



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE MANABÍ
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA TRABAJO DE TITULACIÓN**

TEMA:

**REDUCCIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS CURVAS DE DESCARGA
DE RÍOS PERENNES ESTACIONALES TROPICALES: CASO DE ESTUDIO
RÍO LA MINA, MANABÍ**

AUTOR:

MALLA VÉLIZ CÉSAR ANÍBAL

PREVIO AL TITULO DE: INGENIERO HIDRÁULICO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDROLOGÍA

TUTOR:

ING. JOSÉ RAMÓN ALARCÓN LOOR, MG

PORTOVIEJO, MARZO DE 2020

CERTIFICACIÓN DE LA TESIS

En mi calidad de director de tesis, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Carrera de Ingeniería Hidráulica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, cumpliendo los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación; en consecuencia es apto para su presentación y sustentación.

ING. JOSÉ RAMÓN ALARCÓN LOOR, MG.

C.I. 1311288201

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente manuscrito de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

(f) _____

Ing. Andy Giler Ormaza, Mg.
C.I. 1312820325
Primer Lector

(f) _____

Ing. José Alarcón Loor, Mg.
C.I. 1311288201
Segundo Lector

(f) _____

Ing. John Félix Mera, Mg.
C.I. 1313634360
Tercer Lector

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de sustento que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de esta tesis infringe los derechos de autor de nadie.



Malla Véliz César Aníbal

DIRECCIÓN: Portoviejo, Av. Del ejército y sexta transversal, Cdla. Los Algarrobos

EMAIL: manabi_primero@hotmail.com

TELÉFONO: 0993006560

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR Y CO-AUTORÍA

Yo, César Aníbal Malla Véliz, autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de los resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.



César Aníbal Malla Véliz
C.I.: 1311012312

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a papá Dios, por ser guía en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerza para continuar a tan anhelada meta.

A mi padre y madre, por su cariño, amor, consejos, trabajo y sacrificios en todos estos años, gracias a ustedes eh logrado llegar hasta aquí, son los mejores padres.

A toda mi familia porque con su apoyo, amor, cariño y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

A mis amistades, las que considero mi segunda familia, por apoyarme cuando más lo necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado, siempre los llevo en mi corazón.

Finalmente quiero dedicar esta tesis en memoria de Vitaliano Vélez, por enseñarme que no importa en las circunstancias que te pone la vida, siempre tienes que sonreír.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi familia por guiarme por el buen camino, y a los docentes que contribuyeron con sus conocimientos a lo largo de mi carrera.

Resumen

Este estudio elaboró información geomorfológica de la microcuenca La Mina, en el cantón Bolívar, Manabí, mediante el análisis de un modelo de elevación digital utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIGs). Así, entre octubre 2019 a febrero 2020, se realizaron 12 mediciones de caudal (Q) con correntómetro, en un área de drenaje de 62 km², con coeficiente de compacidad, factor de forma, longitud axial y ancho medio de 1,308; 0,565; 4,246 km y 1,825 km respectivamente, en un sistema de drenaje de orden 4 con densidad de drenaje de 2,073 km/km², una extensión media de escorrentía superficial menor a 8 km² y sinuosidad de corrientes de 1,2. Para extrapolar las mediciones de la curva de descarga, se utilizó el *software Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS)*, para modelar flujo estacionario del río desde la cota 44 hasta la 85, cada 10 m en un ejercicio iterativo de calibración de la línea de tendencia a los datos simulados hasta lograr un ajuste de R cuadrado (R²)= 1. Los resultados indican que el caudal mínimo y máximo medido en época de estiaje es de 0,0017 y 0,2638 m³/s con un calado de 34,205 y 78,881 cm respectivamente. Datos de un transductor en el cauce muestran que las mediciones Q ocurren en el ciclo descendente del hidrograma. La curva extrapolada es polinómica de forma $Q = ax^3+bx^2+cx+d$ y el resultado de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) de 0,41776, lo que ayuda a identificar el tipo de cuenca y aprovechar el recurso.

Palabras clave: curvas de descarga, estiaje, modelación hidráulica, SIG, cuenca hidrográfica

Abstract

This research study created geomorphological information of the La Mina microbasin, in Bolívar Canton, Manabí, through the analysis of a digital elevation model using Geographic Information Systems (GIS). Thus, from October 2019 to February 2020 there were carried out 12 discharge measurements (Q), using a current meter in a 62 km² drainage area with compactness coefficient, shape factor, axial length and basin width of 1.308, 0.565, 4.246 km and 1.825 km respectively, in a fourth-order drainage system with drainage density of 2.073 km / km², an average surface runoff area of less than 8 km², and sinuosity of currents of 1.2. The Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS) software was used to extrapolate the discharge rating curve measurements, modeling the steady flow of the river from level 44 to 85, at every 10 minutes in an iterative calibration exercise from the trend line to simulated data until achieving an adjusted R-squared (R^2) =1. The findings show that the minimum and maximum flow rates calculated in the dry season correspond to 0.0017 and 0.2638 m³ / s and draft size of 34.205 and 78.881 cm respectively. Data from an instream transducer show that Q measurements occur in the downstream cycle of the hydrograph. The extrapolated curve is polynomial with a form $Q = ax^3 + bx^2 + cx + d$ and the result of the root mean square error (RMSE) of 0.41776, which helps to identify the type of basin and take advantage of resources.

Keywords: discharge curves, low water level, hydraulic modeling, GIS, watershed

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	15
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
Área de Estudio.....	17
Ubicación	17
Materiales.....	18
Materiales de Oficina.....	18
Materiales de campo	19
Descripción de los equipos y programas	19
Transductor de Presión	19
Molinete Hidrométrico.....	21
Contador para Molinetes Hidrométricos.....	22
Software Hec – Ras.....	22
Metodología de Cálculo.....	23
- Método de Manning.....	23
Aforo con molinete	23
Velocidad Media en un Río (Método de Manning).....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Recopilación de datos de la microcuenca “La Mina”	26
BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del transductor de presión instalado en el río La Mina	20
Tabla 2. Características del Molinete.	21
Tabla 3. Datos Hidráulicos y Geométricos obtenidos.	27
Tabla 4. Datos tabulados de los aforos realizados.	31
Tabla 5. Cálculo del Criterio de la raíz del error cuadrado medio (RECM)	33

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Ubicación del transductor de presión	18
Gráfico 2. Transductor de presión.	20
Gráfico 3. Molinete hidrométrico.	21
Gráfico 4. Contador para molinetes hidrométricos.....	22
Gráfico 5. Esquema gráfico de una curva de descarga.....	25
Gráfico 6. Microcuenca hidrográfica “La Mina” y ubicación del transductor de presión.	27
Gráfico 7. Esquema gráfica de la sección transversal del Río La Mina y la ubicación del transductor en la sección 19.....	29
Gráfico 8. Análisis de lámina de flujo constante.....	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 9. Esquema simulado de la zona de análisis del Río "La Mina".	30
Gráfico 10. Curva de Descarga resultante de la ecuación obtenida del caudal de flujo.	32

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la Velocidad Media de un río de acuerdo al Método de Manning.....	24
Ecuación 2. Cálculo de la Velocidad Media de un río de acuerdo al Método de Manning.....	25
Ecuación 3. Criterio de la raíz del error cuadrado medio (RECM).....	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Área de la micro cuenca del Río "La Mina".....	37
Anexo 2. Datos tabulados de los aforos realizados.....	38
Anexo 3. Tabla de valores de "n" para los materiales base.....	38
Anexo 4. Tabla de valores ajustados para factores que afectan la rugosidad del canal.....	39
Anexo 5. Tabla de valores de la zona de aforo.....	40
Anexo 6. Valores extrapolados de la zona de aforo de acuerdo al programa informático HEC - RAS.....	43
Anexo 7. Gráfico de presiones obtenidas por el transductor con respecto a las fechas de los aforos.....	44
Anexo 8. Valores de presiones versus fecha de aforos #1.....	45
Anexo 9. Valores de presiones versus fecha de aforos #2.....	46
Anexo 10. Valores de presiones versus fecha de aforos #3.....	47
Anexo 11. Valores de presiones versus fecha de aforos #4.....	48
Anexo 12. Valores de presiones versus fecha de aforos #5.....	49
Anexo 13. Valores de presiones versus fecha de aforos #6.....	50
Anexo 14. Valores de presiones versus fecha de aforos #7.....	51
Anexo 15. Valores de presiones versus fecha de aforos #8.....	52
Anexo 16. Valores de presiones versus fecha de aforos #9.....	53
Anexo 17. Valores de presiones versus fecha de aforos #10.....	54
Anexo 18. Valores de presiones versus fecha de aforos #11.....	55
Anexo 19. Valores de presiones versus fecha de aforos #12.....	56
Anexo 20. Valores de presiones versus fecha de aforos #13.....	57

INTRODUCCIÓN

Determinar con precisión el caudal (Q) en época de estiaje es de vital importancia para la gestión integral del recurso hídrico (GIRH), especialmente en ecosistemas caracterizados por una época seca marcada. Con este conocimiento se puede optimizar el uso del agua, su manejo y gobernanza para alcanzar el desarrollo humano sostenible y/o la mejora en las condiciones de vida de los usuarios de la cuenca. Este podría considerarse el caso de la Parroquia rural de Membrillo, en el Cantón Bolívar de la Provincia de Manabí, asentada en la sub cuenca del río Membrillo, el mismo que es considerado un afluente estacionario dadas las características orográficas de Manabí, donde las condiciones pluviales están claramente definidas en dos periodos del año, la época seca y época de lluvias, lo que resulta en la mala administración del líquido vital para las actividades diarias y de producción como riego y alimentación de ganados propios de la zona.

Los cambios en los patrones climáticos afectan la cantidad y distribución de las lluvias y la evapotranspiración y consecuentemente la recarga de los acuíferos. El modelamiento del balance hídrico (Water Balance Modelling) puede ser usado para predecir el impacto de los cambios del clima sobre fuentes de agua, sin embargo, la calibración del modelo y por lo tanto las predicciones propagan la incertidumbre de las mediciones utilizadas. Al combinar diferentes técnicas de medida, la incertidumbre del modelamiento puede ser reducida. (Sophocleous, 1991)

En efecto, los hidrólogos están muy conscientes que una aproximación significativa afecta los resultados de los modelos hidrológicos. La incertidumbre es causada por muchas fuentes de error que se propagaron a través del modelo y por consiguiente afectan los resultados. Tres fuentes importantes de incertidumbre han sido identificadas por los hidrólogos: (Götzinger, 2008)

- a) La incertidumbre en las observaciones, que es la aproximación en las variables hidrológicas observadas usadas al ingresar los datos o al momento de la calibración o validación (lluvias, temperatura y el río mismo)
- b) El parámetro de incertidumbre, que es inducido por una mala calibración de los modelos hidrológicos
- c) El modelo de incertidumbre estructural, que es originado por la incapacidad de los modelos hidrológicos para esquematizar perfectamente los procesos físicos relacionados en la transformación “lluvia – escorrentía”.

Un entendimiento total de la incertidumbre que afecta el método de las curvas de clasificación para las medidas de las descargas requiere una descripción del procedimiento mismo, con el fin de estimar la curva de clasificación, los trabajos de campo se llevan a cabo para grabar medidas actuales de la altura del río (h) y la descarga del río (Q), evaluada al usar el método velocidad – área. Estas medidas permiten la identificación de un número de puntos (Q vs h) que son interpoladas al usar una relación analítica como la curva de clasificación. Una vez que la curva de clasificación es estimada, la descarga de río observada Q en un tiempo arbitrario (t), puede ser operacionalmente obtenido al medir la altura del río h . (Di Baldassarre, 2009)

Debido a que en el Ecuador la información hidrológica se orienta a las cuencas hidrográficas y afluentes más importantes, se han dejado de lado las cuencas de menor orden, dejando de lado microcuencas ubicadas en zonas altas como la curva de descarga de la Microcuenca La Mina. En este trabajo se realizó el levantamiento de información geomorfológica y se realizaron mediciones de Q en la época de estiaje para evaluar la incertidumbre en las mediciones y modelación de la curva de descarga de una microcuenca.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las fuentes de incertidumbre en la curva de descarga de la microcuenca “La Mina”, Membrillo, Manabí, Ecuador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar la curva de descarga con los caudales recolectados.
- Realizar mediciones de caudal con método del correntómetro o molinete.
- Elaborar un análisis de sensibilidad para las curvas de descarga extrapoladas con simulaciones hidrodinámicas.
- Realizar una comparativa entre curvas de descarga extrapoladas con curvas de descargas medidas; integrando condiciones y modelos para reducir incertidumbre.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El Río “La Mina”, con un área de drenaje aproximada de 7,8 km², es un afluente aportante del Río Membrillo, que a su vez pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Chone, principal cuenca fluvial de la Provincia de Manabí. Además del Río La Mina, son aportantes también los ríos Rancho de Palo, Algodón y Truche (Información, 2015). Las vertientes que encontramos en esta zona son de tipo embudo, de forma ovalada – redonda, siendo un modelo de drenaje dendrítico de acuerdo a la hidrología (Zambrano, 2018). Sin embargo para la instalación del transductor de presión la estructura morfológica incidió en su ubicación; ya que se evidenció zonas con meandros pronunciados realizándose un balance desde el punto de vista constructivo, destructivo y de logística obteniendo como resultado la instalación del transductor a 230 metros aguas arriba de la desembocadura del Río La Mina en el Río Membrillo.

Ubicación

Un esquema de ubicación del transductor utilizado en este estudio se muestra en el gráfico

1. El transductor se ubicó en las siguientes coordenadas geográficas:

- Latitud: 0° 50' 34,36”
- Longitud: 79° 55' 45,78”

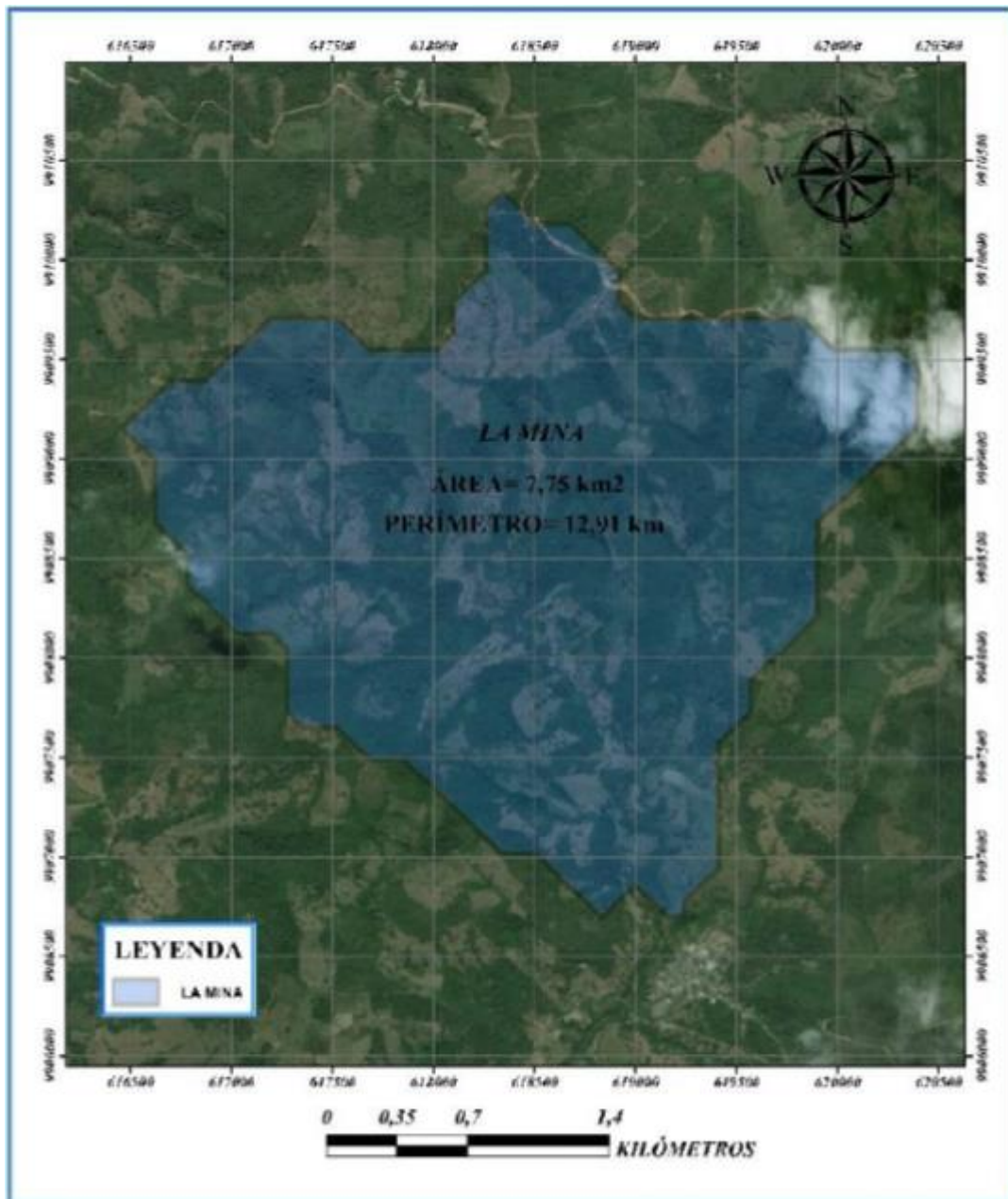


Gráfico 1. Ubicación del transductor de presión

Fuente: (Donoso S., 2018)

Materiales

Materiales de Oficina

- Datos de presión y temperatura obtenidos del transductor de presión.
- Puntos de referencia obtenidos de la topográfica en el área de estudio.
- Software (Word, Excel, HOBO, CivilCad, Hec-Ras).
- Computadora.
- Lápiz, papel, etc.

Materiales de campo

- Transductor de presión.
- Estación total.
- Estructura para instalación de equipo.
- Herramientas menores para instalación de equipo.

Las mediciones de Q en la microcuenca “La Mina” se realizaron en un periodo de 4 meses, de noviembre a febrero, e incluyen mediciones durante la época seca y el inicio de la época lluviosa. El transductor de presión es el equipo que en este estudio se encargó de recolectar los datos de presión y temperatura información in-situ de alta resolución temporal para contrastarlo con las mediciones de semanales de Q. El programa informático HEC-RAS fue utilizado para extrapolar la curva de descarga modelando flujo estacionario. Se levantaron con estación total 30 secciones del río La Mina desde la cota 44 hasta la 85, cada una a 10 m de distancia de la anterior con el fin de establecer el dominio hidogeomorfológico del tramo a modelar. Para establecer el coeficiente n de Manning en la modelación se utilizó el procedimiento detallado en la tabla del Anexo 1 de (Arcement, 1990). Las condiciones límite aguas arriba y aguas abajo del tramo modelado corresponden a la pendiente entre las dos secciones extremas, tanto aguas arriba como aguas abajo. Con estos insumos se generó la curva de descarga. Para cada perfil modelado, la diferencia de la cota de fondo y cota de superficie. La morfología de la cuenca intervino de manera importante en la selección del sitio para la instalación del transductor. Se descartaron sitios expuestos a eventos de avenidas máximas y meandros para que cumpliera con los parámetros de seguridad para la instalación del equipo.

El análisis del comportamiento hidrológico de la microcuenca “La Mina” tuvo una duración de 3 meses, tiempo base para realizar una tabulación de datos hidrológicos y observar su comportamiento durante el inicio de la etapa invernal y mayoritariamente en la época veranera del área de estudio.

Descripción de los equipos y programas**Transductor de Presión**

Las características de funcionamiento del transductor utilizado en esta investigación se detallan en la tabla 1 y una foto del instrumento se aprecia en el gráfico 2:

Tabla 1. Características del transductor de presión instalado en el río La Mina

CARACTERÍSTICAS	RANGOS DE OPERACIÓN
PRESIÓN	
Profundidad	Aproximadamente de 0 a 4 metros de profundidad a nivel del mar
Exactitud	69 a 145 kPa (10 a 21 psia), 0° a 40° C
Resolución	<0,014 kPa (0,002 psi), 0,14 cm de agua
Precisión de Presión Bruta	±0,3% FS, error máximo de 0,43 kPa (0,063 psi)
Precisión del Nivel de Agua	Error típico: ±0,075% FS, 0,3 cm de agua Error máximo: ±0,15% S, 0,6 cm de agua
Resolución	<0,014 kPa (0,002 psi), 0,14 cm de agua
Tiempo de respuesta	<1 segundo
TEMPERATURA	
Temperatura	-20° a 50° C
Exactitud	±0,44 °C de 0° a 50°C
Resolución	0,10°C a 25°C
Estabilidad (deriva)	0,1 °C por año
Tiempo de respuesta	5 minutos en agua
LOGGER	
Tiempo	±1 minuto por mes de 0° a 50°C
Batería	2/3 AA, 3,6 voltios de litio, reemplazable en fábrica
Duración de batería	5 años con 1 minuto o más de intervalo de registro
Memoria	Memoria de 64K bytes (Aproximadamente 21.700 muestras de presión y temperatura)
Peso	Modelos de acero inoxidable: aproximadamente 210 g Modelos de titanio: aproximadamente 140 g
Dimensiones	2,46 cm de diámetro, 15 cm de longitud, orificio de montaje de 6,3 mm de diámetro
Materiales	Acero inoxidable 316, juntas tóricas Viton, tapa de acetilo, sensor de cerámica
Intervalo de registro	Intervalos de registro de tasa fija o múltiple, con hasta 8 intervalos de registro definidos por el usuario y duraciones, intervalos de registro desde 1 segundo hasta 18 horas.
Modos de lanzamiento	Arranque inmediato y arranque retrasado
Modos de descarga	Descargar durante el registro, parar y descargar
Indicación de la batería	El voltaje de la batería se puede ver en la pantalla de estado y, opcionalmente, iniciar sesión en el archivo de datos. Indicación de batería baja en el archivo de datos.
Calificación Ambiental	IP50

Realizado por: César Malla Véliz.

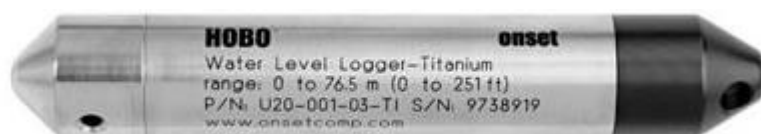


Gráfico 2. Transductor de presión.

Molinete Hidrométrico

Un molinete es un instrumento mecánico que sirve para la medición de flujos en corrientes de agua como arroyos, ríos y/o canales. El equipo utilizado en este estudio es de modelo OTT C31, y se puede utilizar tanto en arroyos o ríos pequeños con un bajo nivel de agua como en aguas más profundas y con velocidades de flujo de hasta 10 m/s. En función de la aplicación el molinete se puede utilizar como molinete de barra o como molinete flotante montado sobre un lastre y en tornos de cable estacionarios o bien en barcos de medición. En la tabla 2 se detallan las características del molinete y en el gráfico 3 se aprecia un foto del instrumento.

Tabla 2. Características del Molinete.

CARACTERÍSTICAS	RANGOS DE FUNCIONAMIENTO
Velocidad de Flujo (m/s)	0,025 a 10
Molinete	1 pulso/revolución
Precisión	±2%

Realizado por: César Malla Véliz.



Gráfico 3. Molinete hidrométrico.

Contador para Molinetes Hidrométricos

Un contador digital para molinetes hidrométricos permite ahorrar tiempo en las mediciones de flujo. Por medio de los impulsos del molinete, se calcula automáticamente el número de revoluciones de la paleta. Además, justo después de la medición puede facilitar la velocidad del flujo. El contador utilizado en este estudio es de modelo Z400 que se aprecia en el gráfico 4, el mismo que se puede utilizar con molinetes tanto de barra como flotantes, dado que adapta los modos de medición en cada caso.



Gráfico 4. Contador para molinetes hidrométricos.

Software Hec – Ras

Hoy en día se dispone de diversos softwares específicos de modelización hidráulica que facilitan la entrada de datos y permiten visualizar gráficamente los resultados, incluso exportarlos en forma de tablas, lo que nos facilita su interpretación, el software HEC-RAS (desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers), es uno de los programas de referencia dentro de su campo.

Esto ha hecho que poco a poco la gran mayoría de administraciones hayan comenzado a exigir el estudio del impacto que pueden representar sobre la dinámica de los cauces cualquier tipo de actuación con un modelo hidráulico suficientemente fiable, como es el caso de HEC-RAS.

HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un programa de modelación hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente
- Modelización de flujo en régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

El programa nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios sobre zonas inundables.

Metodología de Cálculo

Dentro de las metodologías para la obtención de curvas de descarga, se puede disponer de varios métodos de cálculos hidrológicos, que dependen de la cantidad y calidad de datos que se puedan recopilar. A continuación mencionamos algunos de los métodos disponibles:

- Método de Manning
- Factor hidráulico
- Método de Stevens
- Método de Área – Velocidad
- Método de gastos unitarios de profundidad media
- Método de Lunna y Maddock
- Método de Leach
- Método de Running
- Método de Johnson
- Método Logarítmico

Selección de método para obtención de la curva de descarga

Aforo con molinete

Aforo con el método del molinete, el más común de estos instrumentos es el tipo Price, el cual está provisto de una hélice o rueda de aspas que gira impulsada por la velocidad de la corriente, que indica el número de revoluciones con que gira la hélice, por medio de un transductor eléctrico (Breña Agustín, 2006).

Habiendo molinetes digitales que se mueven de arriba a abajo y nos arrojan directamente la velocidad media de esa vertical. En tal caso, bastaría con multiplicar la velocidad media por la profundidad para obtener m^2/s (Román, 2013).

Cálculo del caudal

Representar los valores en el gráfico (m^2/s) hallados en el apartado anterior, y se puede considerar como una visión de planta del cauce, por la parte horizontal figura la anchura del mismo y la situación exacta de cada perfil. En vertical figura la magnitud obtenida de cada perfil de flujo. Juntamos los extremos de los vectores con una envolvente de formas suaves (Román, 2013).

Dadas las características hidrológicas y geomorfológicas de la microcuenca de “La Mina”, hemos escogido el método de velocidad media de Manning para calcular el caudal medio del río en estudio. Este método es descrito más a detalle en continuación.

Velocidad Media en un Río (Método de Manning)

Es uno de los métodos más utilizados en las caracterizaciones hidrológicas de cuencas y microcuencas, ya que en la extrapolación de niveles muy altos, los valores resultantes se apegan a la realidad. (Colmenarez, 2013) La ecuación (1) para calcular la velocidad media de un río, según este método, es la siguiente:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Ecuación 1. Cálculo de la Velocidad Media de un río de acuerdo al Método de Manning.

Donde:

V = Velocidad media

n = Coeficiente de rugosidad

R = Radio Hidráulico de la sección

S = Pendiente hidráulica

Para los estados altos del río, en donde no existe influencia en el control, podemos considerar a “n” y “S” como constantes, por lo que la ecuación (2) se expresaría así:

$$V = KR^{2/3}$$

Ecuación 2 Cálculo de la Velocidad Media de un río de acuerdo al Método de Manning.

Para la correcta aplicación de este método, es necesario conocer o tener a la mano ciertos datos que caractericen geoméricamente la sección de aforo del río, como: área (A), perímetro mojado (P) y el radio hidráulico ($R = A/P$), para cualquier nivel de agua. Así, con estos datos es posible obtener la curva de H versus A, y $R^{2/3}$.

La ecuación de la continuidad de flujos (3) rige los aforos tomados en diferentes sitios de la sección.

$$Q = A.V$$

Ecuación 3. Ecuación de la continuidad.

Fuente: Perez Preciado, Alfonso (1969) – Métodos para elaborar curvas de calibración en cauces aluviales

Conocidos los datos de aforo (H vs Q), se interpola el área para estas alturas, de acuerdo a la curva H vs A, y se calcula la velocidad media con la ecuación 3. Posteriormente, se dibuja una curva de altura versus la velocidad media calculada, a la misma escala de la curva de áreas. Un esquema de la curva resultante se muestra en el gráfico 5.

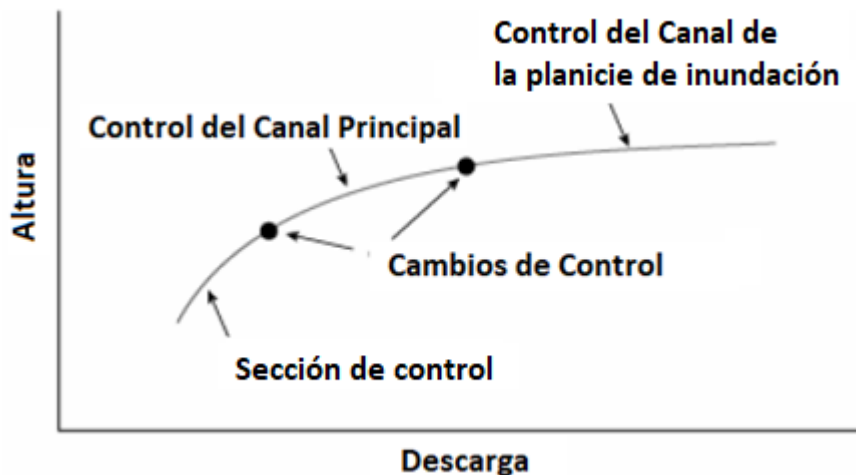


Gráfico 5. Esquema gráfico de una curva de descarga.
Realizado por: César Malla Véliz.

Finalmente para evaluar el ajuste de la curva de descarga extrapolada en HEC-RAS con las mediciones de Q se utilizó el criterio de la raíz del error cuadrado medio (RECM, por sus siglas en inglés) expresado en la ecuación 4:

$$\text{RECM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

Ecuación 4. Criterio de la raíz del error cuadrado medio (RECM)

Donde:

- y_i = Valor observado o medido
- \hat{y}_i = Valor del modelo
- n = Número de pares u observaciones

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recopilación de datos de la microcuenca “La Mina”

En el área de estudio, anexo 1, se encontró que la ganadería y la agricultura son las principales actividades para el uso del suelo, esto podría originar contaminación difusa que afecte la calidad del agua cruda para abastecimiento. (Ganchozo, 2012) expresa que uno de los usos principales del suelo en la microcuenca La Mina corresponde a un bosque húmedo tropical y por esta razón, se mantiene un curso de agua permanente con variaciones estacionales de caudal (Q) bien definidas por la marcada época seca en la zona.

Los aforos en sitio se realizaron en un periodo comprendido desde el 6 de noviembre de 2019 hasta el 30 de enero de 2020, completando un total de 12 aforos, cada uno tomado en 30 secciones cada 10 metros del Río “La Mina”. El anexo 2 resume los principales parámetros obtenidos en cada aforo, y las magnitudes medidas, resultando en datos promedio pertinentes a esta investigación tales como: temperatura, hora del aforo, medida del transductor, calados y caudal. En el gráfico 6 se puede apreciar la ubicación sobre el plano y en referencia a la población de Membrillo, sitio que se sirve mayormente de las aguas de la microcuenca de este estudio.

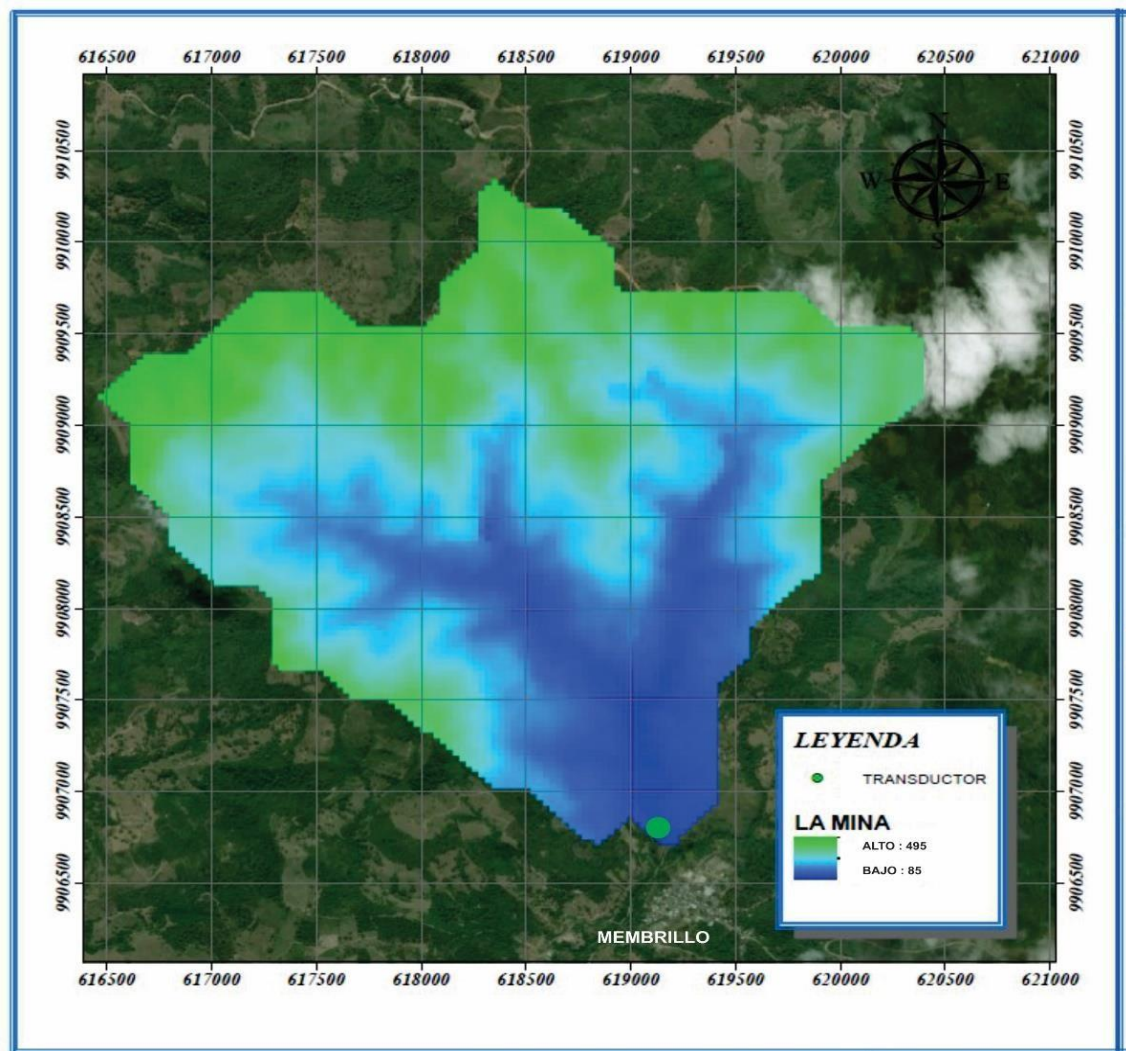


Gráfico 6. Microcuenca hidrográfica “La Mina” y ubicación del transductor de presión.
Fuente: (Giler-Ormaza, S.F.)

Así, con los datos recolectados, se tabulan los valores para obtener las medias de las magnitudes necesarias para poder generar la curva de descarga, los mismos que se muestran en la tabla 3.

Caudal Medio en Sección de Aforo (m^3/s)	0,08
Área medida mojada en la Sección Transversal (m^2)	1,2
Velocidad Media (m/s)	0,07
Perímetro Mojado de la Sección Transversal (m)	7,28
Profundidad Hidráulica (m)	0,21
Radio Hidráulico (m)	0,19

Tabla 3. Datos Hidráulicos y Geométricos obtenidos.
Realizado por: César Malla Véliz.

Con los datos de campo de caracterización geomorfológica de la microcuenca, se pueden obtener los datos geométricos, dando como resultado el recorrido del flujo en el área transversal de los tramos donde se ubicó el transductor. Se describió un tramo de 340 metros aproximadamente de largo, con 30 secciones ubicadas cada 10 metros, en algunos casos excediendo esta medida debido a la presencia de meandros y obstáculos naturales en el río. El transductor fue colocado en la sección 19 dejando 11 y 18 secciones aguas arriba y aguas abajo, respectivamente. El programa Hec – Ras permite la visualización del perfil de planta de las secciones generadas, las mismas que se observan en el anexo 6. En el gráfico 9 podemos observar una simulación del corte transversal de la sección 19, dejando en evidencia el nivel de altura del río, la misma que para un caudal máximo de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, arroja un valor de 1,92 metros, y un mínimo de $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ y una profundidad de 0,1 metros. Todos los valores de la simulación se pueden observar en la tabla del anexo 4.

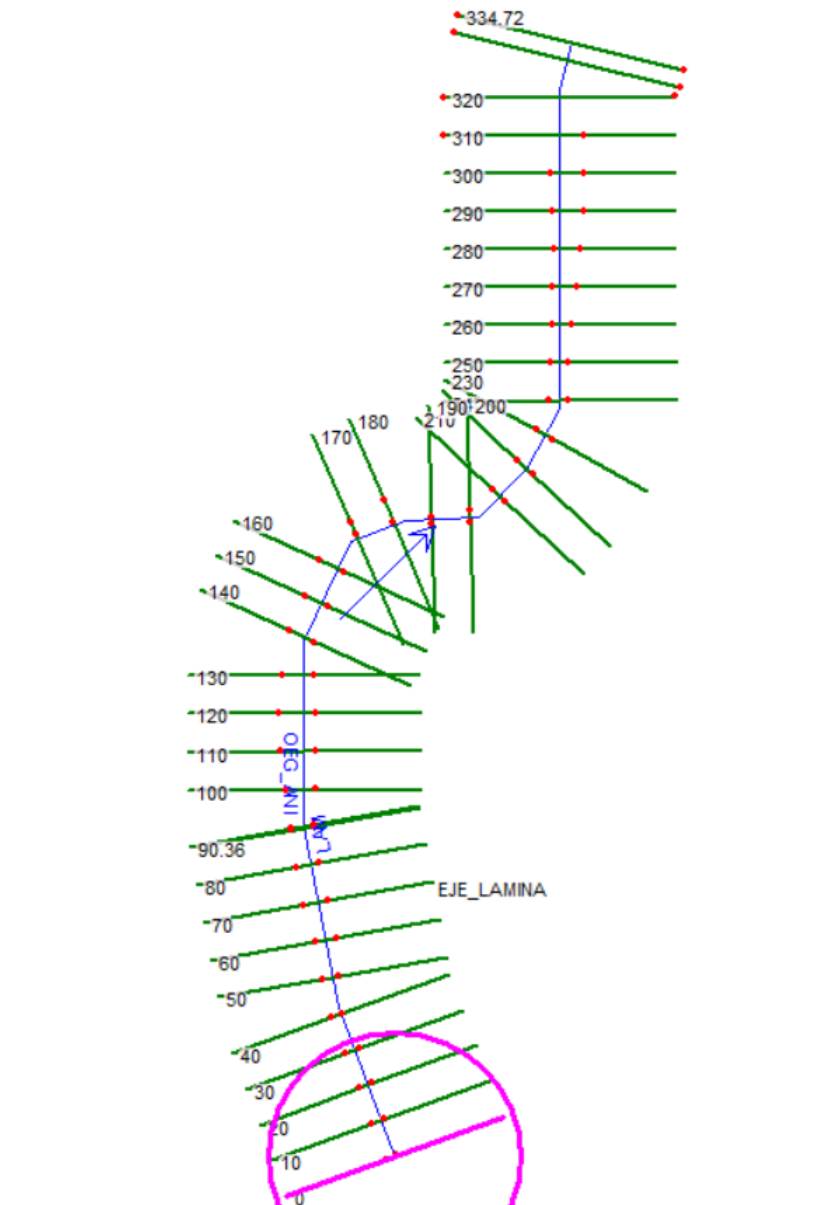


Gráfico 7. Esquema gráfico de la sección transversal del Río La Mina y la ubicación del transductor en la sección 19.

Fuente: (Engineers, 2010) Programa Informático HEC – RAS.

Realizado por: César Malla Véliz.

De esta manera, y siguiendo los valores de las tablas de los anexos 1 y 2, se han tomado para las características propias de la zona, los siguientes datos, los mismos que se ingresarán en el programa para la modelación final (Arcement, 1990):

Valor de Manning: Grava Gruesa = 0,026

Grado de irregularidad: Moderado = 0,006

Variación en la sección transversal del canal = 0,001

Cantidad de vegetación: Pequeña = 0,002

Coeficiente de Manning total = 0,035

Una vez ingresados los datos tomados en campo en el programa informático HEC – RAS, se debe tomar en cuenta que se realizaron 20 simulaciones para distintos caudales de flujo del Río La Mina, por lo que resulta para este estudio, un caudal promedio de $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ (80 litros por segundo), dando al final un valor de Froude igual a 0,05; lo que demuestra un flujo de tipo subcrítico para las características de esta microcuenca.

Del análisis del programa informático, procedemos a evaluar los perfiles, que para este estudio resultan en 20, de los cuales, tomaremos el perfil #12, extrapolando los datos para obtener un caudal de flujo de $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$.

En el anexo 5 podemos observar la pantalla de los valores ingresados para el caudal señalado, siendo este el paso previo para poder obtener el esquema final de la microcuenca del Río La Mina, observado en el gráfico 11, donde se denota el perfil dibujado del río con la altura y calados.

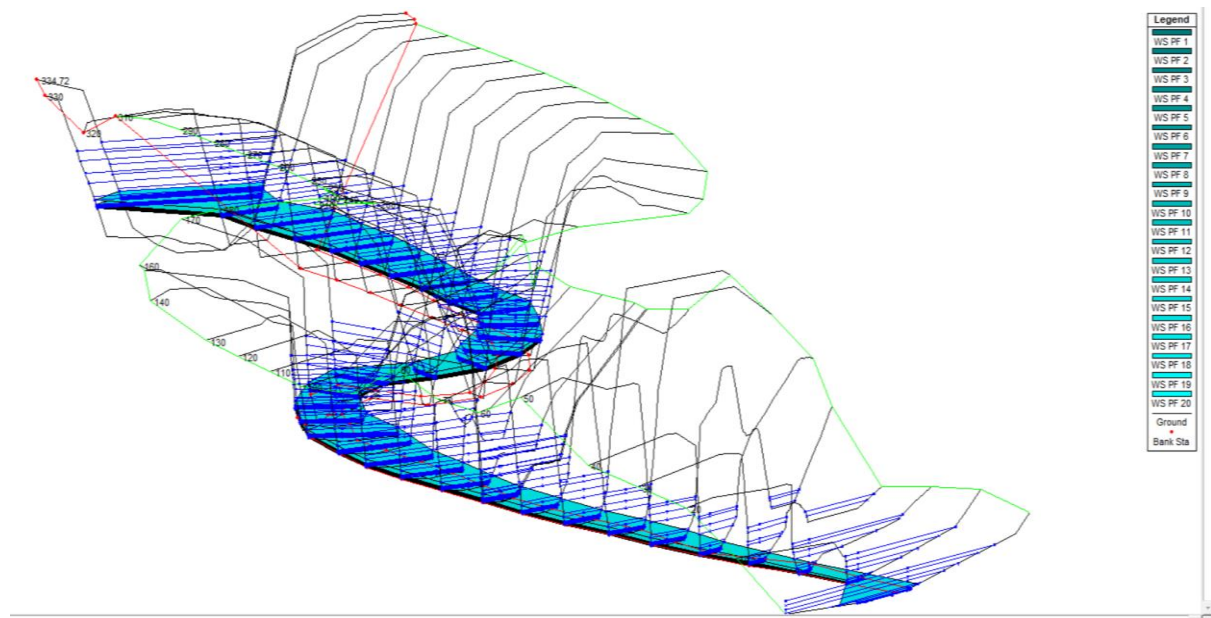


Gráfico 8. Esquema simulado de la zona de análisis del Río "La Mina".

Fuente: (Engineers, 2010) Programa Informático HEC – RAS.

En la tabla 4 se aprecian las 12 mediciones de Q con molinete y sus calados.

Calados(m)	CAUDAL MOLINETE (m ³ /s)
0,284203	0,0637
0,3113388	0,0221
0,770679	0,2638
0,7888164	0,2638
0,3420599	0,0017
0,739044	0,0018
0,3260315	0,0602
0,3294059	0,0416
0,9778531	0,0409
0,2830782	0,0708
0,3118309	0,0690
0,9785561	0,1530

Tabla 4. Datos tabulados de los aforos realizados.
Realizado por: César Malla Véliz.

En el gráfico 10 se presenta la curva con las mediciones del Q durante todo el periodo monitoreado. Se puede observar que en estas fechas el caudal máximo de crecida fue 0,2638 m³/s, mientras que el mínimo fue de 0.0017 m³/s, lo que significa que la microcuenca La Mina aporta considerablemente flujo al Río Membrillo en época de estiaje.

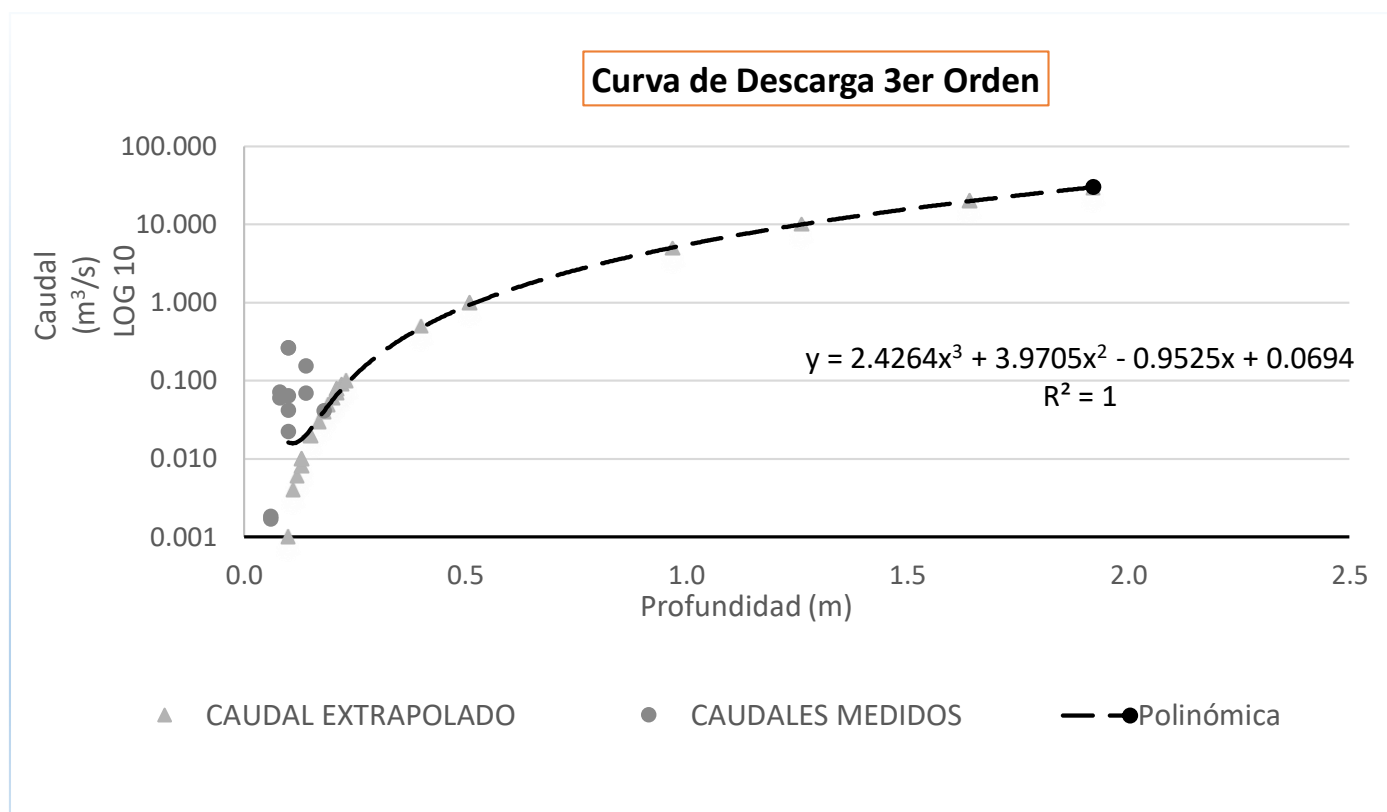
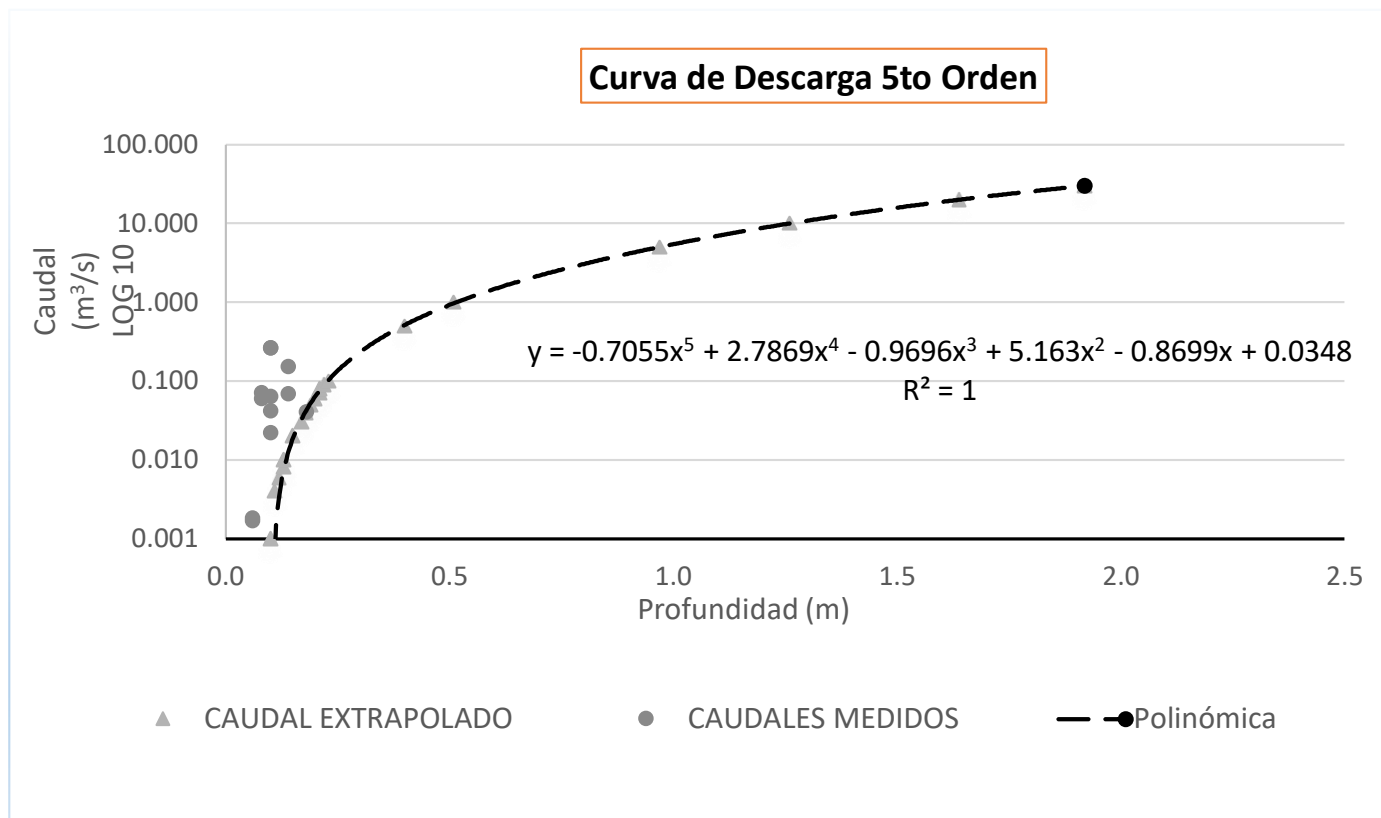


Gráfico 9. Curva de Descarga resultante de la ecuación obtenida del caudal de flujo.

Realizado por: César Malla Véliz

Cálculo del Criterio de la raíz del error cuadrado medio (RECM)

Para el cálculo del RECM, tomamos los datos de las columnas 5 y 6, del cuadro del anexo 2 de este documento, y los tabulamos para obtener el resultado de error final, los mismos que se muestran en la tabla 5.

AFOROS (n)	y_i	\hat{y}_i	$(\hat{y}_i - y_i)^2$
1	14,491	14,501	1E-04
2	14,5199	14,5396	0,00038809
3	15,193	15,193	0
4	15,2211	15,2188	5,29E-06
5	15,1776	14,5833	0,35319249
6	15,148	15,148	0
7	15,1622	14,5605	0,36204289
8	15,2282	14,5653	0,43943641
9	15,4716	15,4877	0,00025921
10	14,5104	14,4994	0,000121
11	15,5092	14,5403	0,93876721
12	15,491	15,4887	5,29E-06
$\frac{\sum(\hat{y}_i - y_i)^2}{n} =$			
	2,0943		
$\sqrt{\frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} =$			
	0,41776		

Tabla 5. Cálculo del Criterio de la raíz del error cuadrado medio (RECM)

Realizado por: César Malla Véliz

CONCLUSIONES

- Las mediciones de caudal para la época de estiaje tienen un rango de 0,262 m³/s, con un máximo y un mínimo de 0,2638 m³/s y 0,0017 m³/s, respectivamente, y un valor promedio de caudal de 0,008 m³/s.
- La curva de descarga generada es obtenida a partir de una ecuación de orden polinómica, la misma que puede ser usada para determinar las alturas y caudales teóricos dependiendo de la época del año.
- La calibración del modelo hidráulico se la realizó variando el coeficiente de rugosidad de Manning “n”, para contrastar los niveles de la simulación con los aforados, resultando en un valor de 1; así como un RECM igual a 0,41776.
- El programa informático HEC – RAS utilizado en la modelación del Río La Mina permitió extrapolar la curva de descarga en ausencia de mediciones de Q suficientes.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda recopilar los datos in-situ cada semana para generar mayor conocimiento sobre el proceso precipitación-escorrentía, tanto en época lluviosa como en la de estiaje y de esta manera reducir incertidumbres en la curva de descarga.
- Instalar equipos de precipitación como pluviómetros, para abarcar índices de precipitación y flujo, para su vez realizar un balance hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- Arcement, G. &. (1990). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. (Guía para la selección de los Coeficientes de rugosidad de Manning para canales naturales y planos de inundación). 8.
- Breña Agustín, J. M. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*.
- Colmenarez, G. y. (2013). Estimación de la velocidad del flujo del agua en cauces efímeros no aforados a partir de datos Lidar y GPS - RTK. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 9.
- Di Baldassarre, G. a. (2009). Uncertainty in river discharge observations: a quantitative analysis.
- Donoso S., Z. L. (2018). *Caracterización Hidrológica y Morfológica de la Microcuenca "La Mina" que alimenta al embalse La Esperanza*. Portoviejo.
- Engineers, U. A. (2010). HEC - RAS River Analysis System. User's Manual.
- Ganchozo, T. V. (2012). Diagnóstico de los recursos naturales y culturales de la Parroquia Membrillo.
- Giler-Ormaza, A. A. (S.F.). Identificación de los procesos de generación de escorrentías utilizando modelado hidrológico: aplicación a las cuencas altas de los embalses Poza Honda y la Esperanza.
- Götzinger, J. a. (2008). Generic error model or calibration and uncertainty estimation o hydrological models, Water Resources.
- Información, S. N. (2015). http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1360037040001_PDOT%20MEMBRILLO%20FASE%20DIAGNOSTICO%202015-2019_30-10-2015_01-02-14.pdf.
- Lluén, W. (2015). Aplicación de la nueva herramienta Hec - Ras 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos. 14, 15.
- Román, J. S. (2013). <http://hidrologia.usal.es>.
- Sophocleous, M. (1991). *Manual de Hidrología*.
- Zambrano, X. (2018). *Análisis del comportamiento hidrológico de la microcuenca "La Mina" que alimenta al embalse La Esperanza, mediante la aplicación de índices hidrológicos*. Portoviejo.

ANEXOS



Anexo 1. Área de la micro cuenca del Río "La Mina".
Fuente: (Giler-Ormaza, S.F.)

FECHA AFOROS	TEMPERATURA ANTERIOR (°F)	TEMPERATURA POSTERIOR (°F)	HORA MED ANT(p.m.)	MEDICION ANTERIOR (psi)	MEDICION POSTERIOR (psi)	HORA MED REAL (p.m.)	MEDICION ADOPTADA (psi)/MEDIDA	Calados (cm)	CAUDAL MOLINETE (m ³ /s)	AFOROS
11/06/2019	77,574	93,115	13:00	14,491	14,501	13:15	10,194203	28,4203	0,0637	1
20/11/2019	79,678	92,926	13:40	14,5199	14,5396	13:55	10,2213388	31,13388	0,0221	2
27/11/2019	76,354	76,354	15:45	15,193	15,193	15:50	10,680679	77,0679	0,2638	3
12/04/2019	75,832	75,832	13:55	15,2211	15,2188	14:00	10,6988164	78,88164	0,2638	4
12/11/2019	76,528	78,8	14:05	15,1776	14,5833	14:10	10,2520599	34,20599	0,0017	5
18/12/2019	76,528	76,528	14:15	15,148	15,148	14:20	10,649044	73,9044	0,0018	6
27/12/2019	76,703	77,225	11:00	15,1622	14,5605	11:05	10,2360315	32,60315	0,0602	7
01/03/2020	76,703	78,098	10:50	15,2282	14,5653	10:55	10,2394059	32,94059	0,0416	8
01/09/2020	76,528	76,528	10:15	15,4716	15,4877	10:20	10,8878531	97,78531	0,0409	9
15/01/2020	77,225	85,014	13:45	14,5104	14,4994	13:50	10,1930782	28,30782	0,0708	10
23/01/2020	76,876	79,678	13:35	15,5092	14,5403	13:40	10,2218309	31,18309	0,0690	11
30/01/2020	76,876	76,876	12:50	15,491	15,4887	12:55	10,8885561	97,85561	0,1530	12
								Caudal medio de aforo (m ³ /s):	0,0877	

**Anexo 2. Datos tabulados de los aforos realizados.
Realizado por: César Malla Véliz.**

Material de base	Tamaño medio de la base (mm)	Valor base n	
		Canal uniforme	Canal Suave
Arena	0,2	0,012	-
	0,3	0,017	-
	0,4	0,020	-
	0,5	0,022	-
	0,6	0,023	-
	0,8	0,025	-
	1,0	0,026	-
Planos de Inundación y Canales estables			
Concreto	-	0,012 – 0,018	0,011
Roca cortada	-	-	0,025
Suelo firme	-	0,025 – 0,032	0,020
Arena gruesa	1 – 2	0,026 – 0,035	-
Grava fina	-	-	0,024
Grava	2 – 64	0,028 – 0,035	-
Grava gruesa	-	-	0,026
Adoquín	64 – 256	0,030 – 0,050	-
Roca	>256	0,040 – 0,070	-

Anexo 3. Tabla de valores de "n" para los materiales base.

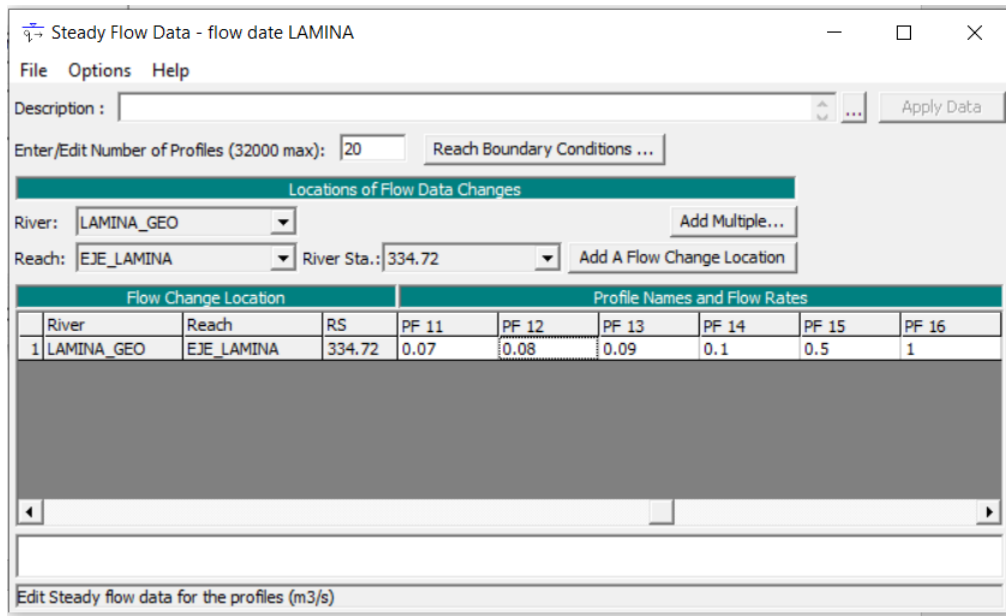
Fuente: (Arcement, 1990)
Realizado por: César Malla Véliz.

Condiciones del plano de inundación		Valor de ajuste de "n"	Ejemplo
Grado de Irregularidad (n1)	Suave	0,000	Compara el terreno más suave y más plano posible.
	Menor	0,001 – 0,005	Es un plano de inundación ligeramente irregular en forma. Pocas subidas y bajadas.
	Moderada	0,006 – 0,010	Tiene más subidas y bajadas. Montículos y depresiones pueden presentarse.
	Severo	0,011 – 0,020	Plano muy irregular. Muchas subidas y bajadas. Superficies irregulares en pastizales y surcos perpendiculares al flujo son incluidas.
Variación de la sección transversal del plano (n2)		0,0	No se aplica
Efecto de obstrucciones (n3)	Despreciable	0,000 – 0,004	Pocas obstrucciones: depósito de escombros, troncos de árboles, raíces expuestas o rocas que ocupan menos del 5% del área transversal.
	Menor	0,005 – 0,019	Obstrucciones que ocupan menos del 15% del área transversal.
	Apreciable	0,020 – 0,030	Obstrucciones que ocupan del 15 al 50% del área transversal.
Cantidad de Vegetación (n4)	Pequeña	0,001 – 0,010	Crecimiento de hierbas donde el promedio de flujo es por lo menos dos veces la altura de la vegetación u otro tipo de árboles de tamaño medio.
	Media	0,011 – 0,025	Monte creciendo hasta el promedio de profundidad de flujo de una a dos veces la altura de la vegetación, o moderadamente densa, o árboles medianos crecen donde el promedio de profundidad del flujo es de a 3 veces la altura de la vegetación.
	Grande	0,025 – 0,050	Monte creciendo donde el promedio de profundidad es igual a la altura de la vegetación, árboles de 8 a 10 años, donde el radio hidráulico supera los 60 cm.
	Muy grande	0,050 – 0,100	Monte creciendo donde el promedio de profundidad del flujo es menor que la mitad de la altura de la vegetación, o densidad moderada de arbustos o árboles caídos. Gran densidad de arbustos u otro tipo de árboles.
Extremo	0,100 – 0,200		
Grado de meandro (m)		1,0	No aplicable

Anexo 4. Tabla de valores ajustados para factores que afectan la rugosidad del canal.

Fuente: (Arcement, 1990)

Realizado por: César Malla Véliz.

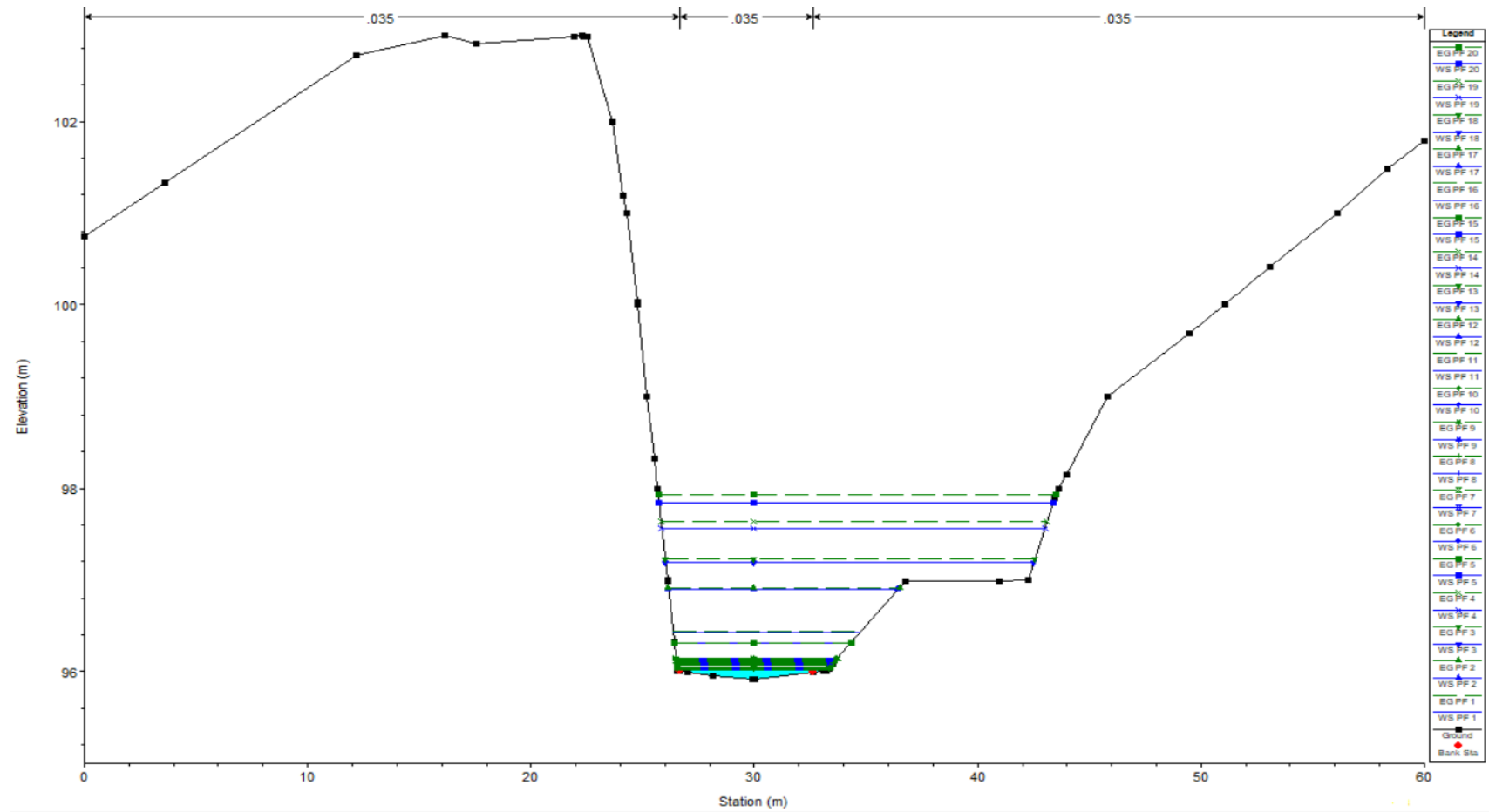


Anexo 5. Análisis de lámina de flujo constante.
Fuente: (Engineers, 2010) Programa Informático HEC – RAS.

PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS	
SECCION DE AFORO	NUMEROS DE AFOROS: 12
NOMBRE DEL CAUCE	Estero "La Mina"
NOMBRE DEL CITIO DE AFORO:	A 230 metros de la desembocadura al rio membrillo
INSTITUCION/RESPONSABLE:	Universidad Catolica de Manabí, sede Portoviejo/ Ing. Jaime Eduardo Pico Macías.
OBSERVACIONES DE LA SECCIÓN DE FORO:	EPOCA DE ESTIAJE
DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS	
CAUDAL MEDIO EN SECCION DE AFORO (m3/S)	0.08 m3/S
AREA MEDIA MOJADA SECCION TRANSVERSAL (m2)	1.20
VELOCIDAD MEDIA (m/S)	0.07
PERÍMETRO MOJADO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (m)	7.28
PROFUNDIDAD HIDRAULICA (m)	0.21
RADIO HIDRAULICO (m)	0.19
NUMERO DE FROUDE	0.05
REGIMEN DE FLUJO	REGIMEN SUBCRÍTICO
LOCALIZACIÓN DE LA SECCIÓN DE AFORO	
PROVINCIA/CANTÓN/PARROQUIA	MANABÍ/BOLIVAR/MEMBRILLO
CUENCA HIDROGRÁFICA	RÍO CHONE
LATITUD UTM (m) (sitio aforo)	9931037,00
LONGITUD UTM (m) (sitio aforo)	607503,00
COTA (m) (sitio aforo)	44,00
RESPONSABLES DE AFORO	Vicente Alvarez y Plutarco Santana Ing. Sofia Herrera

Anexo 6. Tabla de valores de la zona de aforo.

Fuente: Senagua
Realizado por: César Malla Véliz.



Anexo 7. Esquema gráfica de la sección 19 transversal del Río La Mina versus su elevación.

Fuente: (Engineers, 2010) Programa Informático HEC – RAS.

Realizado por: César Malla Véliz.

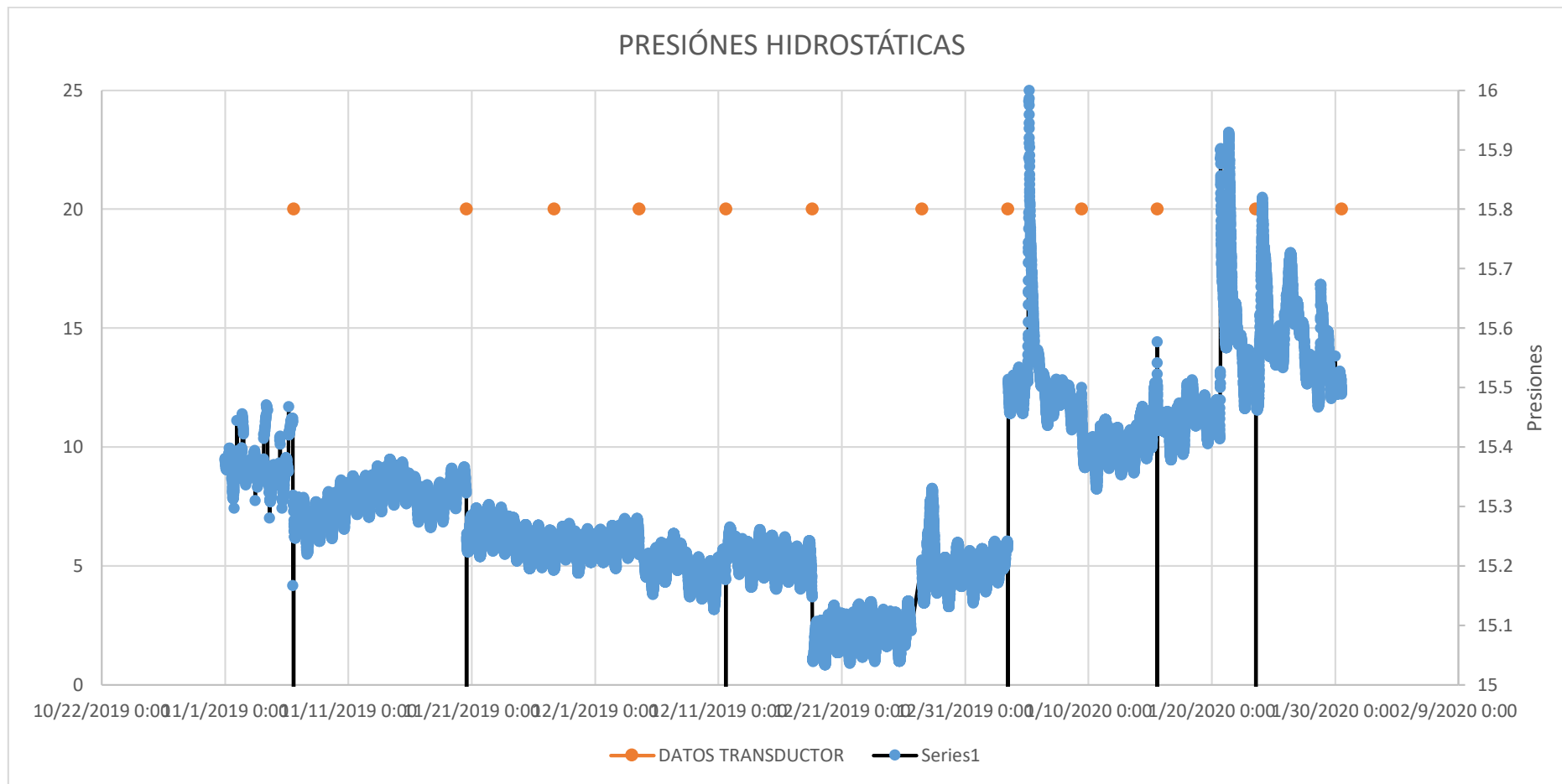
HEC-RAS Plan: plan LAMINA River: LAMINA GEO Reach: EJE_LAMINA

Reach	River Sta	Profile	Max Chl Dpth (m)	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
EJE_LAMINA	90.36	PF 1	0.10	0.001	95.92	96.02		96.02	0.000000	0.00	0.38	6.73	0.00
EJE_LAMINA	90.36	PF 2	0.11	0.004	95.92	96.03		96.03	0.000003	0.01	0.49	6.79	0.01
EJE_LAMINA	90.36	PF 3	0.12	0.006	95.92	96.04		96.04	0.000004	0.01	0.53	6.82	0.01
EJE_LAMINA	90.36	PF 4	0.13	0.008	95.92	96.05		96.05	0.000006	0.01	0.57	6.84	0.02
EJE_LAMINA	90.36	PF 5	0.13	0.010	95.92	96.05		96.05	0.000008	0.02	0.61	6.86	0.02
EJE_LAMINA	90.36	PF 6	0.15	0.020	95.92	96.07		96.07	0.000017	0.03	0.74	6.93	0.03
EJE_LAMINA	90.36	PF 7	0.17	0.030	95.92	96.08		96.09	0.000025	0.04	0.85	6.98	0.03
EJE_LAMINA	90.36	PF 8	0.18	0.040	95.92	96.10		96.10	0.000033	0.04	0.93	7.03	0.04
EJE_LAMINA	90.36	PF 9	0.19	0.050	95.92	96.11		96.11	0.000040	0.05	1.01	7.07	0.04
EJE_LAMINA	90.36	PF 10	0.20	0.060	95.92	96.12		96.12	0.000046	0.06	1.08	7.11	0.05
EJE_LAMINA	90.36	PF 11	0.21	0.070	95.92	96.13		96.13	0.000053	0.06	1.14	7.15	0.05
EJE_LAMINA	90.36	PF 12	0.21	0.080	95.92	96.13		96.13	0.000058	0.07	1.20	7.18	0.05
EJE_LAMINA	90.36	PF 13	0.22	0.090	95.92	96.14		96.14	0.000064	0.07	1.25	7.21	0.06
EJE_LAMINA	90.36	PF 14	0.23	0.100	95.92	96.15		96.15	0.000070	0.08	1.30	7.24	0.06
EJE_LAMINA	90.36	PF 15	0.40	0.500	95.92	96.32		96.32	0.000203	0.21	2.57	7.93	0.11
EJE_LAMINA	90.36	PF 16	0.51	1.000	95.92	96.43		96.43	0.000312	0.31	3.49	8.39	0.14
EJE_LAMINA	90.36	PF 17	0.97	5.000	95.92	96.89		96.92	0.000682	0.71	7.82	10.28	0.24
EJE_LAMINA	90.36	PF 18	1.26	10.000	95.92	97.18		97.23	0.001012	1.04	12.00	16.48	0.30
EJE_LAMINA	90.36	PF 19	1.64	20.000	95.92	97.56		97.63	0.001214	1.36	18.28	17.15	0.34
EJE_LAMINA	90.36	PF 20	1.92	30.000	95.92	97.84		97.94	0.001360	1.60	23.12	17.65	0.37

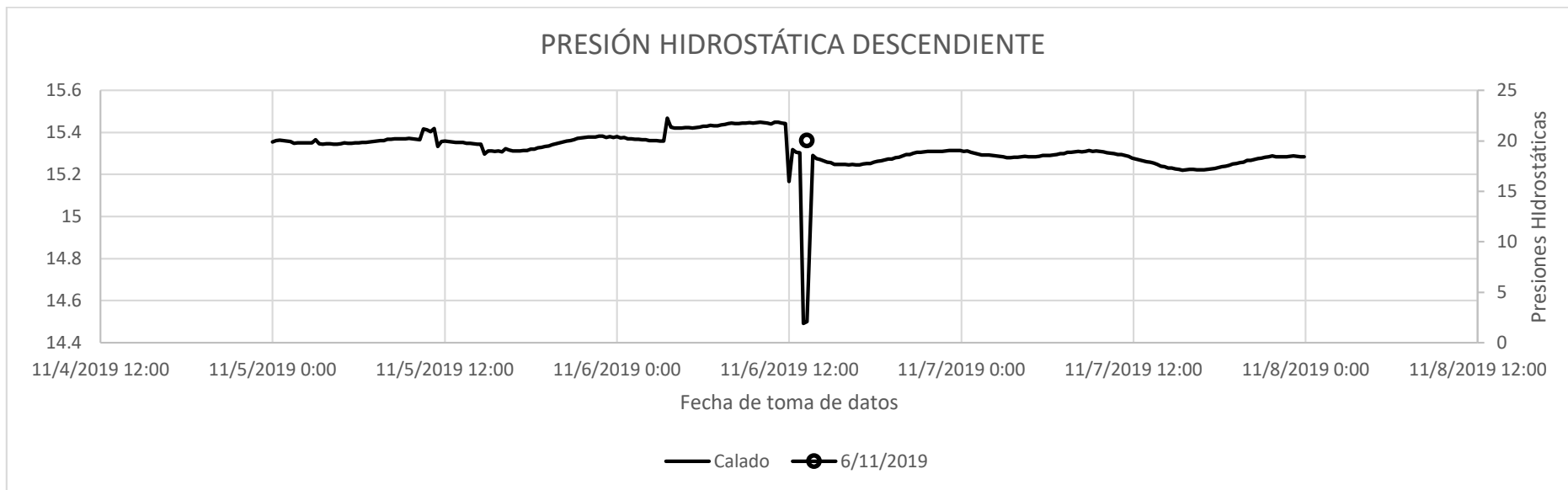
Anexo 8. Valores extrapolados de la zona de aforo de acuerdo al programa informático HEC - RAS.

Fuente: (Engineers, 2010) Programa Informático HEC – RAS.

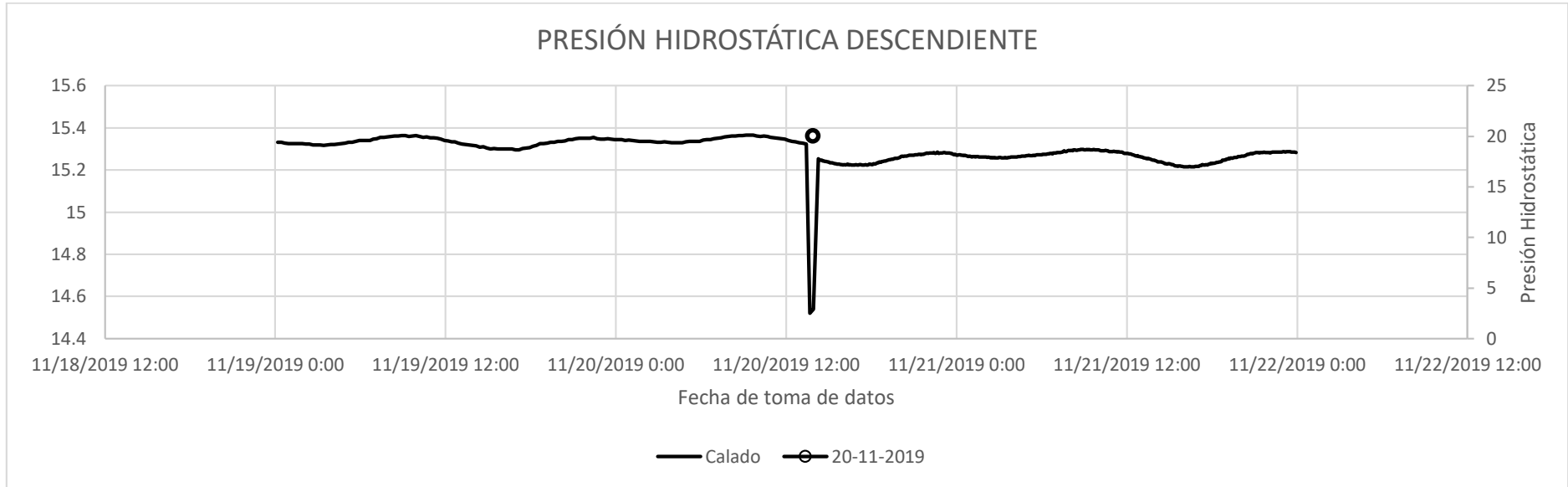
Realizado por: César Malla Véliz.



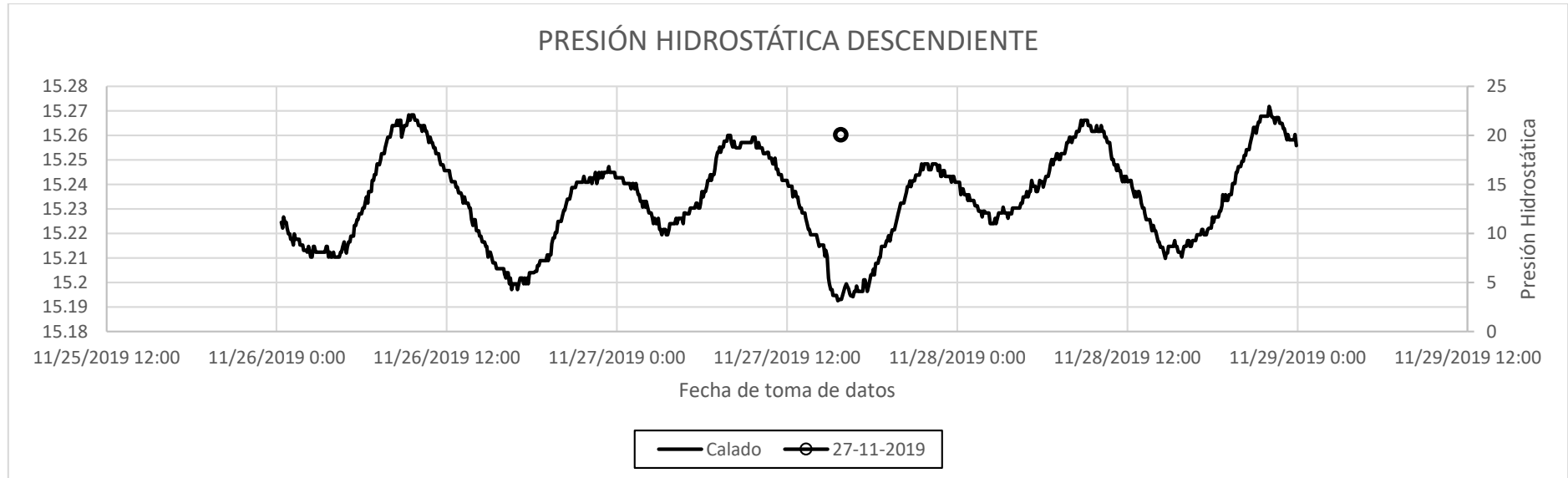
Anexo 9. Gráfico de presiones obtenidas por el transductor con respecto a las fechas de los aforos.



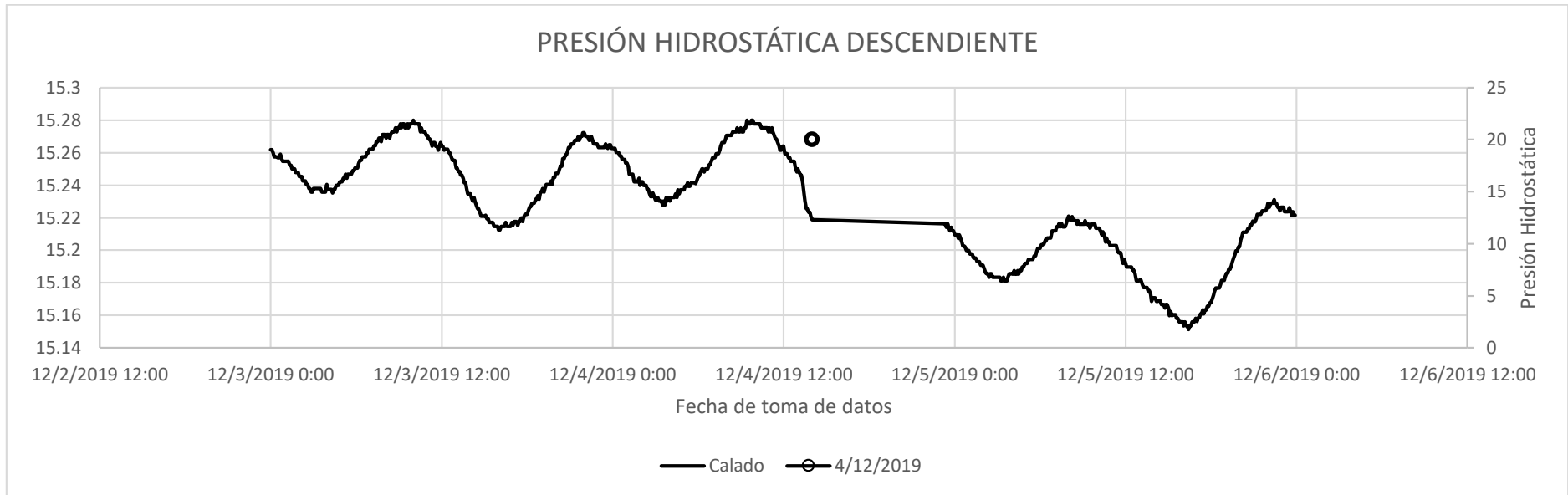
Anexo 10. Valores de presiones versus fecha de aforos #1.



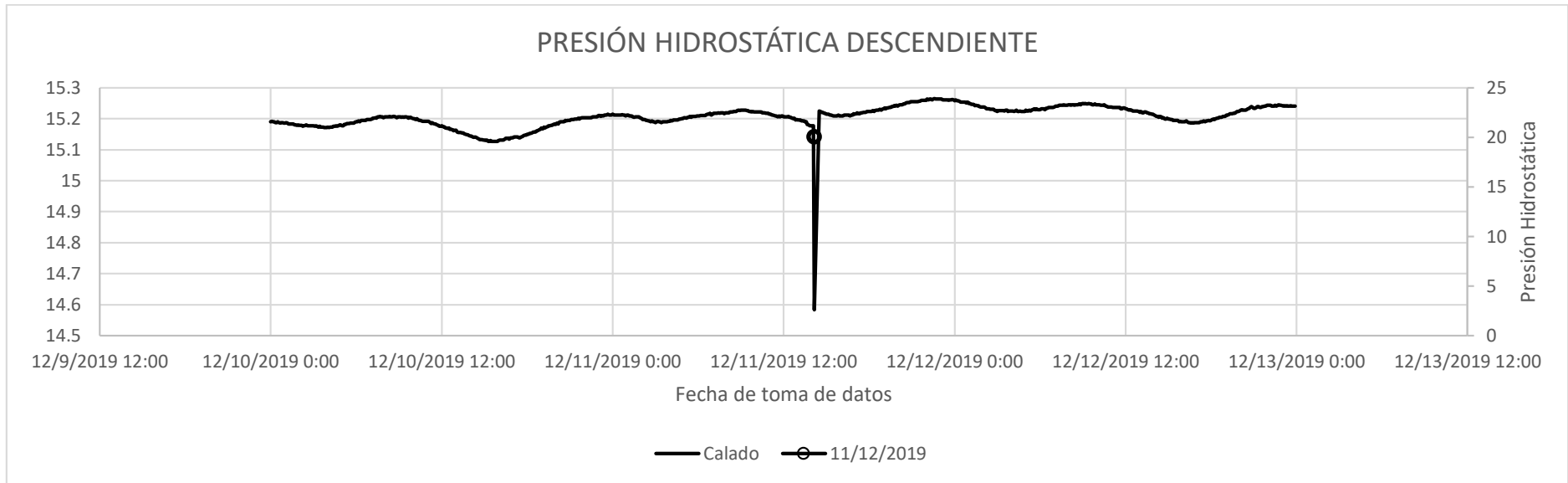
Anexo 11. Valores de presiones versus fecha de aforos #2.



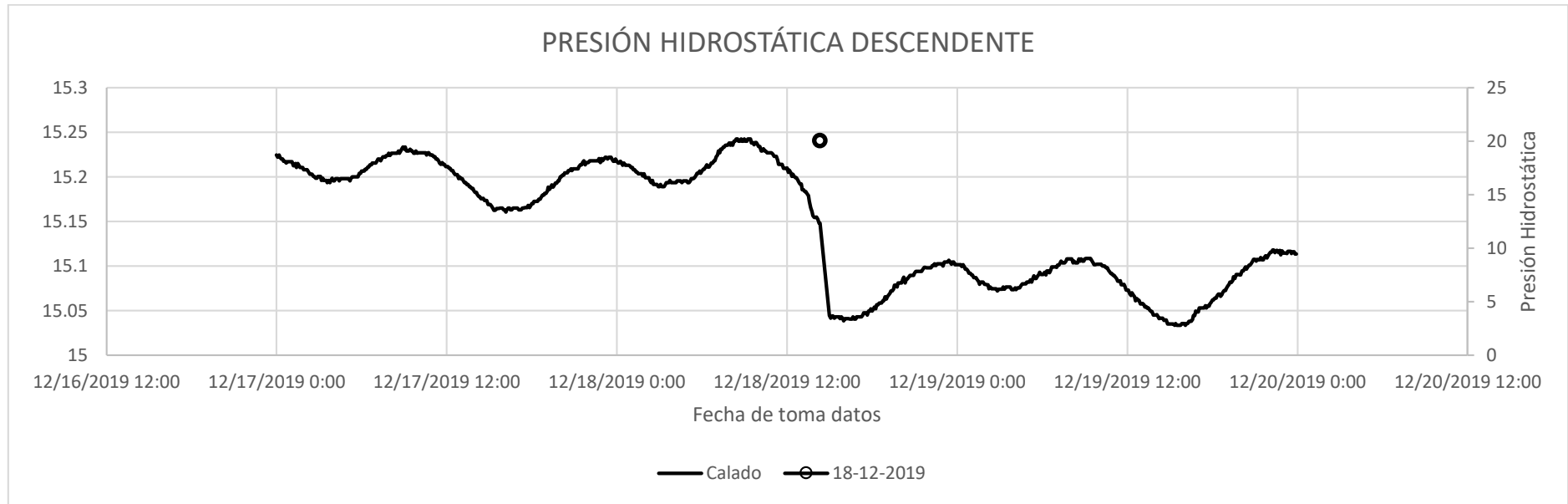
Anexo 12. Valores de presiones versus fecha de aforos #3.



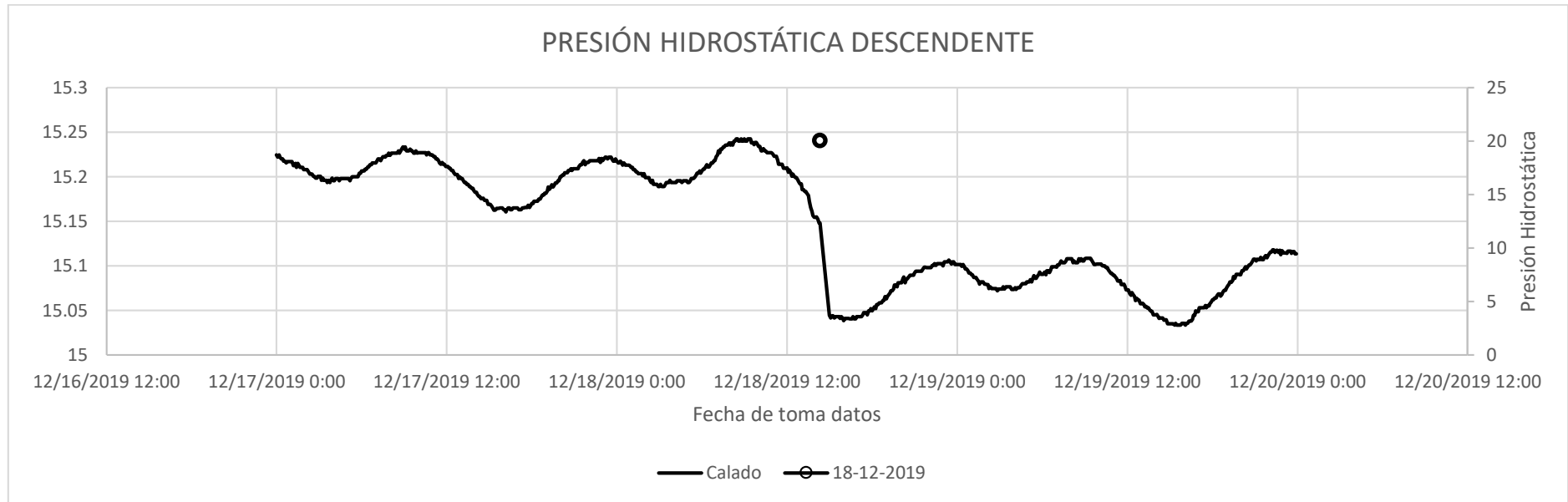
Anexo 13. Valores de presiones versus fecha de aforos #4.



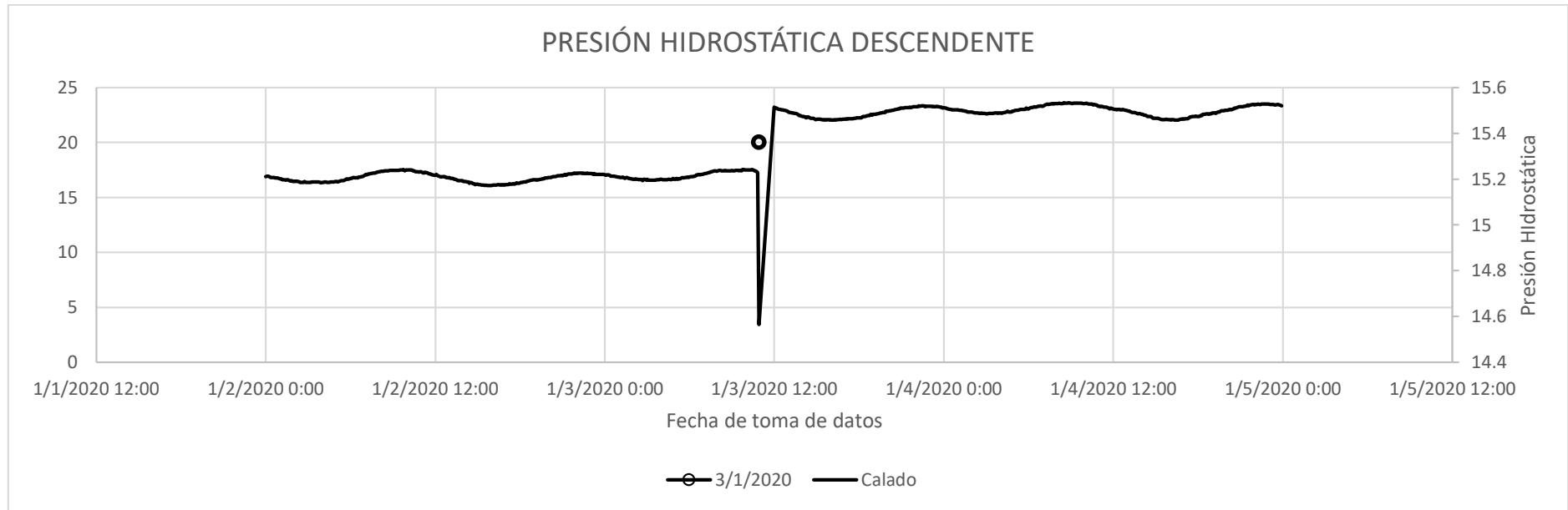
Anexo 14. Valores de presiones versus fecha de aforos #5.



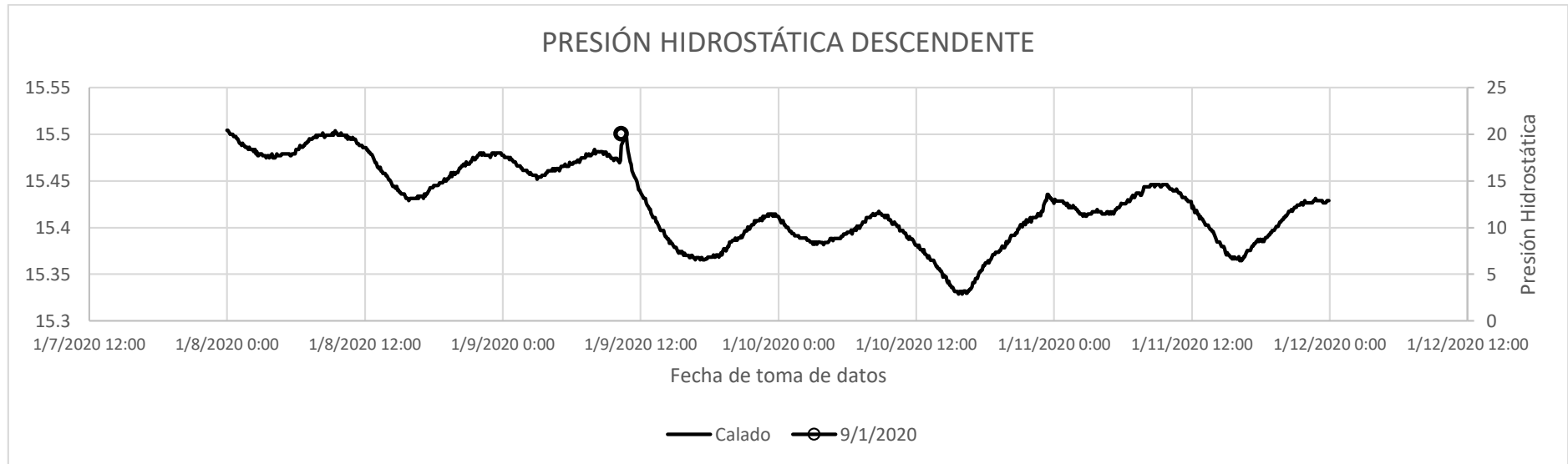
Anexo 15. Valores de presiones versus fecha de aforos #6.



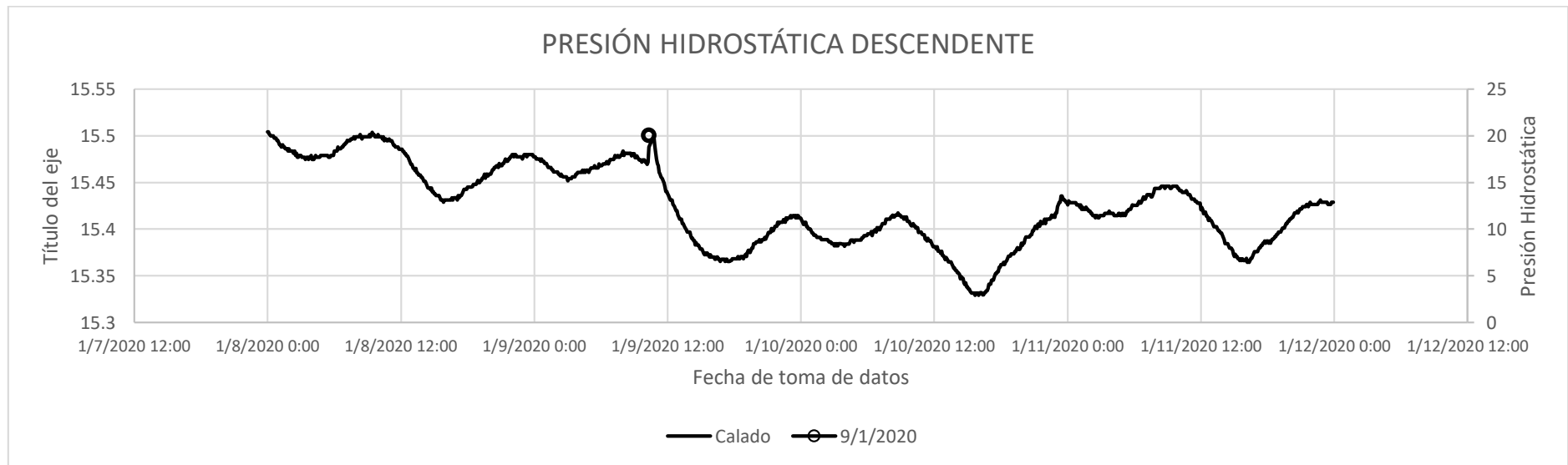
Anexo 16. Valores de presiones versus fecha de aforos #7.



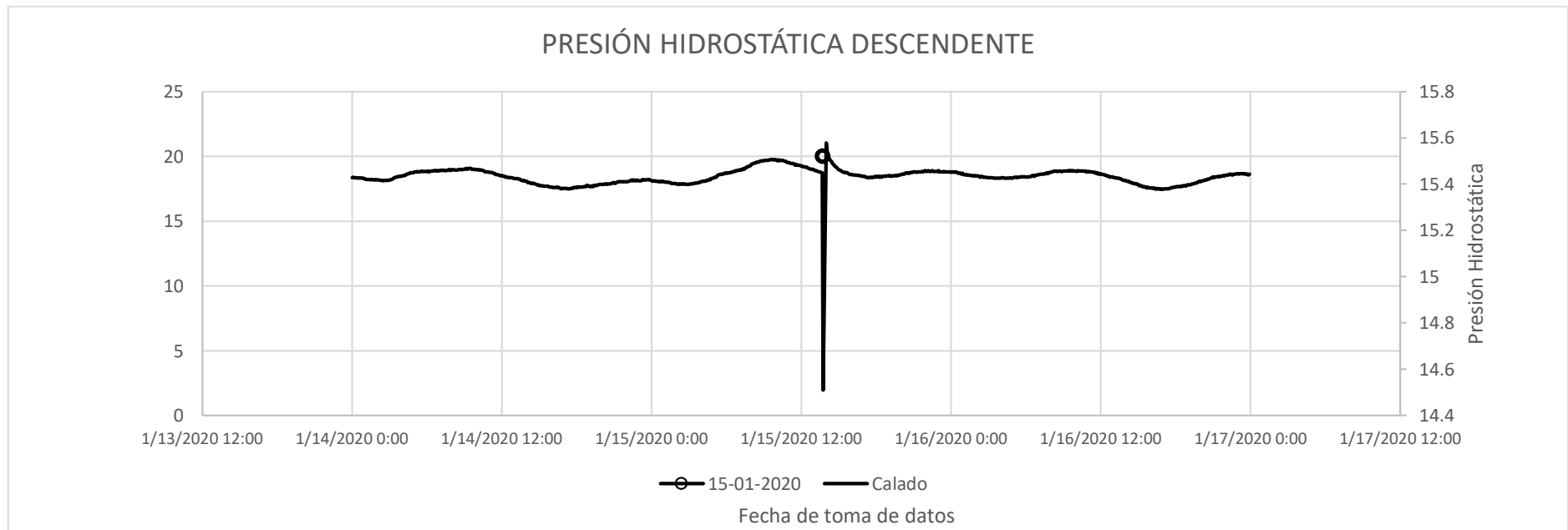
Anexo 17. Valores de presiones versus fecha de aforos #8.



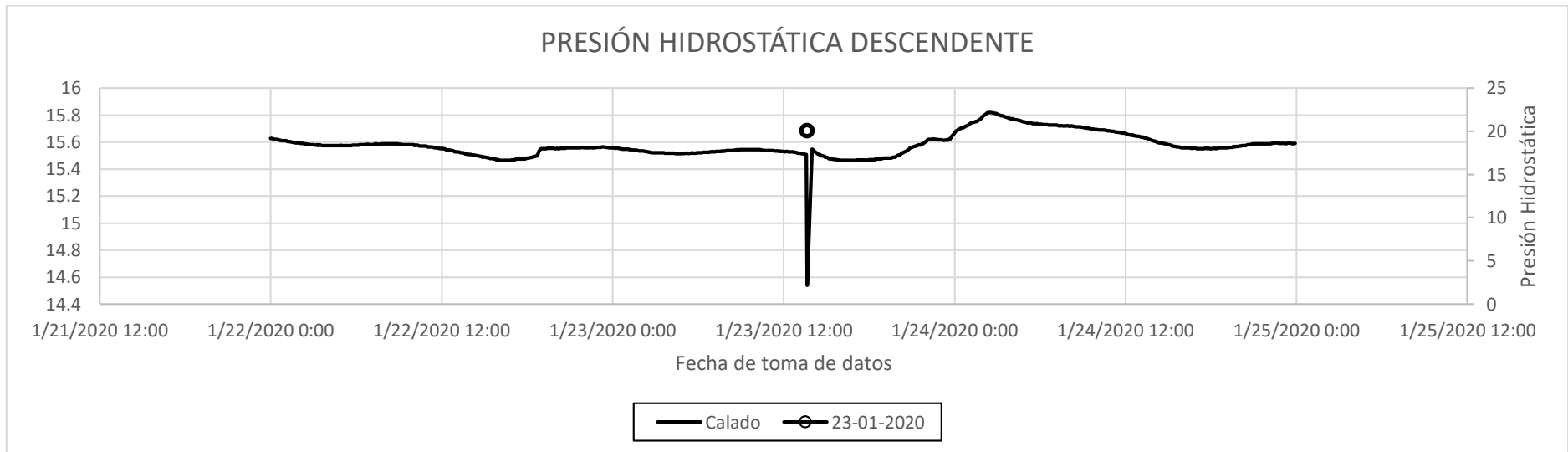
Anexo 18. Valores de presiones versus fecha de aforos #9.



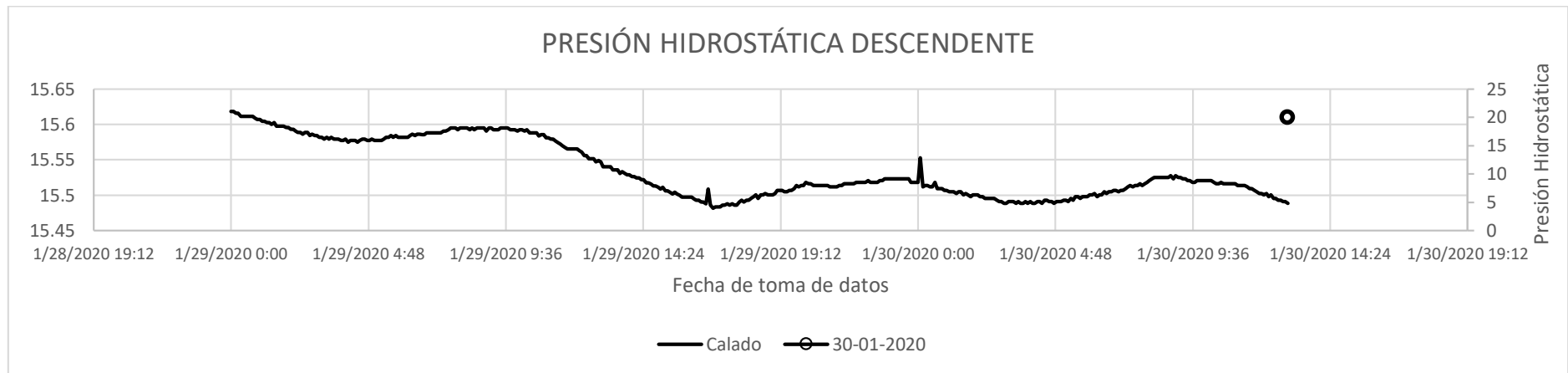
Anexo 19. Valores de presiones versus fecha de aforos #10.



Anexo 20. Valores de presiones versus fecha de aforos #11.



Anexo 21. Valores de presiones versus fecha de aforos #12.



Anexo 22. Valores de presiones versus fecha de aforos #13.