%	Dudoso	0.3	0.9	51%
02/02/2024 11:25	18%	22%	Dudoso	0.3	0.8	40%
03/02/2024 08:26	18%	38%	Dudoso	0.3	0.9	56%
04/02/2024 16:35	18%	25%	Dudoso	0.3	0.7	43%
05/02/2024 09:40	18%	10%	Bueno	0.3	0.6	28%
06/02/2024 16:30	18%	1%	Bueno	0.3	0.5	19%
07/02/2024 11:34	18%	47%	Dudoso	0.2	0.8	65%
08/02/2024 17:12	18%	21%	Dudoso	0.3	0.7	39%
09/02/2024 09:45	17%	36%	Dudoso	0.7	2.2	52%
10/02/2024 15:40	13%	21%	Dudoso	0.4	0.9	34%
11/02/2024 09:40	13%	17%	Aceptable	0.5	0.9	30%
12/02/2024 09:50	13%	9%	Bueno	0.5	0.7	22%
13/02/2024 11:35	13%	17%	Aceptable	0.3	0.6	30%
14/02/2024 09:45	13%	16%	Aceptable	0.5	0.9	29%
15/02/2024 18:00	13%	26%	Dudoso	0.4	0.8	39%
16/02/2024 10:05	13%	32%	Dudoso	0.3	0.8	45%
17/02/2024 16:10	11%	11%	Aceptable	0.4	0.7	22%
19/02/2024 16:11	12%	27%	Dudoso	0.4	0.9	39%
20/02/2024 10:20	12%	5%	Bueno	0.4	0.6	17%
21/02/2024 11:45	13%	50%	Dudoso	0.2	0.9	63%
22/02/2024 09:45	14%	54%	Subestimado o sobreestimado	0.1	0.8	68%
23/02/2024 13:45	13%	53%	Subestimado o sobreestimado	0.1	0.7	66%
24/02/2024 13:05	12%	54%	Subestimado o sobreestimado	0.2	0.9	66%
25/02/2024 12:24	12%	25%	Dudoso	0.4	0.8	37%
26/02/2024 07:10	14%	27%	Dudoso	0.4	1.0	41%
27/02/2024 11:45	12%	27%	Dudoso	0.7	1.6	39%
28/02/2024 09:00	16%	45%	Dudoso	1.3	5.4	61%
29/02/2024 11:30	14%	2%	Bueno	1.6	2.2	17%
01/03/2024 09:05	13%	16%	Aceptable	1.4	2.6	29%
02/03/2024 13:03	12%	5%	Bueno	1.2	1.7	17%
04/03/2024 13:35	14%	20%	Dudoso	0.6	1.3	35%
05/03/2024 13:15	12%	8%	Bueno	1.0	1.4	20%
06/03/2024 09:10	12%	8%	Bueno	0.9	1.3	20%
07/03/2024 11:25	12%	7%	Bueno	1.0	1.5	19%
08/03/2024 09:32	12%	3%	Bueno	1.0	1.3	15%
09/03/2024 09:27	12%	14%	Aceptable	0.7	1.2	26%
10/03/2024 15:00	12%	8%	Bueno	0.8	1.3	20%
11/03/2024 13:00	12%	14%	Aceptable	0.6	1.1	26%
12/03/2024 11:50	12%	8%	Bueno	0.7	1.0	20%
13/03/2024 14:05	12%	11%	Aceptable	0.6	0.9	23%

«Continuación»

14/03/2024 10:39	12%	15%	Aceptable	0.5	0.9	27%
15/03/2024 11:10	12%	27%	Dudoso	0.4	0.9	39%
16/03/2024 07:40	12%	36%	Dudoso	0.4	1.0	48%
19/03/2024 17:00	12%	40%	Dudoso	0.4	1.2	52%
20/03/2024 09:10	12%	44%	Dudoso	0.5	1.8	56%
21/03/2024 14:15	12%	75%	Subestimado o sobreestimado	0.2	3.0	87%
22/03/2024 08:45	12%	37%	Dudoso	0.5	1.4	49%
23/03/2024 11:48	12%	30%	Dudoso	0.5	1.2	42%
24/03/2024 09:30	12%	28%	Dudoso	0.5	1.1	40%
25/03/2024 14:58	12%	24%	Dudoso	0.5	1.0	36%
26/03/2024 13:14	12%	34%	Dudoso	0.5	1.3	46%
27/03/2024 09:50	12%	72%	Subestimado o sobreestimado	0.3	3.9	83%
28/03/2024 12:35	12%	22%	Dudoso	1.4	2.9	34%
29/03/2024 08:55	12%	29%	Dudoso	1.1	2.6	41%
30/03/2024 12:15	13%	58%	Subestimado o sobreestimado	0.5	3.0	71%
02/04/2024 14:35	12%	33%	Dudoso	0.7	1.8	45%
03/04/2024 12:25	12%	29%	Dudoso	0.7	1.6	41%
04/04/2024 09:20	12%	16%	Aceptable	0.7	1.3	27%
05/04/2024 11:30	12%	28%	Dudoso	0.6	1.3	39%
06/04/2024 09:45	12%	31%	Dudoso	0.5	1.4	43%
09/04/2024 10:45	12%	30%	Dudoso	0.4	0.9	42%
10/04/2024 14:02	12%	20%	Dudoso	0.4	0.8	32%
11/04/2024 10:12	12%	24%	Dudoso	0.4	0.8	36%
12/04/2024 13:40	12%	1%	Bueno	0.5	0.7	13%
13/04/2024 11:30	12%	2%	Bueno	0.7	0.9	14%
15/04/2024 11:22	12%	10%	Aceptable	0.5	0.8	22%
16/04/2024 11:12	12%	16%	Aceptable	0.4	0.7	28%
17/04/2024 08:30	12%	17%	Aceptable	0.4	0.7	29%
18/04/2024 13:40	12%	23%	Dudoso	0.3	0.6	35%
19/04/2024 12:30	12%	22%	Dudoso	0.3	0.7	34%
20/04/2024 13:24	14%	24%	Dudoso	0.3	0.6	38%
21/04/2024 16:30	11%	26%	Dudoso	0.3	0.6	37%
22/04/2024 10:25	11%	28%	Dudoso	0.2	0.6	39%
23/04/2024 15:11	11%	23%	Dudoso	0.3	0.5	34%
24/04/2024 09:00	11%	20%	Aceptable	0.4	0.7	30%
25/04/2024 13:18	11%	39%	Dudoso	0.2	0.6	49%
26/04/2024 09:45	10%	37%	Dudoso	0.2	0.6	46%
27/04/2024 16:32	11%	41%	Dudoso	0.2	0.5	52%
28/04/2024 10:54	11%	33%	Dudoso	0.2	0.5	43%
29/04/2024 13:25	13%	35%	Dudoso	0.1	0.4	48%
30/04/2024 08:10	13%	26%	Dudoso	0.2	0.4	39%
02/05/2024 11:07	16%	30%	Dudoso	0.2	0.4	45%
04/05/2024 11:00	16%	27%	Dudoso	0.2	0.4	43%
09/05/2024 07:35	16%	36%	Dudoso	0.1	0.3	52%

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 23: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Luricocha

Date	$\epsilon_1(Qg)$	$\epsilon_2(Qg, Qrc)$	Estado ϵ_2	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
31/01/2024 15:02	14%	26%	Dudoso	0.1	0.3	40%
01/02/2024 11:24	14%	21%	Dudoso	0.2	0.5	35%
02/02/2024 14:25	14%	16%	Aceptable	0.2	0.4	30%
03/02/2024 10:45	14%	12%	Aceptable	0.2	0.3	27%
04/02/2024 14:35	14%	29%	Dudoso	0.1	0.4	44%
05/02/2024 12:25	14%	24%	Dudoso	0.1	0.3	39%
06/02/2024 17:02	14%	22%	Dudoso	0.1	0.3	36%
07/02/2024 16:55	14%	40%	Dudoso	0.1	0.3	54%
08/02/2024 12:13	14%	2%	Bueno	0.2	0.3	16%
09/02/2024 14:15	14%	3%	Bueno	0.8	1.2	18%
10/02/2024 09:05	13%	16%	Aceptable	0.7	1.2	29%
11/02/2024 12:37	13%	9%	Bueno	0.5	0.8	22%
12/02/2024 11:48	13%	6%	Bueno	0.4	0.6	19%
13/02/2024 09:32	13%	4%	Bueno	0.3	0.5	17%
14/02/2024 12:50	13%	3%	Bueno	0.4	0.5	17%
15/02/2024 15:26	13%	1%	Bueno	0.3	0.5	14%
16/02/2024 13:05	13%	40%	Dudoso	0.2	0.5	53%
17/02/2024 10:56	13%	23%	Dudoso	0.2	0.4	36%
19/02/2024 13:05	16%	33%	Dudoso	0.2	0.5	49%
20/02/2024 16:06	14%	43%	Dudoso	0.1	0.5	57%
21/02/2024 10:40	16%	33%	Dudoso	0.2	0.5	49%
22/02/2024 13:10	16%	34%	Dudoso	0.1	0.4	49%
23/02/2024 10:25	16%	17%	Aceptable	0.2	0.3	33%
24/02/2024 15:29	16%	65%	Subestimado o sobreestimado	0.1	0.8	81%
25/02/2024 08:40	16%	2%	Bueno	0.5	0.7	18%
26/02/2024 13:58	14%	2%	Bueno	1.0	1.4	16%
27/02/2024 08:40	14%	9%	Bueno	1.1	1.8	23%
28/02/2024 11:16	14%	0%	Bueno	3.7	5.0	15%
29/02/2024 09:03	14%	0%	Bueno	3.3	4.4	15%
01/03/2024 11:50	16%	57%	Subestimado o sobreestimado	0.6	3.8	73%
02/03/2024 09:02	14%	60%	Subestimado o sobreestimado	0.5	3.2	75%
04/03/2024 15:39	14%	16%	Aceptable	0.7	1.3	31%
05/03/2024 10:27	14%	38%	Dudoso	0.6	1.9	52%
06/03/2024 12:05	14%	14%	Aceptable	0.8	1.4	28%
07/03/2024 09:10	14%	32%	Dudoso	0.7	2.0	46%
08/03/2024 11:16	14%	11%	Aceptable	0.8	1.4	26%
09/03/2024 07:06	14%	8%	Bueno	0.8	1.2	22%
10/03/2024 17:09	14%	27%	Dudoso	0.6	1.4	42%
11/03/2024 09:45	14%	16%	Aceptable	0.6	1.0	30%
12/03/2024 14:49	14%	32%	Dudoso	0.3	0.8	47%
13/03/2024 12:05	14%	13%	Aceptable	0.3	0.6	28%

«Continuación»

14/03/2024 15:51	14%	7%	Bueno	0.4	0.7	22%
15/03/2024 09:12	14%	4%	Bueno	0.3	0.5	18%
16/03/2024 09:45	14%	8%	Bueno	0.3	0.4	22%
19/03/2024 14:45	14%	38%	Dudoso	0.6	2.0	53%
20/03/2024 11:57	14%	15%	Aceptable	1.0	1.7	29%
21/03/2024 09:35	14%	22%	Dudoso	0.6	1.3	36%
22/03/2024 14:08	14%	19%	Aceptable	0.5	1.0	33%
23/03/2024 08:56	14%	35%	Dudoso	0.4	1.1	49%
25/03/2024 17:00	14%	68%	Subestimado o sobreestimado	0.1	0.9	82%
26/03/2024 09:55	14%	67%	Subestimado o sobreestimado	0.1	1.2	81%
27/03/2024 12:20	14%	53%	Subestimado o sobreestimado	0.3	1.4	67%
28/03/2024 09:23	14%	9%	Bueno	1.5	2.4	23%
29/03/2024 11:49	14%	67%	Subestimado o sobreestimado	0.3	2.9	81%
30/03/2024 09:15	14%	57%	Subestimado o sobreestimado	0.4	2.5	71%
02/04/2024 16:59	14%	53%	Subestimado o sobreestimado	0.3	1.6	67%
03/04/2024 09:35	14%	19%	Aceptable	0.5	1.1	33%
04/04/2024 13:25	14%	26%	Dudoso	0.4	1.0	40%
05/04/2024 09:05	14%	24%	Dudoso	0.4	1.0	39%
06/04/2024 07:29	14%	16%	Aceptable	0.5	1.0	31%
09/04/2024 13:45	14%	43%	Dudoso	0.2	0.6	58%
10/04/2024 10:55	14%	6%	Bueno	0.3	0.5	21%
11/04/2024 13:46	14%	2%	Bueno	0.3	0.4	16%
12/04/2024 10:45	14%	26%	Dudoso	0.2	0.5	40%
13/04/2024 07:50	14%	26%	Dudoso	0.2	0.5	40%
15/04/2024 17:05	14%	13%	Aceptable	0.2	0.3	28%
16/04/2024 08:45	14%	20%	Dudoso	0.2	0.4	35%
17/04/2024 11:25	14%	8%	Bueno	0.2	0.3	23%
18/04/2024 10:43	14%	5%	Bueno	0.2	0.3	19%
19/04/2024 15:36	14%	7%	Bueno	0.2	0.3	22%
20/04/2024 09:25	14%	5%	Bueno	0.2	0.2	19%
22/04/2024 13:28	14%	3%	Bueno	0.2	0.2	17%
23/04/2024 11:07	14%	7%	Bueno	0.1	0.2	21%
24/04/2024 11:28	14%	4%	Bueno	0.2	0.3	18%
25/04/2024 09:41	17%	6%	Bueno	0.1	0.2	23%
26/04/2024 12:25	17%	21%	Dudoso	0.1	0.2	38%
27/04/2024 12:34	17%	5%	Bueno	0.1	0.2	22%
28/04/2024 15:30	17%	13%	Aceptable	0.1	0.2	30%
29/04/2024 10:44	17%	17%	Aceptable	0.1	0.2	34%
30/04/2024 11:20	17%	17%	Aceptable	0.1	0.2	34%

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 24: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Lote 1

Date	$\epsilon_1(Qg)$	$\epsilon_2(Qg, Qrc)$	Estado ϵ_2	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
21/01/2024 08:54	17%	30%	Dudoso	0.04	0.10	47%
22/01/2024 08:59	17%	33%	Dudoso	0.04	0.11	50%
23/01/2024 09:13	17%	4%	Bueno	0.07	0.10	21%
24/01/2024 11:46	17%	30%	Dudoso	0.03	0.10	47%
27/01/2024 15:43	17%	0%	Bueno	0.06	0.08	17%
29/01/2024 15:35	10%	4%	Bueno	0.06	0.08	13%
30/01/2024 15:33	10%	22%	Dudoso	0.05	0.09	32%
31/01/2024 14:30	10%	20%	Aceptable	0.05	0.10	29%
02/02/2024 13:15	11%	15%	Aceptable	0.15	0.26	26%
06/02/2024 16:28	10%	12%	Aceptable	0.04	0.06	21%
08/02/2024 16:28	10%	1%	Bueno	0.05	0.06	11%
09/02/2024 10:37	10%	18%	Aceptable	0.04	0.08	28%
09/02/2024 15:40	10%	5%	Bueno	0.05	0.06	14%
13/02/2024 14:41	10%	3%	Bueno	0.06	0.07	12%
14/02/2024 16:30	10%	4%	Bueno	0.07	0.09	14%
15/02/2024 11:51	10%	2%	Bueno	0.05	0.07	12%
15/02/2024 16:38	10%	5%	Bueno	0.06	0.07	14%
16/02/2024 15:32	10%	33%	Dudoso	0.06	0.15	42%
19/02/2024 17:00	10%	11%	Aceptable	0.08	0.12	20%
20/02/2024 15:30	10%	0%	Bueno	0.04	0.05	10%
23/02/2024 13:54	10%	4%	Bueno	0.03	0.04	13%
26/02/2024 14:33	11%	16%	Aceptable	0.03	0.05	27%
27/02/2024 12:24	11%	3%	Bueno	0.04	0.05	14%
28/02/2024 13:20	10%	18%	Aceptable	0.03	0.05	28%
29/02/2024 08:35	10%	14%	Aceptable	0.10	0.16	24%
01/03/2024 09:40	10%	11%	Aceptable	0.10	0.15	20%
02/03/2024 11:50	10%	25%	Dudoso	0.05	0.10	34%
04/03/2024 13:02	10%	16%	Aceptable	0.06	0.10	26%
05/03/2024 11:45	10%	13%	Aceptable	0.05	0.08	22%
06/03/2024 12:53	10%	8%	Bueno	0.07	0.10	17%
07/03/2024 08:45	10%	4%	Bueno	0.06	0.08	14%
09/03/2024 11:16	10%	20%	Dudoso	0.06	0.11	30%
11/03/2024 11:10	10%	50%	Dudoso	0.03	0.13	60%
12/03/2024 11:07	10%	32%	Dudoso	0.04	0.10	42%
13/03/2024 11:21	10%	6%	Bueno	0.06	0.08	15%
18/03/2024 13:48	10%	59%	Subestimado o sobreestimado	0.02	0.11	68%
19/03/2024 10:40	10%	32%	Dudoso	0.04	0.10	41%
20/03/2024 10:25	10%	26%	Dudoso	0.05	0.11	35%
21/03/2024 11:00	10%	11%	Aceptable	0.05	0.08	21%
22/03/2024 12:51	10%	4%	Bueno	0.06	0.08	14%
25/03/2024 12:05	10%	14%	Aceptable	0.03	0.06	23%

«Continuación»

26/03/2024 14:15	10%	13%	Aceptable	0.04	0.06	22%
27/03/2024 10:50	10%	13%	Aceptable	0.04	0.06	23%
28/03/2024 10:59	10%	16%	Aceptable	0.02	0.03	26%
29/03/2024 12:35	10%	18%	Aceptable	0.02	0.03	28%
01/04/2024 11:04	10%	14%	Aceptable	0.03	0.05	24%
02/04/2024 11:58	10%	0%	Bueno	0.05	0.06	10%
03/04/2024 11:15	10%	9%	Bueno	0.06	0.08	19%
04/04/2024 11:40	10%	1%	Bueno	0.07	0.09	11%
05/04/2024 13:31	10%	12%	Aceptable	0.05	0.07	22%
10/04/2024 16:28	10%	4%	Bueno	0.05	0.07	13%
11/04/2024 12:05	10%	1%	Bueno	0.05	0.06	11%
12/04/2024 14:38	10%	12%	Aceptable	0.04	0.07	21%
15/04/2024 11:20	10%	5%	Bueno	0.04	0.05	15%
17/04/2024 08:55	10%	21%	Dudoso	0.03	0.05	30%
18/04/2024 13:17	10%	6%	Bueno	0.02	0.03	16%
19/04/2024 12:18	11%	25%	Dudoso	0.02	0.03	35%
22/04/2024 10:50	10%	2%	Bueno	0.05	0.06	12%
23/04/2024 13:26	10%	20%	Aceptable	0.03	0.05	29%
24/04/2024 13:50	11%	18%	Aceptable	0.03	0.06	29%
25/04/2024 12:20	11%	9%	Bueno	0.04	0.05	20%
26/04/2024 10:35	11%	7%	Bueno	0.03	0.05	18%
29/04/2024 11:45	11%	27%	Dudoso	0.03	0.06	38%
01/05/2024 13:59	11%	10%	Bueno	0.04	0.05	20%
02/05/2024 13:05	11%	26%	Dudoso	0.02	0.05	37%
06/05/2024 12:45	11%	31%	Dudoso	0.02	0.04	41%
08/05/2024 13:50	11%	29%	Dudoso	0.02	0.05	40%
09/05/2024 12:03	11%	15%	Aceptable	0.03	0.05	26%
11/05/2024 11:58	11%	38%	Dudoso	0.01	0.04	49%

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 25: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Charamaya

Date	$\epsilon_1(Qg)$	$\epsilon_2(Qg, Qrc)$	Estado ϵ_2	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
09/11/2023 14:10	16%	6%	Bueno	0.1	0.1	21%
10/11/2023 13:13	9%	16%	Aceptable	0.1	0.1	25%
09/02/2024 11:50	12%	8%	Bueno	0.1	0.2	20%
09/02/2024 11:51	12%	13%	Aceptable	0.1	0.2	25%
10/02/2024 11:30	12%	6%	Bueno	0.1	0.2	18%
11/02/2024 10:40	12%	10%	Aceptable	0.1	0.2	22%
12/02/2024 09:40	13%	10%	Aceptable	0.2	0.3	24%
13/02/2024 07:40	11%	13%	Aceptable	0.3	0.6	24%
13/02/2024 10:34	11%	19%	Aceptable	0.3	0.5	29%
14/02/2024 08:56	12%	3%	Bueno	0.5	0.7	14%
14/02/2024 12:10	11%	11%	Aceptable	0.4	0.6	21%
15/02/2024 10:12	11%	8%	Bueno	0.5	0.7	18%
16/02/2024 01:12	12%	2%	Bueno	0.5	0.7	14%
16/02/2024 09:12	11%	14%	Aceptable	0.4	0.7	24%
16/02/2024 13:12	12%	2%	Bueno	0.5	0.7	14%
17/02/2024 09:47	11%	19%	Aceptable	1.7	3.1	30%
17/02/2024 12:10	9%	27%	Dudoso	0.7	1.5	36%
04/03/2024 13:19	9%	17%	Aceptable	2.1	3.6	26%
05/03/2024 10:30	9%	1%	Bueno	2.1	2.5	10%
06/03/2024 10:55	10%	8%	Bueno	2.4	3.4	17%
07/03/2024 10:10	10%	1%	Bueno	2.1	2.7	11%
08/03/2024 09:55	10%	11%	Aceptable	1.9	2.9	21%
09/03/2024 10:30	11%	0%	Bueno	2.2	2.7	11%
01/04/2024 10:50	10%	19%	Aceptable	0.9	1.6	28%
02/04/2024 10:40	10%	2%	Bueno	0.9	1.1	12%
03/04/2024 10:10	10%	7%	Bueno	0.8	1.2	16%
04/04/2024 09:50	10%	59%	Subestimado o sobreestimado	0.4	2.3	69%
04/04/2024 10:05	11%	2%	Bueno	0.8	1.0	13%
04/04/2024 13:30	10%	7%	Bueno	0.8	1.0	16%
05/04/2024 10:20	10%	35%	Dudoso	0.6	1.7	44%
05/04/2024 10:30	10%	1%	Bueno	0.7	0.9	11%
06/04/2024 10:45	10%	8%	Bueno	0.6	0.8	17%
06/04/2024 11:15	10%	23%	Dudoso	0.7	1.3	33%
07/04/2024 10:10	10%	31%	Dudoso	0.6	1.5	40%
07/04/2024 10:27	10%	4%	Bueno	0.6	0.8	13%
07/04/2024 13:07	10%	7%	Bueno	0.6	0.8	16%
08/04/2024 11:16	10%	53%	Subestimado o sobreestimado	0.4	1.8	62%
08/04/2024 11:25	10%	5%	Bueno	0.7	0.9	15%
09/04/2024 11:00	10%	32%	Dudoso	0.7	1.6	42%
09/04/2024 11:15	10%	17%	Aceptable	0.6	1.0	26%
09/04/2024 13:25	10%	22%	Dudoso	0.5	1.0	32%

«Continuación»

10/04/2024 10:40	10%	31%	Dudoso	0.6	1.4	41%
10/04/2024 10:53	10%	16%	Aceptable	0.6	0.9	25%
11/04/2024 11:23	14%	23%	Dudoso	0.5	1.0	37%
12/04/2024 09:10	10%	5%	Bueno	0.8	1.1	15%
12/04/2024 13:10	10%	7%	Bueno	0.8	1.1	17%
13/04/2024 11:17	10%	2%	Bueno	0.7	0.8	12%
14/04/2024 09:54	10%	6%	Bueno	0.6	0.8	15%
14/04/2024 13:54	38%	10%	Aceptable	0.4	1.0	48%
15/04/2024 10:20	10%	4%	Bueno	0.5	0.7	13%
16/04/2024 11:50	10%	6%	Bueno	0.5	0.7	16%
17/04/2024 12:20	10%	3%	Bueno	0.4	0.5	13%

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 26: Evaluación de la incertidumbre aplicando ISO_748-2007 al método correntómetro en la estación Conaviri

Date	$\epsilon_1(Qg)$	$\epsilon_2(Qg, Qrc)$	Estado ϵ_2	Q+95%	Q-95%	ϵ^*
09/11/2023 14:10	16%	6%	Bueno	0.1	0.1	21%
10/11/2023 13:13	9%	16%	Aceptable	0.1	0.1	25%
09/02/2024 11:50	12%	8%	Bueno	0.1	0.2	20%
09/02/2024 11:51	12%	13%	Aceptable	0.1	0.2	25%
10/02/2024 11:30	12%	6%	Bueno	0.1	0.2	18%
11/02/2024 10:40	12%	10%	Aceptable	0.1	0.2	22%
12/02/2024 09:40	13%	10%	Aceptable	0.2	0.3	24%
13/02/2024 07:40	11%	13%	Aceptable	0.3	0.6	24%
13/02/2024 10:34	11%	19%	Aceptable	0.3	0.5	29%
14/02/2024 08:56	12%	3%	Bueno	0.5	0.7	14%
14/02/2024 12:10	11%	11%	Aceptable	0.4	0.6	21%
15/02/2024 10:12	11%	8%	Bueno	0.5	0.7	18%
16/02/2024 01:12	12%	2%	Bueno	0.5	0.7	14%
16/02/2024 09:12	11%	14%	Aceptable	0.4	0.7	24%
16/02/2024 13:12	12%	2%	Bueno	0.5	0.7	14%
17/02/2024 09:47	11%	19%	Aceptable	1.7	3.1	30%
17/02/2024 12:10	9%	27%	Dudoso	0.7	1.5	36%
04/03/2024 13:19	9%	17%	Aceptable	2.1	3.6	26%
05/03/2024 10:30	9%	1%	Bueno	2.1	2.5	10%
06/03/2024 10:55	10%	8%	Bueno	2.4	3.4	17%
07/03/2024 10:10	10%	1%	Bueno	2.1	2.7	11%
08/03/2024 09:55	10%	11%	Aceptable	1.9	2.9	21%
09/03/2024 10:30	11%	0%	Bueno	2.2	2.7	11%
01/04/2024 10:50	10%	19%	Aceptable	0.9	1.6	28%
02/04/2024 10:40	10%	2%	Bueno	0.9	1.1	12%
03/04/2024 10:10	10%	7%	Bueno	0.8	1.2	16%
04/04/2024 09:50	10%	59%	Subestimado o sobreestimado	0.4	2.3	69%
04/04/2024 10:05	11%	2%	Bueno	0.8	1.0	13%
04/04/2024 13:30	10%	7%	Bueno	0.8	1.0	16%
05/04/2024 10:20	10%	35%	Dudoso	0.6	1.7	44%
05/04/2024 10:30	10%	1%	Bueno	0.7	0.9	11%
06/04/2024 10:45	10%	8%	Bueno	0.6	0.8	17%
06/04/2024 11:15	10%	23%	Dudoso	0.7	1.3	33%
07/04/2024 10:10	10%	31%	Dudoso	0.6	1.5	40%
07/04/2024 10:27	10%	4%	Bueno	0.6	0.8	13%
07/04/2024 13:07	10%	7%	Bueno	0.6	0.8	16%
08/04/2024 11:16	10%	53%	Subestimado o sobreestimado	0.4	1.8	62%
08/04/2024 11:25	10%	5%	Bueno	0.7	0.9	15%
09/04/2024 11:00	10%	32%	Dudoso	0.7	1.6	42%
09/04/2024 11:15	10%	17%	Aceptable	0.6	1.0	26%
09/04/2024 13:25	10%	22%	Dudoso	0.5	1.0	32%
10/04/2024 10:40	10%	31%	Dudoso	0.6	1.4	41%

«Continuación»

10/04/2024 10:53	10%	16%	Aceptable	0.6	0.9	25%
11/04/2024 11:23	14%	23%	Dudoso	0.5	1.0	37%
12/04/2024 09:10	10%	5%	Bueno	0.8	1.1	15%
12/04/2024 13:10	10%	7%	Bueno	0.8	1.1	17%
13/04/2024 11:17	10%	2%	Bueno	0.7	0.8	12%
14/04/2024 09:54	10%	6%	Bueno	0.6	0.8	15%
14/04/2024 13:54	38%	10%	Aceptable	0.4	1.0	48%
15/04/2024 10:20	10%	4%	Bueno	0.5	0.7	13%
16/04/2024 11:50	10%	6%	Bueno	0.5	0.7	16%
17/04/2024 12:20	10%	3%	Bueno	0.4	0.5	13%

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 27: Calibración de equipos hidrométricos para aforo con trazador químico



FUENTE: Elaboración propia

Anexo 28: Aforo con trazador químico en el río Huancayocc, Ayacucho

