



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
SEDE MANABÍ

TRABAJO DE TITULACIÓN

**EVALUACIÓN DE LA FUENTE DE INCERTIDUMBRE EN LA CURVA DE
DESCARGA DE LA MICROCUENCA “LAS FLORES”, SAN SEBASTIÁN, MANABÍ,
ECUADOR.**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

HIDROLOGÍA

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTORES

MARCILLO BARAHONA DENISSE ALEXANDRA

VIVAS ALCÍVAR PAÚL ADRIÁN

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

ING. JOSÉ RAMÓN ALARCÓN, M. Sc.

PORTOVIEJO, ECUADOR

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- MATERIALES	5
3.- METODOLOGÍA	6
3.1 Área de estudio	6
3.2 Método de Manning	7
3.3 Factor Hidráulico	8
3.4 Método de Stevens	8
3.5 Método de Área-Velocidad	8
3.6 El método Área-Velocidad es usado algunas veces para extrapolar la curva.	9
3.7 Método de gastos unitarios profundidad media (Q' D)	9
3.8 Método de Lunna y Maddock	9
3.9 Método de Leach	10
3.10 Método de Running	10
3.11 Método de Johnson	10
3.12 Método Logarítmico	11
4.- MÉTODOS IMPLEMENTADOS	11
4.1 Método aforo con molinete	12
4.2 Método Volumétrico.....	15
4.3 Recolección y procesamiento de datos	15
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17

5.1 Resultados	17
5.2 Discusión.....	1
6.- CONCLUSIÓN.....	3
LITERATURA CITADA	4
ANEXOS	5

RESUMEN

El presente trabajo de investigación mixta indagó y comparó mediante una evaluación, la incertidumbre asociada a la curva de descarga simulada en la microcuenca Las Flores, en San Sebastián, Manabí, Ecuador, con la finalidad de disminuir los diferentes aspectos de incertidumbre que estaban en cuestionamiento, debido a la falta de datos reales para generar una curva de descarga. Por este motivo, se recopilieron datos mediante 12 aforos realizados por dos métodos diferentes (correntómetro y volumétrico), durante un periodo de 3 meses del año 2019, haciéndose un aforo por semana. Luego, se generó la comprobación de la relación entre los datos simulados y los datos obtenidos, a través del cálculo de la raíz del error cuadrático medio (RECM), ejecutado mediante los programas *Microsoft Excel* y *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (Hec-Ras)*, los cuales también fueron usados para verificar los resultados. La curva de descarga estuvo representada por una ecuación de tercer grado, así como por el R cuadrado (R^2), y el coeficiente de determinación y posterior comparación con la curva de descarga simulada, se generó con *Hec-Ras*. Los resultados muestran un valor de $R^2 = 0,9994$ y la relación del error existente entre ambas curvas de descarga que corresponde a $RECM = 0,00356$, valor que se encuentra dentro del rango 0 – 1. Esto determina una correcta relación, logrando alcanzar el objetivo de esta investigación-evolución a la incertidumbre presente en la curva de descarga de la microcuenca Las Flores.

Palabras clave: incertidumbre, curva de descarga, microcuenca, aforos

Abstract

This mixed research study examined and compared through an assessment, the uncertainty associated with the simulated discharge curve in the Las Flores microbasin, in San Sebastián, Manabí, Ecuador, in order to reduce different aspects of uncertainty that were questioned due to the lack of real data to generate a discharge curve. Therefore, data were collected through 12 discharge measurements carried out by two different methods (current meter and volumetric), over a three-month period in 2019, carrying out one discharge measurement per week. Then, the relationship between simulated data and data collected was generated through the calculation of the root mean square error (RMSE) using both Microsoft Excel and Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (Hec-Ras) Programs, which were also used to verify the results. The discharge curve was represented by a third degree equation as well as the R-squared (R^2), and the coefficient of determination along with the subsequent comparison with the simulated discharge curve were generated by Hec-Ras. The findings show a value of $R^2 = 0.9994$ and the ratio of error between both discharge curves that corresponds to $RSME = 0.00356$, which is within the range $0 - 1$. This determines a correct relationship, achieving the aim of this research-evolution to uncertainty in the discharge curve in the Las Flores microbasin.

Keywords: uncertainty, discharge curve, microbasin, discharge measurements

1.- INTRODUCCIÓN

Una curva de descarga es la representación gráfica de las variaciones de las descargas (Q) en la sección transversal de un río en función de las lecturas de mira (H) (Jatobá et al., 2016). La curva de calibración se ajusta después a las mediciones utilizando técnicas estadísticas, pero también se puede tener en cuenta otros factores, como la influencia que existe por la forma de la sección transversal del río (Lowe, 2017). Incertidumbre como tal a menudo es considerada despreciable con respecto a otras aproximaciones que en cierto modo afectan los estudios hidrológicos. Realmente, dado que los datos de descarga del río generalmente se obtienen mediante el llamado método de curva de descarga, varias fuentes de diferentes errores afectan las observaciones derivadas (Kabat & Strengers, 2019). Se requiere determinar el caudal preciso en periodos de estiaje para proyectos hidráulicos e hidrológicos que están relacionados al manejo de corredores fluviales (Vicario et al., sf). Por otra parte, una crecida puede ser de distinta importancia según la variable (caudal, altura, duración, volumen) que se esté analizando y puede variar a lo largo de todo el tramo del río. (Paoli, 2016).

Las estimaciones subsiguientes de flujo se pueden obtener midiendo el nivel, en un poste de medición permanente y leyendo el flujo. Se debe trazar una nueva curva de descarga, si la sección transversal de la corriente cambia por erosión o deposición. Para trazar la curva de descarga, es necesario realizar mediciones en diferentes etapas del flujo, incluidos los flujos de inundación que ocurren con poca frecuencia. Claramente, esto puede llevar mucho tiempo, especialmente si el acceso al sitio es difícil, por lo que es preferible usar algún tipo de canal o canal que no necesite calibrarse individualmente (FAO, 1993).

Su elaboración es relativamente sencilla para niveles en el que se tenga registrado una suficiente cantidad de aforos (niveles medidos). El problema se reduce al ajuste de la curva, ya sea por aforos realizados o por las ecuaciones de los mínimos cuadrados. Para realizar una correcta extrapolación deberá definir, luego de una evaluación rigurosa sobre las condiciones geométricas e hidráulicas de la sección y el tramo (Preciado, 1969).

Los métodos empleados para construcción de las curvas de descargas, son los siguientes: Manning, Stevens, Área – Velocidad, Gasto Unitario – Profundidad media, Lunna y Maddock, Leach, Running, Johnson y Logarítmico (extrapolación de niveles bajos), Extensión logarítmica. **Raíz del error cuadrado medio (RECM)**

Ecuador se encuentra ubicado en una zona donde existe una gran diversidad climática y una gran variabilidad en la disponibilidad de los recursos hídricos. En base a esta disponibilidad, se está ejecutando y planificando una serie de proyectos de infraestructura tales como: sistemas de abastecimiento de agua potable, riego, drenaje, etc. En ese sentido el conocimiento del comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas es vital, y en particular la modelación hidrológica, que permite estimar la disponibilidad del recurso hídrico para los proyectos, el diseño seguro de los mismos ante eventos hidrológicos extraordinarios, así como la toma de decisiones referentes a una gestión integral de recursos hídricos; y la influencia de las diferentes obras, en la ocurrencia y propagación de crecidas aguas abajo de las mismas (Masabanda et al., sf).

Ha existido un creciente interés en la evaluación de la incertidumbre en la hidrología y el análisis de sus posibles efectos en el modelado hidrológico en estos últimos años (Di Baldassarre & Montanari, 2009)

Es de primordial importancia, la evaluación de la exactitud y precisión de las mediciones de descarga / estimaciones, por ejemplo, evaluación de inundaciones diseño, prevención de inundaciones o la detección de tendencias. Cuando se ignoran los errores que afectan a las series de datos de descarga se pueden obtener resultados engañosos.(Lang & Sauquet, 2010)

A nivel mundial, la aplicación de modelos de calidad del agua de cuencas fluviales está aumentando, a menudo impuesta por la ley. Por lo tanto, es importante conocer el grado de incertidumbre asociado con estos modelos y su aplicación a una cuenca hidrográfica específica. Estas incertidumbres conducen a errores que se revelan cuando se comparan los resultados del modelo con las observaciones. Dicha incertidumbre se describe típicamente mediante el cálculo de los residuos. Sin embargo, los residuos no deben verse como una estimación de la incertidumbre total, ya que, a través del proceso de calibración, los residuos pueden reducirse mediante un ajuste excesivo de los datos, que suele ser el caso de los modelos sobre parametrizados. Un ajuste excesivo durante un período de calibración también puede conducir a resultados muy sesgados cuando el modelo se aplica a otros períodos o condiciones ambientales. Las incertidumbres totales del modelo son, por lo tanto, evaluado por cuatro componentes: La suma de los cuadrados de los residuos (SSQ), las incertidumbres de los parámetros (pueden ignorarse cuando su error es mucho menor que el SSQ), las incertidumbres de los datos de entrada y una incertidumbre predictiva adicional que se expresa cuando aparece el modelo ser sesgado cuando se aplica para datos que no sean los datos utilizados para la calibración. Las fuentes se clasifican según un criterio de cuantificación (magnitud), así como un criterio de identificación que depende del número de observaciones que cubre la región de confianza (Van Griensven, 2006)

El concepto de incertidumbre como atributo cuantificable es relativamente nuevo en la historia de la medición, a pesar de que conceptos como error y análisis de errores han formado parte desde hace mucho tiempo de la práctica de la ciencia de la medida o metrología. Actualmente está ampliamente reconocido que aun cuando se hayan considerado todas las componentes conocidas o sospechadas del error, y se hayan aplicado las correcciones oportunas, aún existe una incertidumbre asociada a la corrección del resultado final; esto es, una duda acerca de la bondad con que el resultado final representa al valor de la magnitud medida (Bollen, 2014).

En el presente estudio se recopilaron datos por medio de aforos los cuales se llevaron a cabo mediante los siguientes métodos: volumétrico y molinete. Estos fueron de vital importancia para la evaluación de la incertidumbre que existe en la curva de descarga de la microcuenca “Las Flores”, San Sebastián, Manabí, Ecuador. Una vez se obtuvieron estos datos fueron procesados y utilizados para la elaboración de la curva de descarga la misma que fue de gran utilidad para erradicar la fuente de incertidumbre existente en la curva de descarga simulada de dicha microcuenca.

2.- MATERIALES

Los materiales utilizados dentro de esta investigación en oficina fueron: Levantamiento topográfico del lugar de estudio, datos de presión, obtenidos por el transductor de presión, software de procesamiento de datos e información (Microsoft Word, Microsoft Excel, AutoCAD, Hec-Ras), herramientas de oficina (cuaderno, lápiz, calculadora, entre otros) y laptop. A su vez en campo se implementaron materiales como: Transductor de presión, GPS, estación total, herramientas Varias (recipiente para llenar agua, pala, machete, cinta métrica, entre otros) y molinete.

3.- METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

La micro-cuenca “Las Flores” está ubicada en la parroquia San Sebastián del cantón Pichincha provincia de Manabí, esta micro-cuenca es afluente de la represa Poza Honda. En dicho sector, se realizan actividades como la ganadería y la agricultura, siendo la agricultura la de mayor incidencia, sin embargo, no cuenta con un adecuado manejo y gestión de la micro-cuenca lo cual repercute en la contaminación de la zona. (Bravo & Santos, 2018)

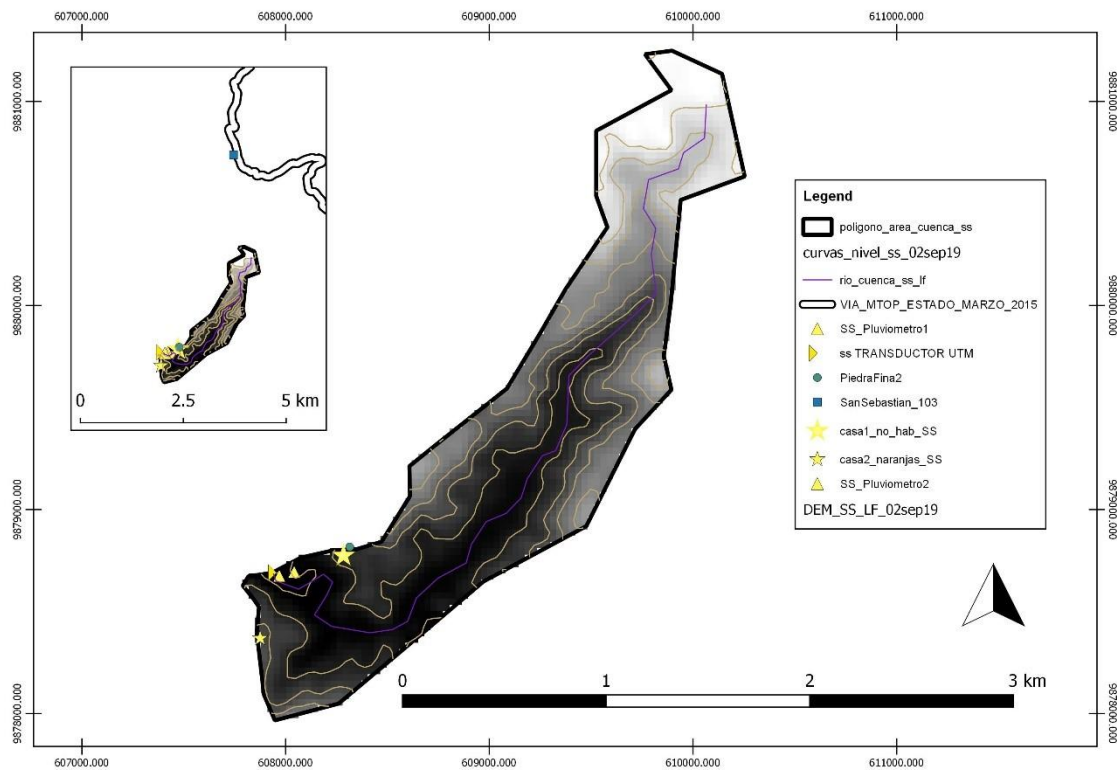


Ilustración 1 Diagrama de Ubicación

Fuente: Procesos de generación de escorrentía en las microcuencas de los embalses Poza Onda y

La Esperanza,

Elaborado por: Jhon Santos

Extensión: La parroquia rural de San Sebastián cuenta con una superficie de 142,51 Km².

La presente investigación estuvo basada en una metodología cuantitativa y cualitativa.

Cuantitativa ya que parte fundamental de esta investigación es la recolección de datos números con la finalidad de obtener datos como caudales y calados, estos permitirán generar la curva de descarga.

Cualitativa ya que la generación de la curva de descarga con datos reales brindara respuesta a varias de las incertidumbres presentadas en la microcuenca lo cual beneficiara a la población ya que contara con datos que servirán para posteriores investigaciones mejorando así el uso que se le da a este sitio.

Una vez se justificó la metodología de la investigación se procedió a realizar la selección de métodos o procedimientos para la obtención de curvas de descarga, para esto se estudiaron diversos métodos existentes detallados a continuación hasta llegar a la selección de los métodos utilizados para esta investigación los cuales fueron los que mejor se adaptaron a las circunstancias del área estudiada y a las condiciones económicas que como estudiantes presentamos.

3.2 Método de Manning

El método de Manning es muy utilizado ya que para la extrapolación de niveles altos da valores muy reales. Manning determinó una fórmula con respecto a la velocidad media de un río (Preciado, 1969).

Existe una principal dificultad en el uso de la ecuación de Manning , es estimar con precisión un valor del parámetro de rugosidad n . Cada canal presenta su propia características y parámetro de rugosidad es dependiente del tamaño, tipo de suelo y la forma del canal (Fisher & Dawson, 2003).

Se puede considerar que, para estados altos del río, donde el control no tiene ninguna influencia, $1/n$ sea constante, por tanto, la fórmula 1 se reduce:

Con los aforos tomados en sitios diferentes a la sección de aforos que se esté considerando se traslada según la ecuación de continuidad. La ecuación se cumple si no existe extracción o suministro en el tramo a considerar

3.3 Factor Hidráulico

Depende de la rugosidad del lecho y de la pendiente del eje hidráulico. Este término tiende en ocasiones a ser constante (asintótico) para niveles altos.

Después de haber obtenido el valor de la curva del factor hidráulico (FH) y el factor geométrico (FG), con estos datos se pueden obtener los caudales para los niveles donde no se han podido realizar las operaciones de aforo. (Preciado, 1969)

3.4 Método de Stevens

Este método se basa en la ecuación de Chezy.

Es conocido también como $A\sqrt{D}$, se utiliza para ríos relativamente anchos y poco profundos. En la que el radio hidráulico de la sección de aforos se considera igual a la sección (Preciado, 1969).

Para la extrapolación de niveles de agua altos en las curvas de calibración se emplea este método.

Se basa en la fórmula de Chezy para canales abiertos.

3.5 Método de Área-Velocidad

Este método requiere un buen conocimiento del comportamiento y características del río para su utilización. Consiste en dibujar una curva de alturas de mira contra áreas y otras contra velocidades. La primera se saca de las características geométricas de la sección y la segunda de los aforos realizados. Para ello es necesario conocer algunas características del río como pendiente hidráulica, presencia de contracciones, doblamientos, regreso del agua de los tributarios, extensión del área de inundación y profundidad del agua en ella. Se deben realizar los cambios en la profundidad, el ancho del río en los diferentes niveles y factores que afectan la velocidad, tales

como rápidas o caídas, que la aumentan o contracciones del río aguas abajo, que la hacen decrecer. Deben utilizar con cuidado los resultados obtenidos por este método, a no ser que se tenga una buena experiencia (Preciado, 1969).

3.6 El método Área-Velocidad es usado algunas veces para extrapolar la curva.

Este método requiere la definición de la relación Área-Nivel de un estudio de la sección transversal en la estación y la definición de la relación Nivel-Velocidad para estimar en forma precisa el rango de niveles donde se necesita la extrapolación.

Generalmente es difícil estimar en forma precisa la relación Nivel-Velocidad en el rango de medidas más altas. Por esta razón, el método Área-Velocidad no se puede considerar más apropiado que los métodos que utilizan las ecuaciones hidráulicas (Manning o Stevens) (Fernanda, 2015).

3.7 Método de gastos unitarios profundidad media ($Q^2 D$)

Para ríos relativamente amplios y de sección más o menos uniforme se aplica este método. No se adapta a secciones irregulares o a ríos sujetos a desbordamientos (Preciado, 1969).

3.8 Método de Lunna y Maddock

El método de Lunna y Maddock no es aplicable en aquellos ríos que presenten cambios bruscos en su sección, consiste en hacer cumplir la ecuación de continuidad mediante una serie de tanteos gráficos en papel logarítmico doble. Por experimentación se halla que el gasto (Q) es función exponencial del ancho (W), la profundidad media D y la velocidad media V (Preciado, 1969).

3.9 Método de Leach

En los problemas sobre corrientes salidas de sus márgenes y que comprenden una planicie inundada, es necesario calcular el gasto para el cauce principal indistintamente del de la planicie inundada (Preciado, 1969).

El método que desarrolló Leach, proporciona una resolución adecuada en los casos de ríos con planicies inundadas o con otras irregularidades que necesiten cálculos separados para las diferentes partes del canal (Preciado, 1969).

3.10 Método de Running

Conocido H_o al nivel del agua (lectura de mira) para una descarga igual a cero. Según Running, se ajusta una curva con los aforos conocidos (H vs Q). Este valor puede coincidir o no con el fondo del río (Preciado, 1969).

Después, se toma un punto en cada extremo de la curva, se halla un tercer punto intermedio que esté en progresión geométrica con aquellos. Por estos tres puntos se trazan líneas horizontales y verticales, cuyas intersecciones nos van a determinar dos puntos por los que se traza una recta. Tomando los puntos intermedio e inferior de la curva, se unen por medio de otra recta que se prolonga hasta su intersección con la primera. Intersección que se proyecta sobre el eje de las H , obteniendo así el valor de H_o (Preciado, 1969).

3.11 Método de Johnson

En 1953 un método gráfico para determinar el H_o fue ideado por Johnson. De la curva de calibración (H vs Q) se selecciona dos valores de descargas Q_1 y Q_2 cuyas lecturas de mira sean H_1 y H_2 respectivamente (Preciado, 1969).

3.12 Método Logarítmico

Se asume un valor al tanteo para H_0 . Con base en los aforos, se hace la diferencia $H - H_0$. Y se plotea en papel logarítmico doble contra el caudal Q correspondiente a esa lectura de mira H . Si el resultado es una curva se debe cambiar el H_0 hasta obtener una recta perfecta (Preciado, 1969).

3.13 Método Volumétrico.

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. Se realizan varias mediciones y la variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados. (FAO-68 & Hudson, 1997)

3.14 Método 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 (Puyol & Villa, 2006).

4.- MÉTODOS IMPLEMENTADOS

Una vez realizada la revisión de cada uno de los métodos anteriores se pudo reflejar que ninguno de estos se adaptaba a las condiciones que presentaba nuestra microcuenca ya que unos no se desarrollan dentro del país, en otros casos los equipos necesarios fueron inaccesibles y es así como se llegó a la selección de método para obtención de la curva de descarga en este estudio, los métodos seleccionados fueron dos los cuales son detallados a continuación.

4.1 Método aforo con molinete

Para determinar el volumen que pasa por el cauce en cierto periodo de tiempo, es necesario conocer la medición de la velocidad en una corriente, la información geométrica de la sección donde se mide, así como el registro de los valores del nivel de agua, proporcionan la base con la que se determina dicho Caudal; a este proceso de cuantificación se le denomina aforo y se puede aplicar tanto en ríos como en canales (Puyol & Villa, 2006).

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 (Puyol & Villa, 2006).

Partiendo de los aforos tomados con el molinete se calcula el Caudal (EJEMPLO):

Datos de campo:

En el cuadro aparecen las medidas realizadas en el campo:

Vertical	Distancia a la margen izda (m)	Profundidad total (cm)	Medida	Distancia desde el fondo (cm)	Velocidad (m/s)
1	1,50	23	1A	14	0,21
2	2,80	36	2A	10	0,30
"	"	"	2B	26	0,36
3	4,20	54	3A	12	0,32
"	"	"	3B	24	0,40
"	"	"	3C	43	0,50
4	5,70	63	4A	10	0,42
"	"	"	4B	31	0,56
"	"	"	4C	54	0,64
5	7,10	31	5A	17	0,30
margen derecha	8,10	0			

Figure 1 Aforo con molinete

Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial

Elaborado por: Breña, A. – Jacobo, M. (2006)

Con los datos obtenidos anteriormente dibujamos los perfiles de flujo sobre papel milimétrico: velocidad de corriente en horizontal y profundidad en vertical.

Perfil nº	Superficie (cm ²)	Equivale a (m ² /s)
1	2,16	0,0432
2	5,84	0,1168
3	11,01	0,2202
4	16,84	0,3368
5	4,49	0,0898

Figure 2 Planimetría de perfiles

Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial

Elaborado por: Breña, A. – Jacobo, M. (2006)

Elegimos la escala para dibujar los perfiles, cada cm² de papel equivale a 0,2m/s en horizontal por 0,1 m de profundidad en vertical, es decir:

$$1 \text{ cm}^2 = 0,2 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,02 \text{ m}^2/\text{s}$$

Al multiplicar por este factor (0,02) obtenemos la tercera columna (Evidentemente, en cada caso utilizar las escalas a conveniencia, pero al final, realizar un cálculo similar a este)

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 m²/s (Román, n.d.).

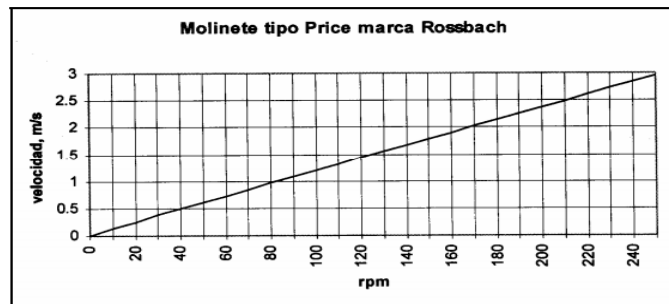


Figure 3 Cálculo del caudal

Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial

Elaborado por: Breña, A. – Jacobo, M. (2006)

A continuación, se muestran los valores del gráfico anterior (m²/s) representados a continuación:

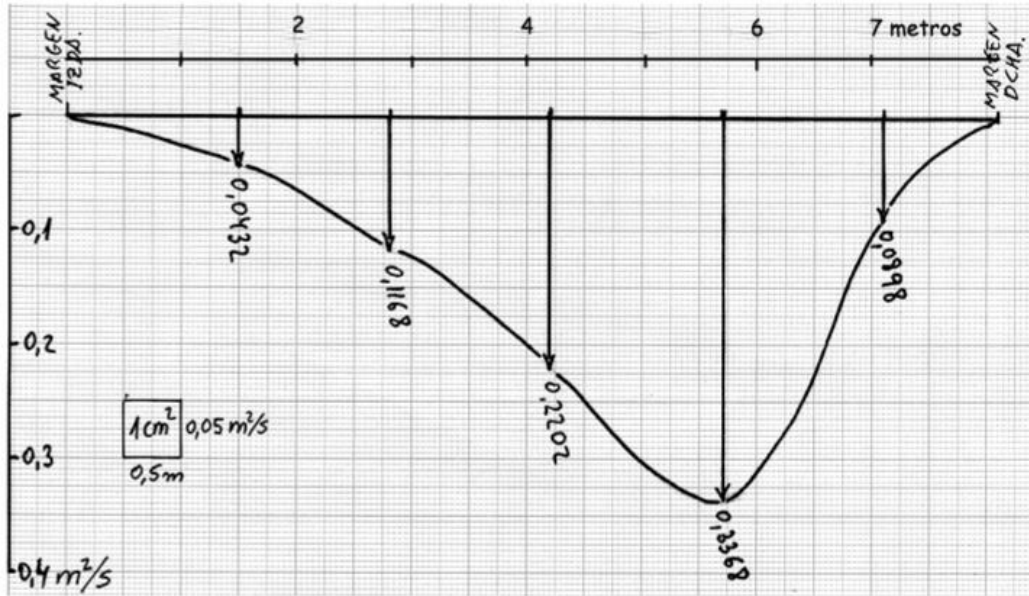


Figure 4

Fuente: Principios y fundamentos de la hidrología superficial

Elaborado por: Breña, A. – Jacobo, M. (2006)

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, n.d.).

4.2 Método Volumétrico.

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro. Para los caudales de más de 4 l/s, es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad que se llenará en 2½ segundos. Para caudales mayores, un recipiente de 200 litros puede servir para corrientes de hasta 50 l/s. El tiempo que se tarda en llenarlo se medirá con precisión, especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos. La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados. (FAO-68 & Hudson, 1997)

Si la corriente se puede desviar hacia una cañería de manera que descargue sometida a presión, el caudal se puede calcular a partir de mediciones del chorro. Si la cañería se puede colocar de manera que la descarga se efectúe verticalmente hacia arriba, la altura que alcanza el chorro por encima del extremo de la tubería se puede medir y el caudal se calcula a partir de una fórmula adecuada tal como se indica en la Figura 19. Es asimismo posible efectuar estimaciones del caudal a partir de mediciones de la trayectoria desde tuberías horizontales o en pendiente y desde tuberías parcialmente llenas, pero los resultados son en este caso menos confiables (Scott & Houston, 1959)

4.3 Recolección y procesamiento de datos

Este proceso dio inicio con la toma de datos para obtener aforos tanto volumétricos como con molinete estos se realizaron de manera simultánea durante doce semanas, por medio de estos se obtuvieron datos de caudal, velocidad media y profundidad máxima, estos datos contribuirán a la generación de la curva.

La presión se obtiene mediante el transductor de presión (HOBO U20L Water Level Data Logger). Este sirve para medir la presión manométrica (H); es decir, la diferencia de presión entre el fluido estudiado y la atmósfera. (Tamari & López-Vázquez, 2013)

4:

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

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

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

Una vez concluida la investigación se logró evidenciar los resultados de la misma los cuales se detallan a continuación.

Para la realización del análisis preliminar de sensibilidad para las curvas de descarga extrapoladas con simulaciones hidrodinámicas, se procedió a realizar el respectivo análisis preliminar extrapolando simulaciones hidrodinámicas en Hec-Ras, y su resultado fue la obtención de curva de descarga simulada, se realizaron los ajustes correspondientes de la misma, obteniendo el siguiente resultado.

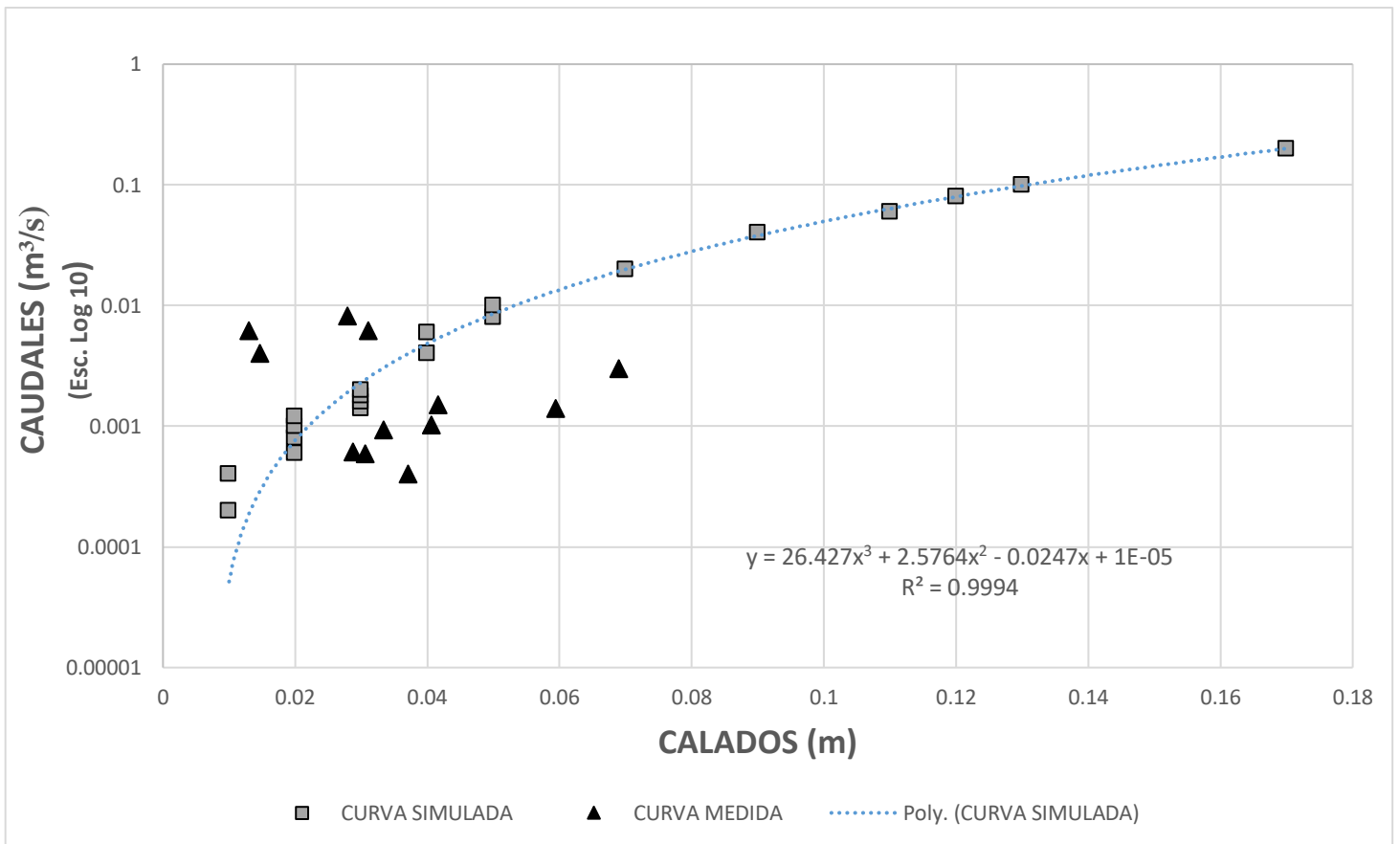


Ilustración 1 Curva simulada vs medida

Elaborado por: Marcillo – Vivas

Fuente: SENAGUA/ Marcillo – Vivas

A continuación, se prosiguió a realizar las mediciones de caudal con el método del correntómetro o molinete y volumétrico, realizando la toma de mediciones las mismas que se realizaron de manera simultánea en coordinación con SENAGUA, dando como resultado las siguientes gráficas.

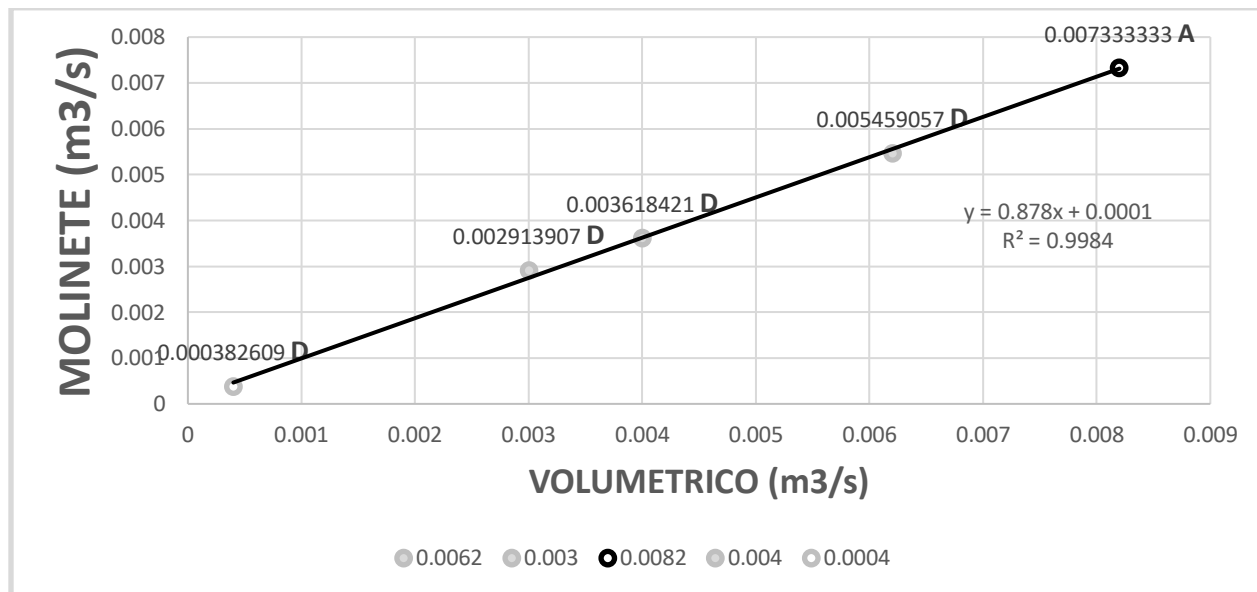


Ilustración 4 RELACIÓN MOLINETE/VOLUMÉTRICO. ASCENDENTE/ DESCENDENTE.

Elaborado por: Marcillo – Vivas

Fuente: SENAGUA/ Marcillo – Vivas

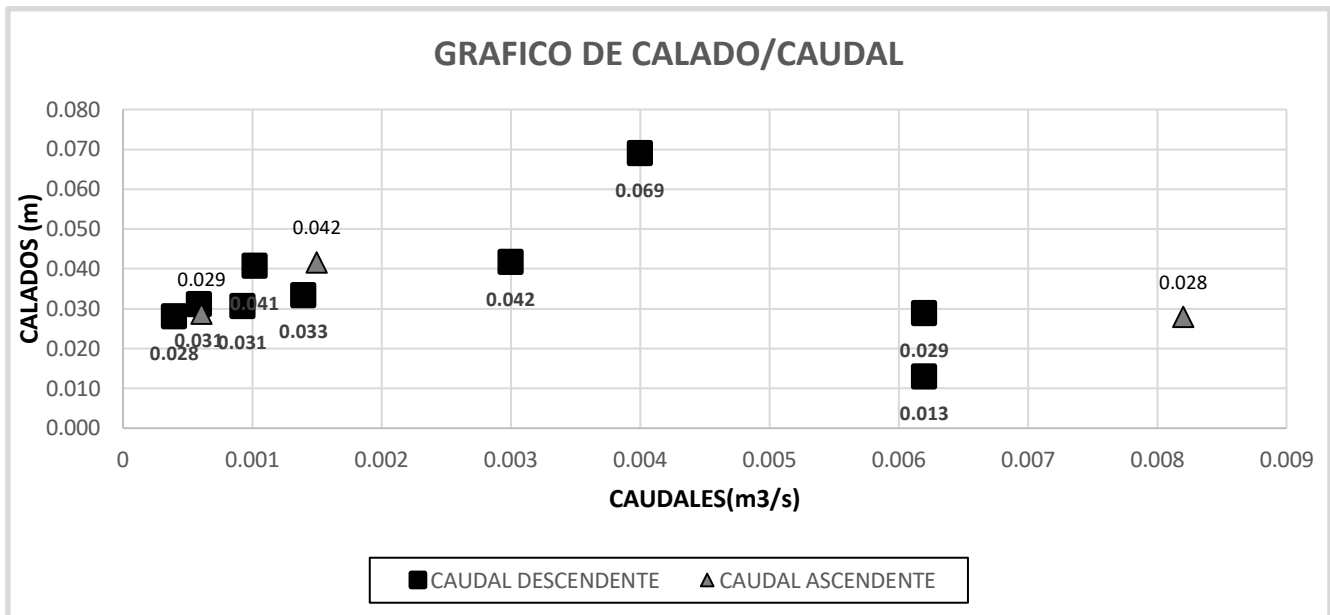


Ilustración 5. GRAFICO DE DISPERSION - CALADO/CAUDAL

Elaborado por: Marcillo – Vivas

Fuente: SENAGUA/ Marcillo – Vivas

Una vez obtenidos los resultados de las mediciones realizadas por medio de los métodos seleccionados se llevó a cabo la construcción de la curva de descarga con los caudales obtenidos, el procesamiento de los datos con los caudales recolectados y los calados (Qvs.H), permitieron generar la curva de descarga por medio de la herramienta de Excel de Msc. obteniendo las siguientes gráficas.

- Curva de descarga (molinete/volumétrico) representada con sus fechas y el resultado de sus caudales.

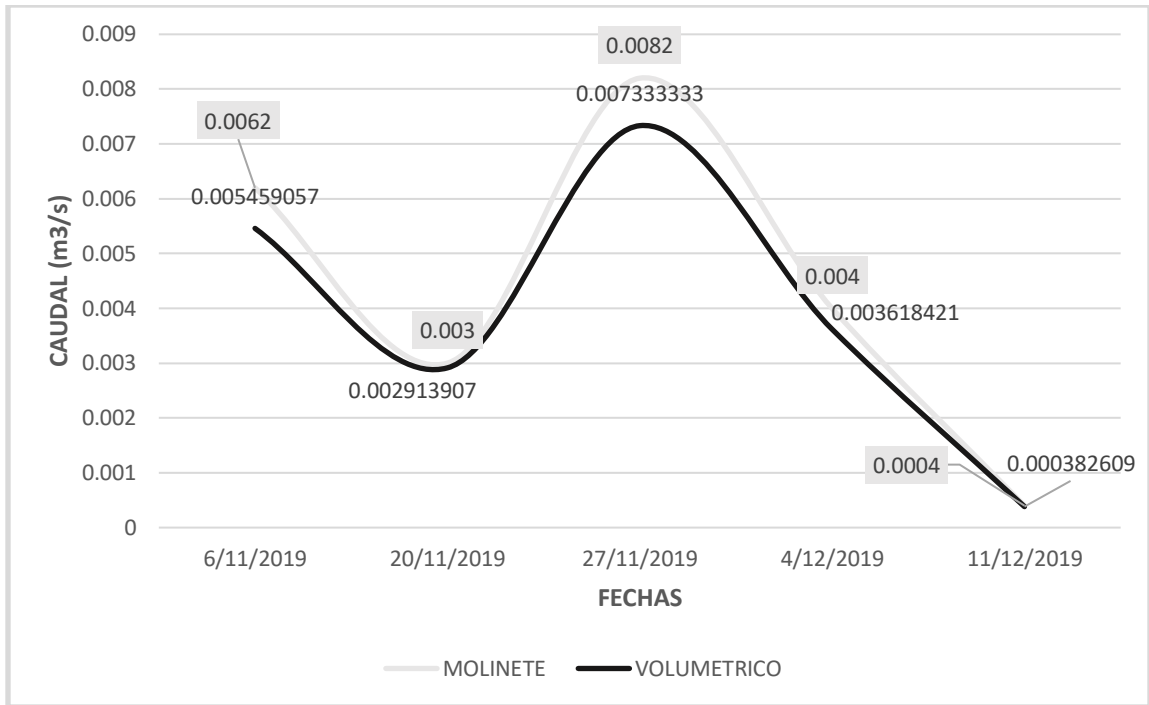


Ilustración 6 CURVA DE DESCARGA - MOLINETE/VOLUMETRICO (FECHAS) SSLF

Elaborado por: Marcillo – Vivas

Fuente: SENAGUA/ Marcillo – Vivas

La investigación culminó con la comparación de la curva de descarga extrapolada y la curva de descargas medida, para esto se procedió a realizar la comparación con los resultados ya obtenidos. curva de descarga simulada y curva de descarga medida, donde se pudo analizar y reflejar la incertidumbre existente en la curva de descarga simulada. Una vez realizada esta comparación se pudo evidenciar la incertidumbre presente en la curva de descarga, con los datos reales obtenidos y la curva de descarga generada se pudo disminuir la incertidumbre presente en dicha microcuenca.

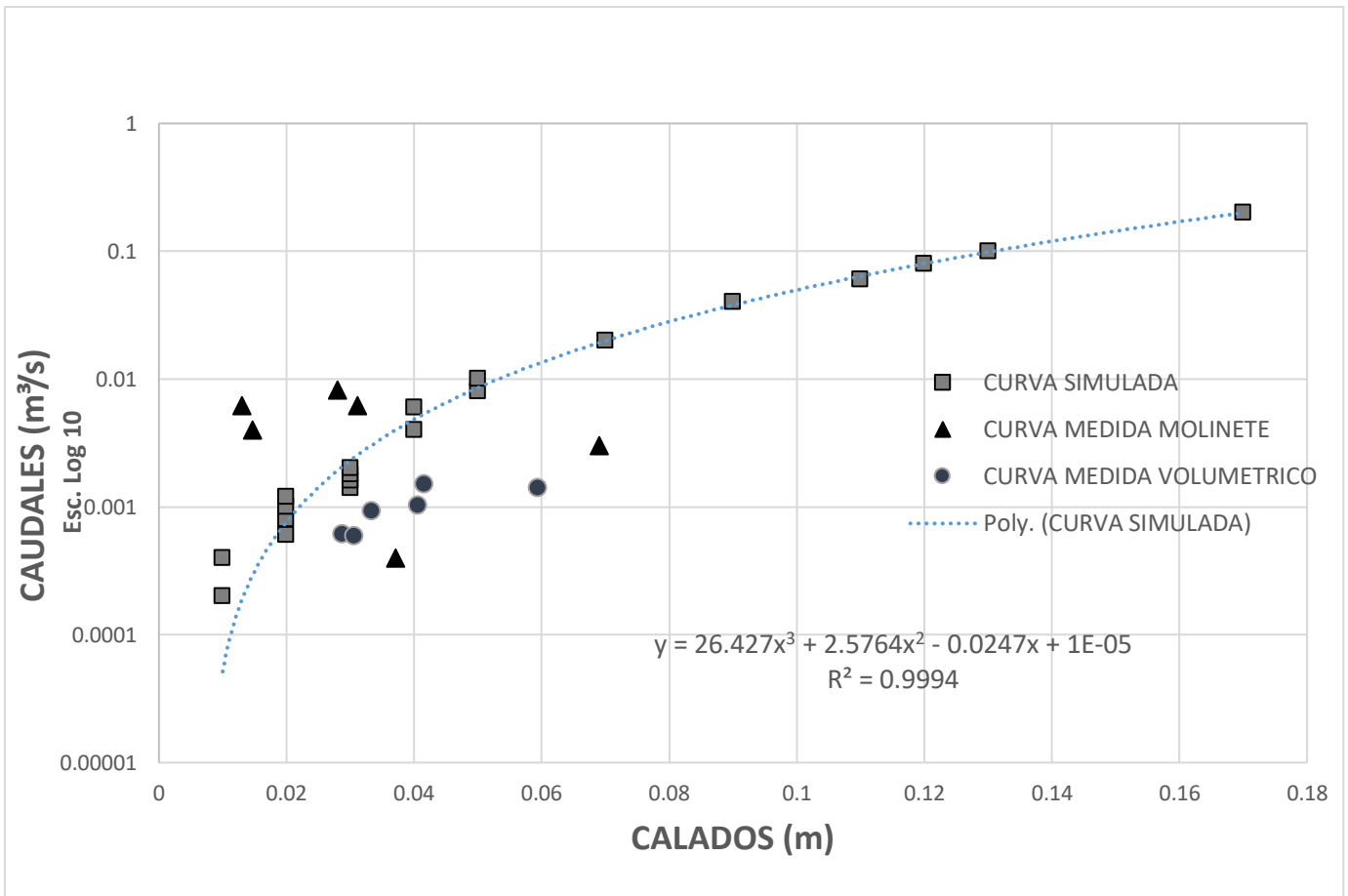


Ilustración 8 CURVA DE DESCARGA SIMULADA/MEDIDA(MOLINETE/VOLUMETRICO)

Elaborado por: Marcillo – Vivas

Fuente: SENAGUA/ Marcillo – Vivas

CAUDAL SIMULADO Con Hec-Ras	CALADO SIMULADO RESULTANTE CON HEC RAS	CAUDAL MEDIDO. Volumétrico y/o molinete.	CAUDAL MEDIDO. FECHA DE REGISTRO	CAUDAL MEDIDO ¿CÓMO LO REGISTRO? ESCRIBA MOLINETE/VOLUMENTRICO/AMBOS	CALADO MEDIDO CON TRANSDUCTOR		RMSE	errores cuadrados.	promedio del error cuadrado.	raíz del error cuadrado promedio.
Caudal (m3/s)	m	Caudal (m3/s)			m		m			
0,0002	0,01						0,02116601	0	0,000448	0,02116601
0,0004	0,01	0,00040	11/12/2019	MOLINETE	0,03700	-0,02700		0,000729		
0,0006	0,02	0,00059	17/11/2019	VOLUMENTRICO	0,03100	-0,01100		0,000121		
		0,00061	23/10/2019	VOLUMENTRICO	0,02900	-0,02900		0,000841		
0,0008	0,02	0,00093	25/11/2019	VOLUMENTRICO	0,03300	-0,01300		0,000169		
0,001	0,02	0,00102	25/9/2019	VOLUMENTRICO	0,04100	-0,02100		0,000441		
0,0012	0,02	0,00140	6/12/2019	VOLUMENTRICO	0,05900	-0,03900		0,001521		
0,0014	0,03	0,00150	11/11/2019	VOLUMENTRICO	0,04200	-0,01200		0,000144		
0,0016	0,03							0		
0,0018	0,03							0		
0,002	0,03	0,00300	20/11/2019	MOLINETE	0,06900	0,01700		0,000289		
0,004	0,04	0,00400	4/12/2020	MOLINETE	0,01500	0,00900		0,000081		
0,006	0,04	0,00620	30/10/2010	MOLINETE	0,01300	0,01200		0,000144		
		0,00620	6/11/2019	MOLINETE	0,03100			0		
		0,00820	27/11/2019	MOLINETE	0,02800			0		

5.2 Discusión

Alrededor de la microcuenca “Las Flores”, San Sebastián, Manabí, Ecuador. existen varios estudios previos entre ellos la caracterización hidrológica y morfológica de esta microcuenca del análisis del comportamiento hidrológico de la misma. Ambos han sido de vital aporte para comprender el comportamiento de esta microcuenca sin embargo no se contaba con datos reales acerca de su curva de descarga, existía una curva de descarga simulada la cual dejaba gran porcentaje de incertidumbre alrededor de la misma y esto precisamente fue el enfoque del actual estudio.

Acerca de la curva de descarga simulada podemos decir que ninguna medición de una cantidad física es exacta, o cierta, por lo que siempre es muy importante para cuantificar la desviación, o incertidumbre, del valor medido con respecto al valor verdadero desconocido.

Los datos de caudal obtenidos, fueron transformados luego en información que sintetizo el conocimiento, fueron la base para una buena gestión integrada y sostenible de los recursos. Por lo tanto, no basto con “medir mucho”, sino que fue imprescindible “medir bien” y conocer cuál es la calidad de los datos con los que se tomaron y tomaran decisiones importantes, ya que mediante estos se establecen límites legales, sanciones, delimitaciones, se llevaron y llevan a cabo determinadas medidas o incluso se analiza el comportamiento de la microcuenca.

La extrapolación de la curva de gasto no se puede considerar como una simple extrapolación de una curva ajustada a algunos datos de aforo, debido a discontinuidades en la $Q(H)$ y la relación que puede ocurrir durante las inundaciones más allá del rango de los valores calibrados. Ante todo lo planteado la modelación hidráulica proporciono un marco prometedor para predecir estos cambios, teniendo en cuenta el entorno espacial alrededor de la estación de aforo.

El uso de herramientas como Hec-Ras (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) este es un programa de modelización 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.

Este permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables. sin embargo, al no contar con datos reales deja cierto porcentaje de incertidumbre ya que la extrapolación de las curvas de gasto no puede considerarse como una simple extrapolación de una curva ajustada a algunos datos de aforo, debido a discontinuidades en la $Q(H)$ relación puede ocurrir durante las inundaciones más allá del rango de los valores calibrados.

Al contar con datos reales se pudo realizar una modelación hidráulica que proporcione un marco prometedor para predecir estos cambios, permitiendo así una correcta evaluación de la incertidumbre presentada ante la curva de descarga simulada, y reduciendo esta incertidumbre proporcionando una curva de descarga real de gran utilidad para futuras investigaciones.

Lo cual indica que esta investigación obtuvo resultados positivos y logro cumplir con cada uno de los objetivos planteados al inicio de la misma.

6.- CONCLUSIÓN

Una vez culminada la investigación se puede concluir que:

- La realización del análisis preliminar de sensibilidad para las curvas de descarga extrapoladas con simulaciones hidrodinámicas, fue de vital importancia para lograr concluir con esta investigación ya que permitió visualizar el comportamiento simulado de la curva de descarga y poder hacer la comparación respectiva con la curva de descarga simulada.
- Las mediciones realizadas de caudal con método del correntómetro o molinete y volumétrico, se realizaron satisfactoriamente obteniendo datos reales que formaron parte de la elaboración de la curva de descarga.
- Con la construcción de la curva de descarga con los caudales recolectados, pudimos observar una variación significativa entre la curva de descarga simulada y la real.
- Al realizar la comparación de la curva de descarga extrapolada con la curva de descarga medida o real, fue evidente la incertidumbre existente en la misma y la disminución de esta en la microcuenca.

Dentro de la investigación realizada se logró cumplir con la evaluación de las fuentes de incertidumbre en la curva de descarga de la microcuenca “Las Flores”, San Sebastián, Manabí, Ecuador. La obtención de esta curva de descarga real, será de gran utilidad para los futuros estudios que se puedan realizar en esta microcuenca, beneficiando así a futuros investigadores y a la población de dicho sector.

LITERATURA CITADA

- Bravo, M., & Santos, V. (2018). Caracterización Hidrológica y Morfológica de la microcuenca "Las Flores" que alimenta al embalse "Poza Honda". 17-18.
- Di Baldassarre, & Montanari. (2009). Uncertainty in river discharge observations: a quantitative analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*
- FAO. (1993).
- fao.org. (s.f.). *www.fao.org*. Obtenido de *www.fao.org*: http://www.fao.org/3/T0848E/t0848e-09.htm#P967_112616
- FAO-68, & Hudson, N. (1997). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68)*. Ampthill, Bedford: Reino Unido .
- GJ Wiche, R. H. (s.f.). *Flood Forecasting*.
- Hernández, V. (2001). *Análisis de aforo de la Estación Hidrométrica Obrajillo* .
- IDEAM. (1969). *MÉTODOS PARA LA ELABORACION DE CURVAS DE CALIBRACION EN CAUCES ALUVIALES*.
- Leticia Vicario, C. M. (s.f.). *INCERTIDUMBRE EN LA ESTIMACION DE CAUDALES DE PERIODOS DE ESTIAJE*. CORDOBA.
- Lisa Lowe, J. A. (2017). *Agua para el medio ambiente*.
- Mendiondo, E., Clarke, R., & Tönsmann, F. (2000). *River restoration, discharge uncertainties and floods*. Kassel, Germany.
- Michel Lang, K. P. (2010). Extrapolation of rating curves by hydraulic. *Hydrological Sciences Journal*.
- Román, F. J. (s.f.). Salamanca (España).
- Román, J. S. (s.f.). <http://web.usal.es/javisan/hidro>. Obtenido de Univ. Salamanca (España).
- RWA Hutjesy P Kabat, B. S. (2009). Efectos de la incertidumbre de la precipitación en los cálculos de descarga para las principales cuencas de los ríos. *Journals Online*.
- Scott, V. H., & Houston, C. E. (1959). Measuring Irrigation Water. *California Agric. Expt. Station, Circular 473*.
- SK Jain, V. S. (2003). *Developments in Water Science*.
- Tamari & López-Vázquez, A. (2013). *Mètode sencillo para inclur la temperatura en la curva de calibración de un transductor de presión. Ingeniería Hidráulica 10*. México.
- Vera Hernández, L. E. (2001). *Análisis de aforo de la Estación Hidrométrica Obrajillo*.

ANEXOS

Anexo 1: Recolección de datos



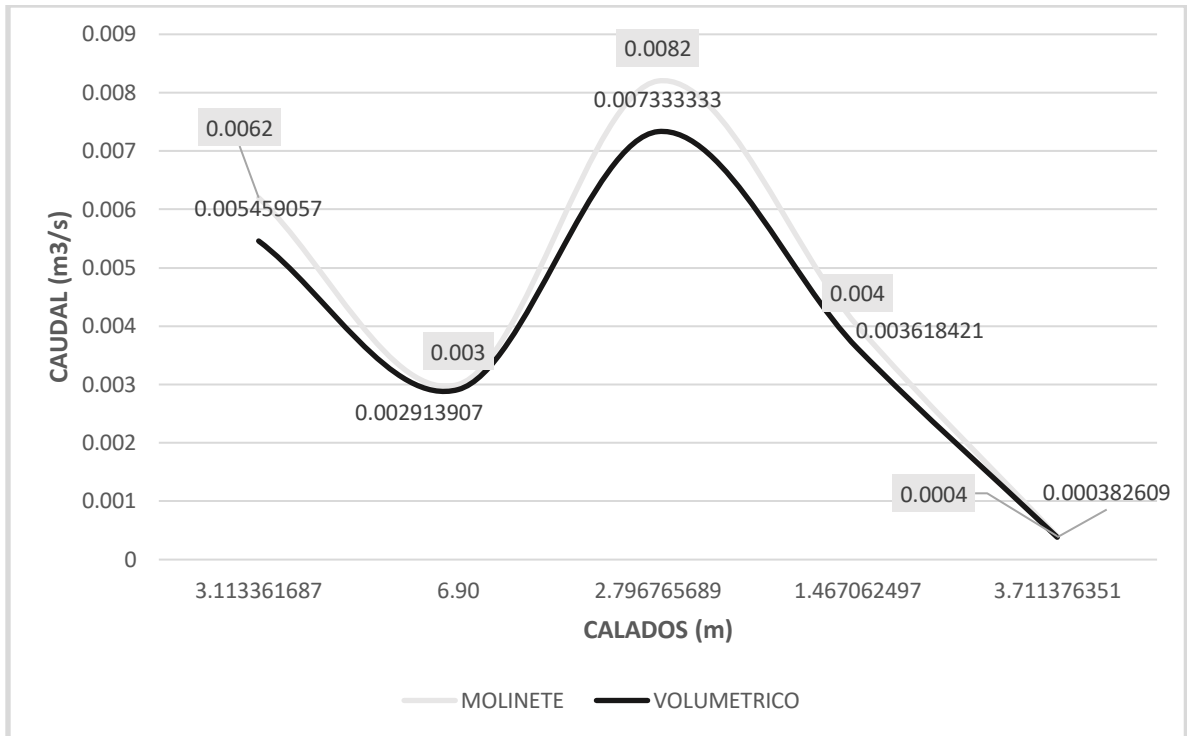


Ilustración CURVA DE DESCARGA - MOLINETE/VOLUMETRICO (CALADO)

Elaborado por: Marcillo – Vivas

Fuente: SENAGUA/ Marcillo – Vivas

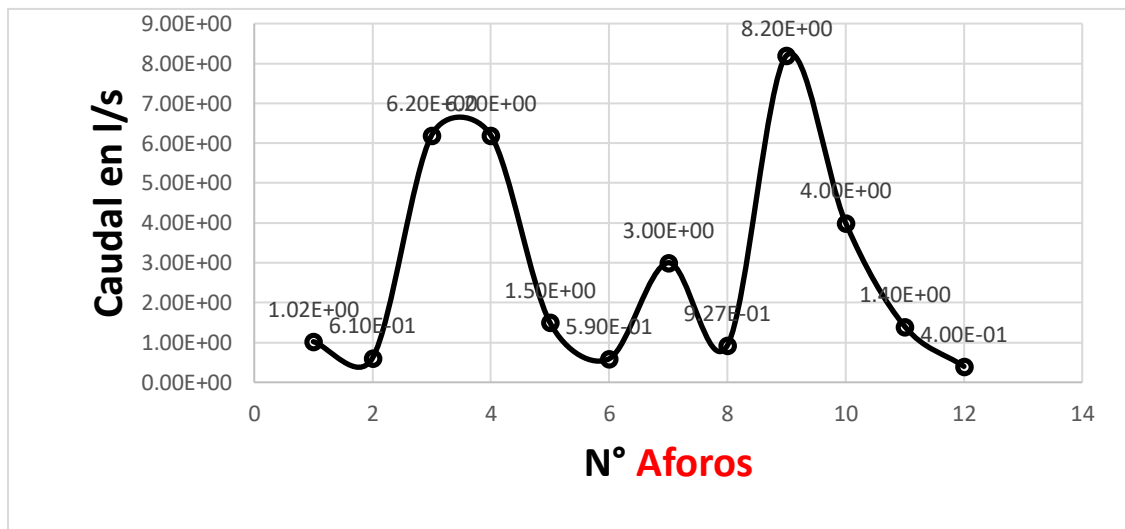


Ilustración 3 GRAFICO CURVA - CAUDAL/ FECHAS

Elaborado por: Marcillo - Vivas

Fuente: SENAGUA/ Marcillo - Vivas

Anexo 2: Gráficos obtenidos mediante datos de transductor para observar el comportamiento ascendente/descendente de los aforos en la curva de descarga obtenida. Estos gráficos fueron elaborados por los autores.

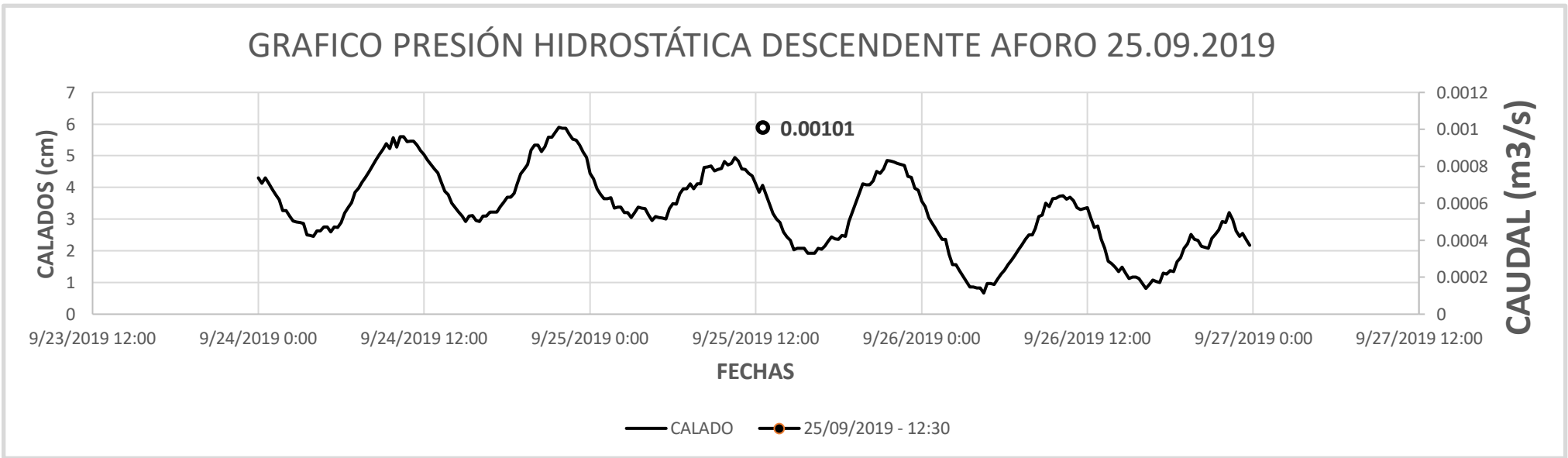
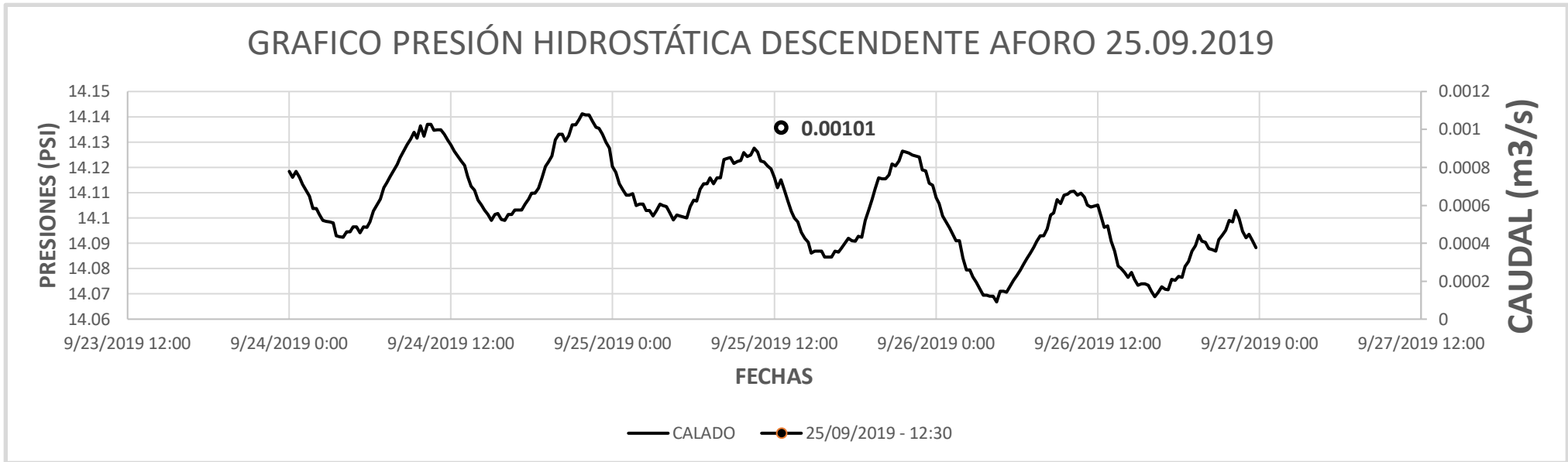


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA ASCENDENTE AFORO 23.10.2019

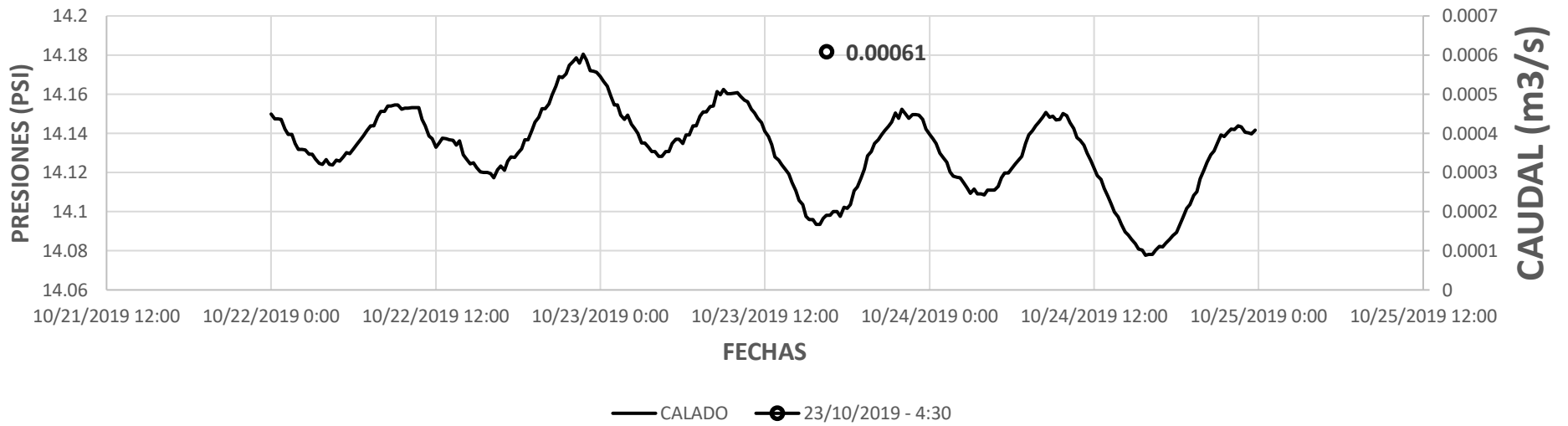


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA ASCENDENTE AFORO 23.10.2019

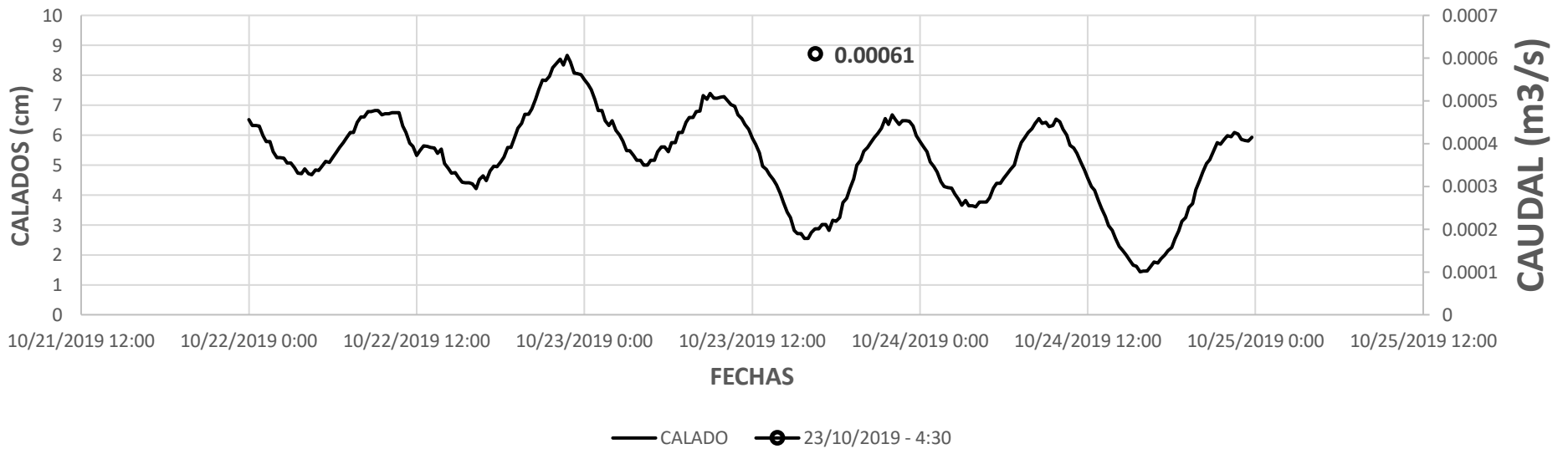


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO
30.10.19

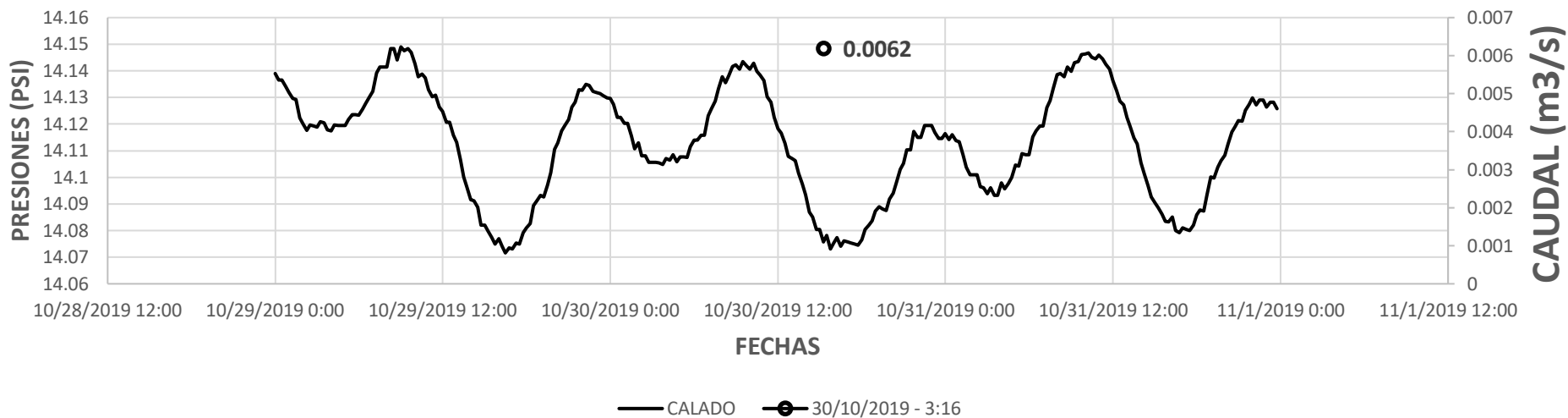


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO
30.10.19

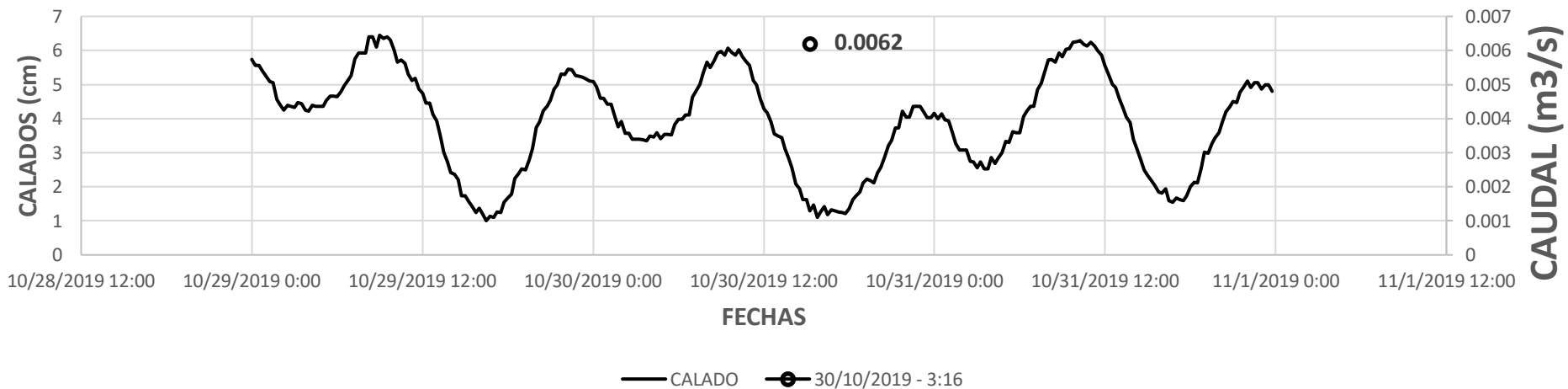


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO
6.11.19

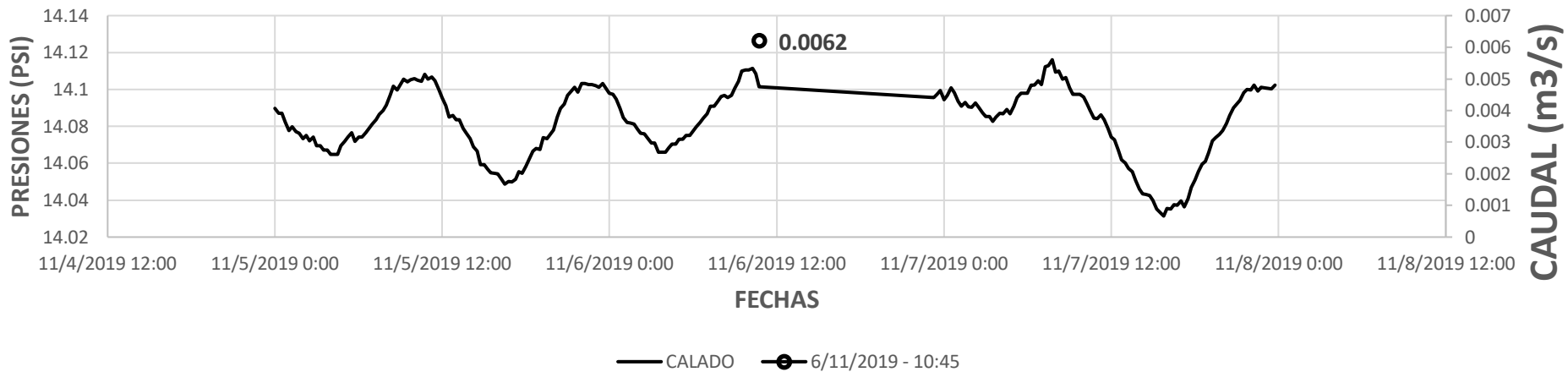


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO
6.11.19

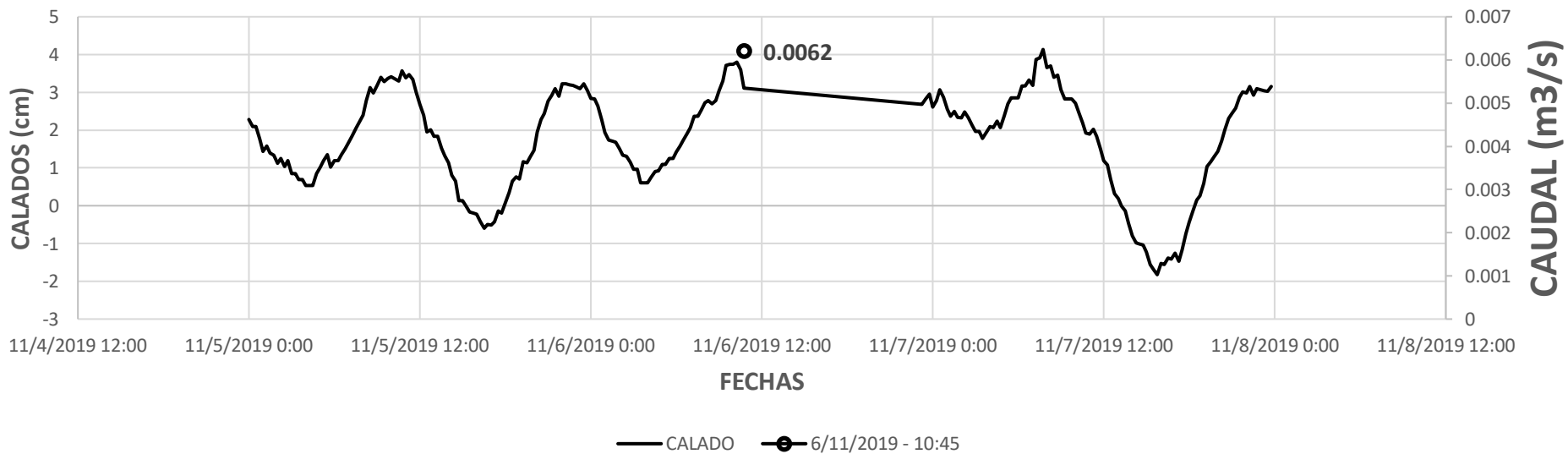


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA ASCENDENTE AFORO

11.11.19

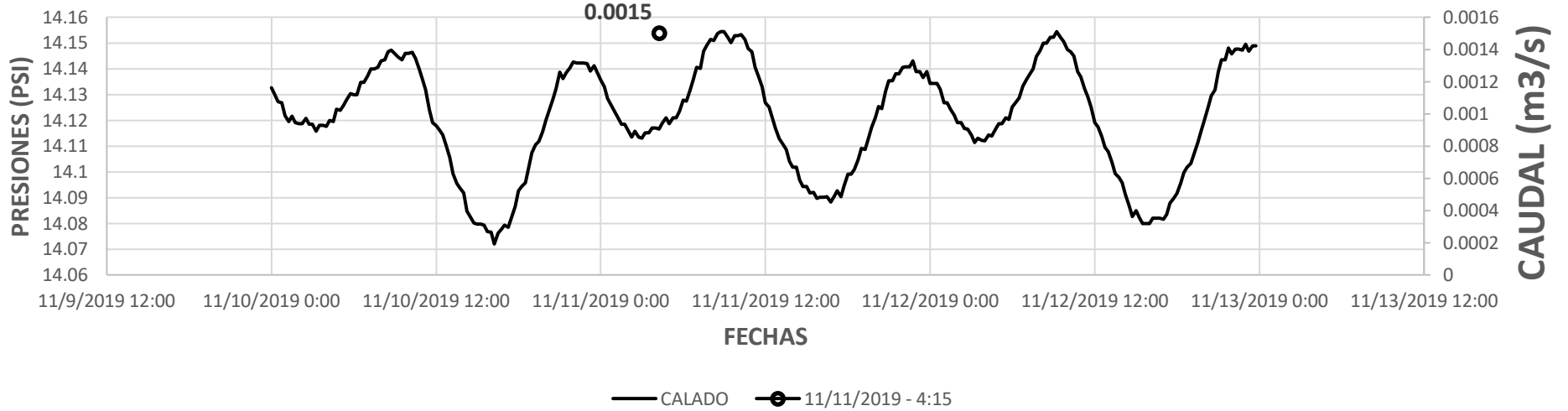


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA ASCENDENTE AFORO

11.11.19

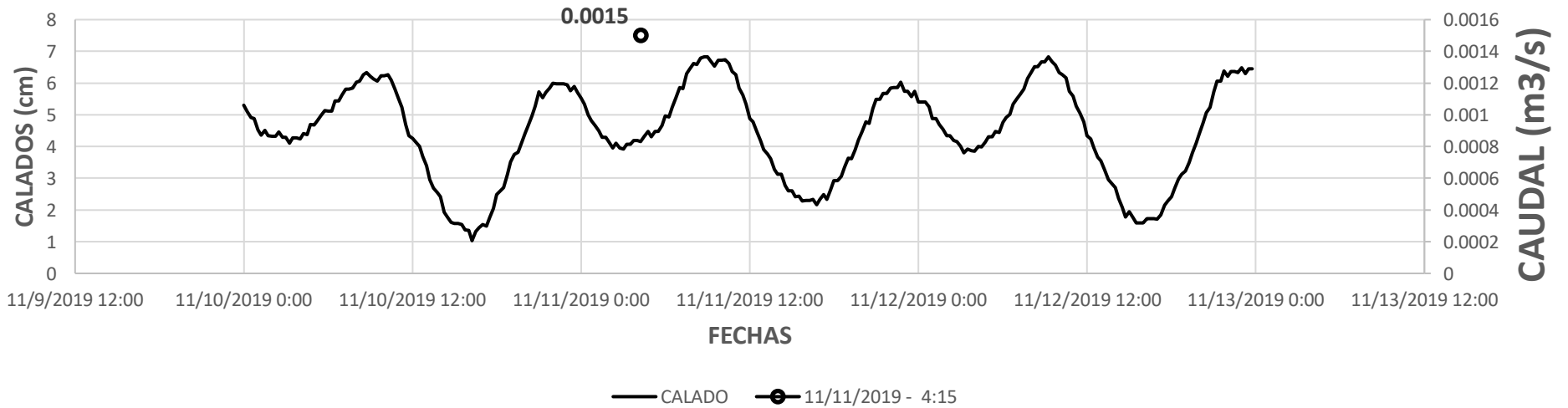


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 17.11.19

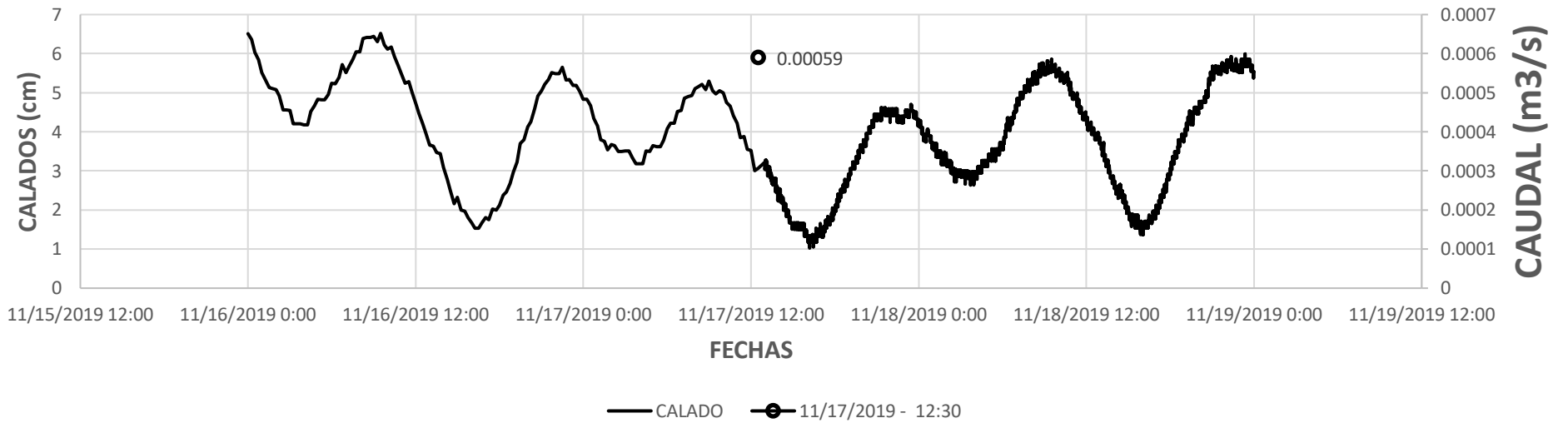


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 17.11.19

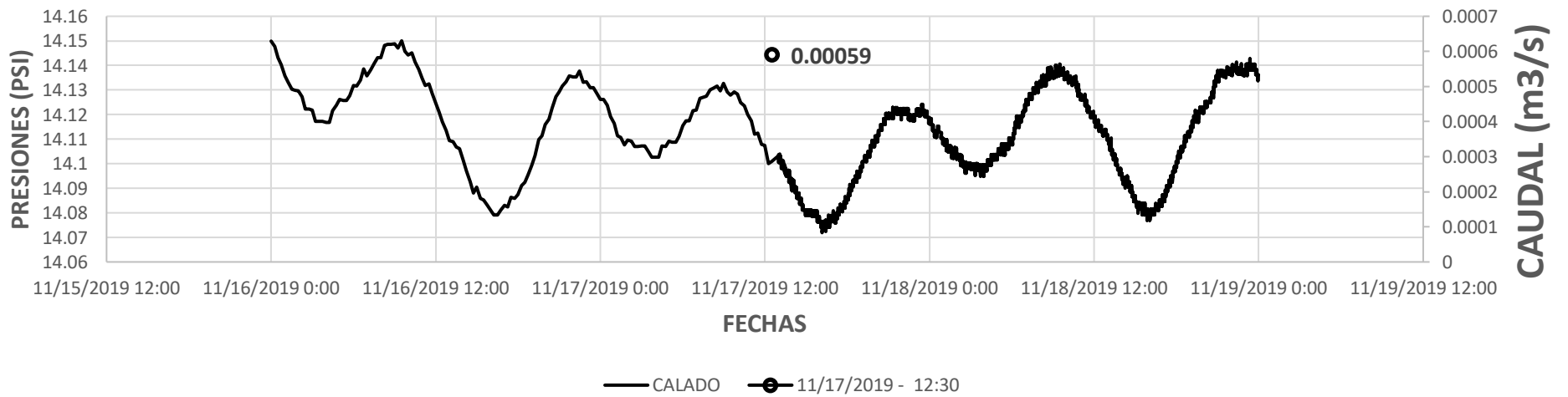


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO
20.11.2019

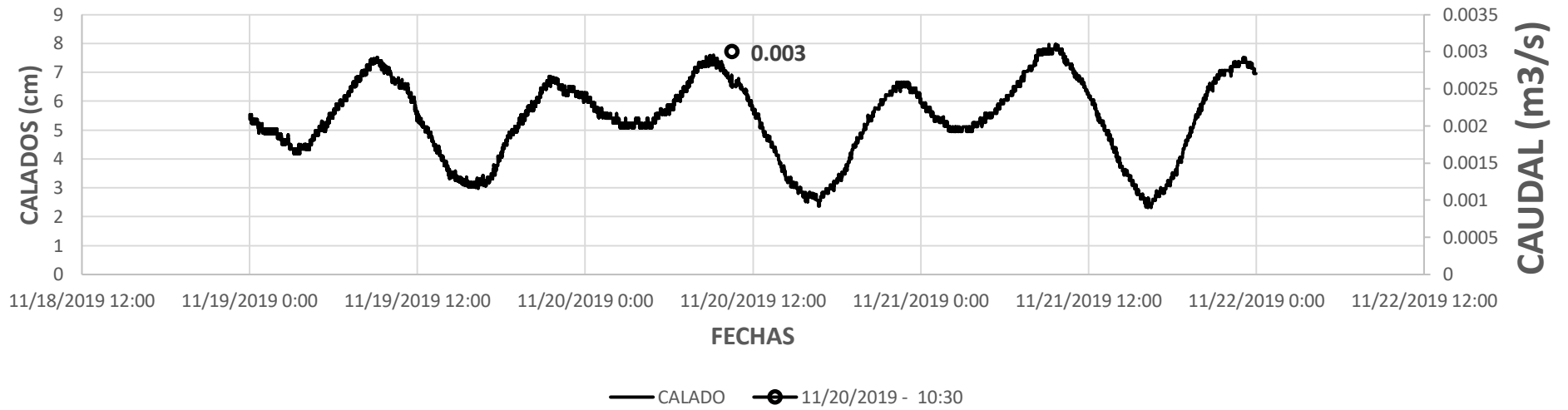


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO
20.11.2019

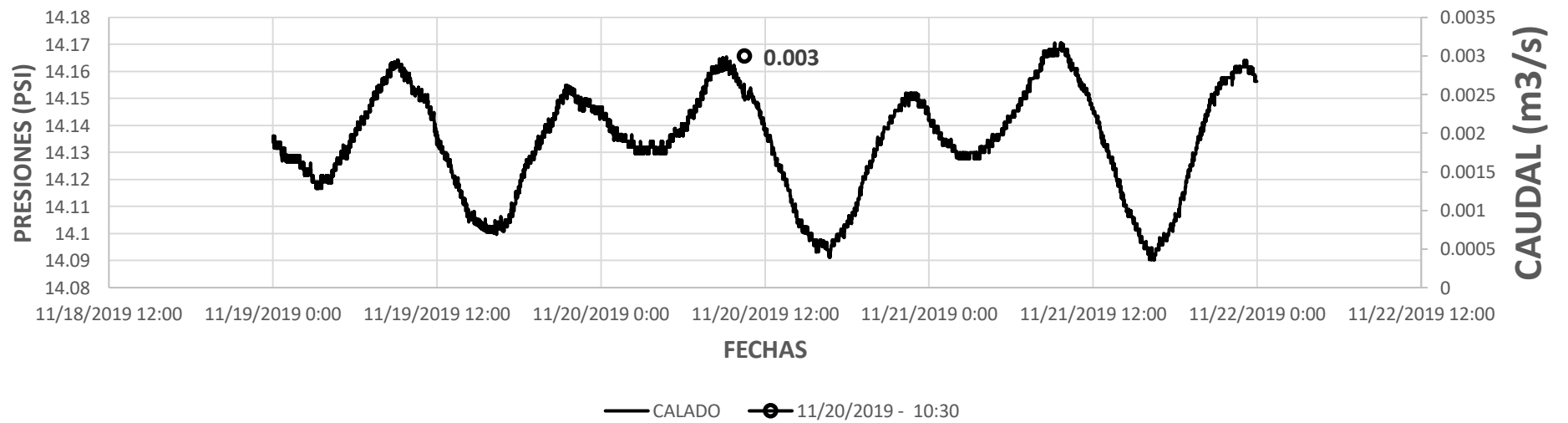


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 25.11.2019

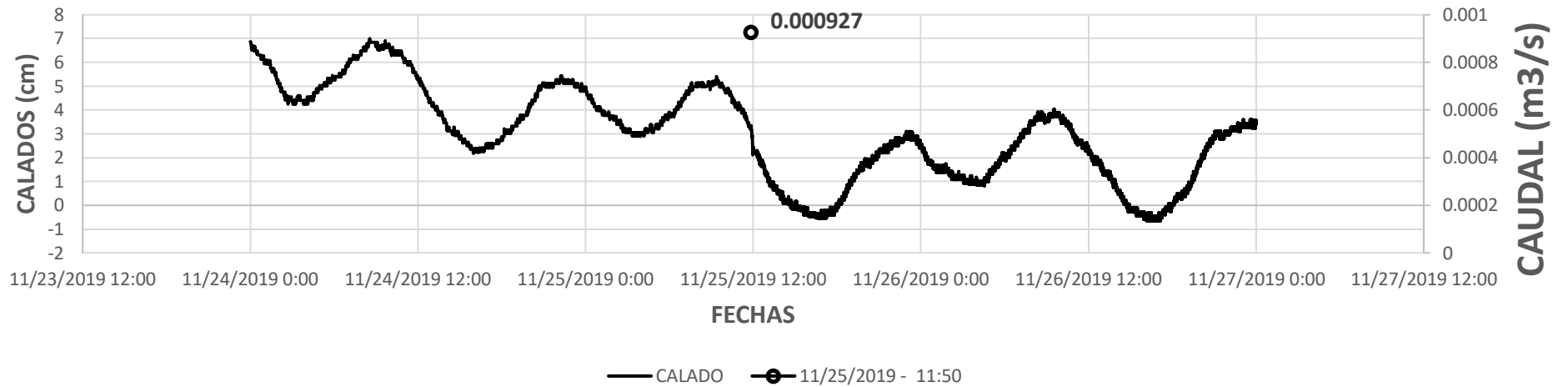


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 25.11.2019

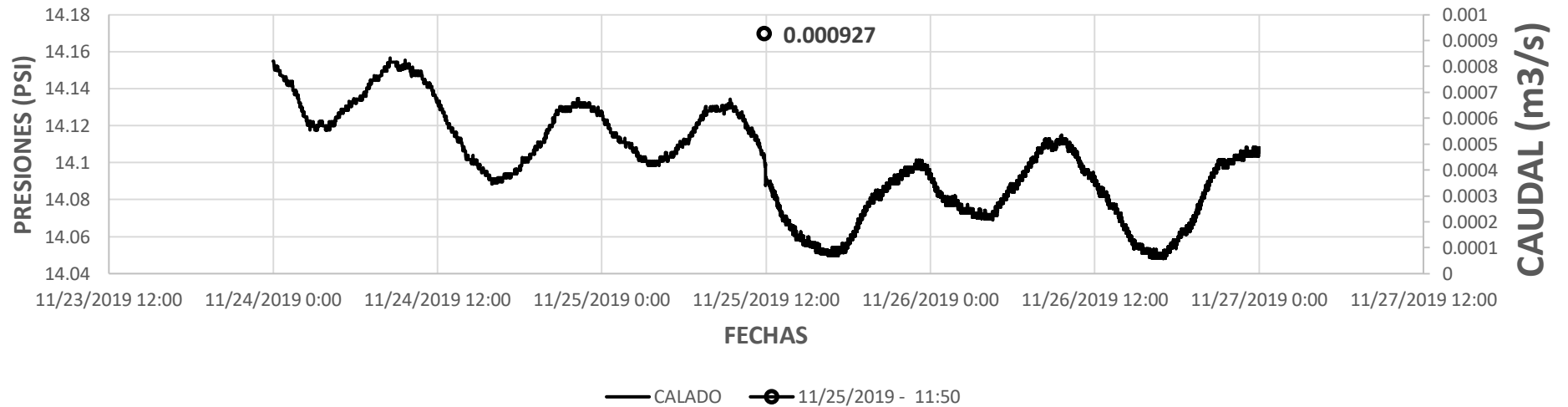


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA ASCENDENTE AFORO 27.11.2019

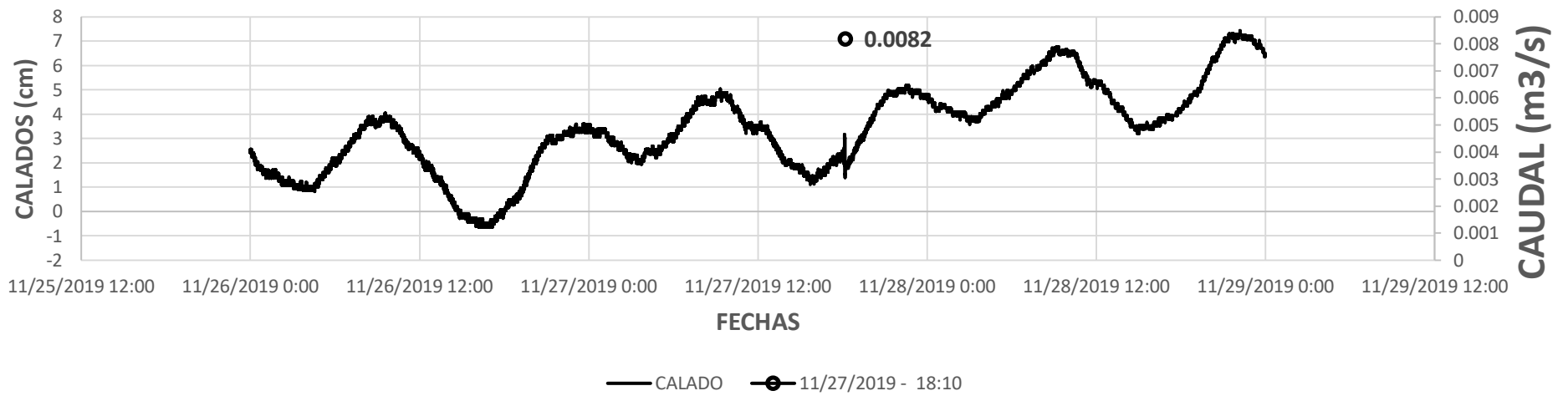


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA ASCENDENTE AFORO 27.11.2019

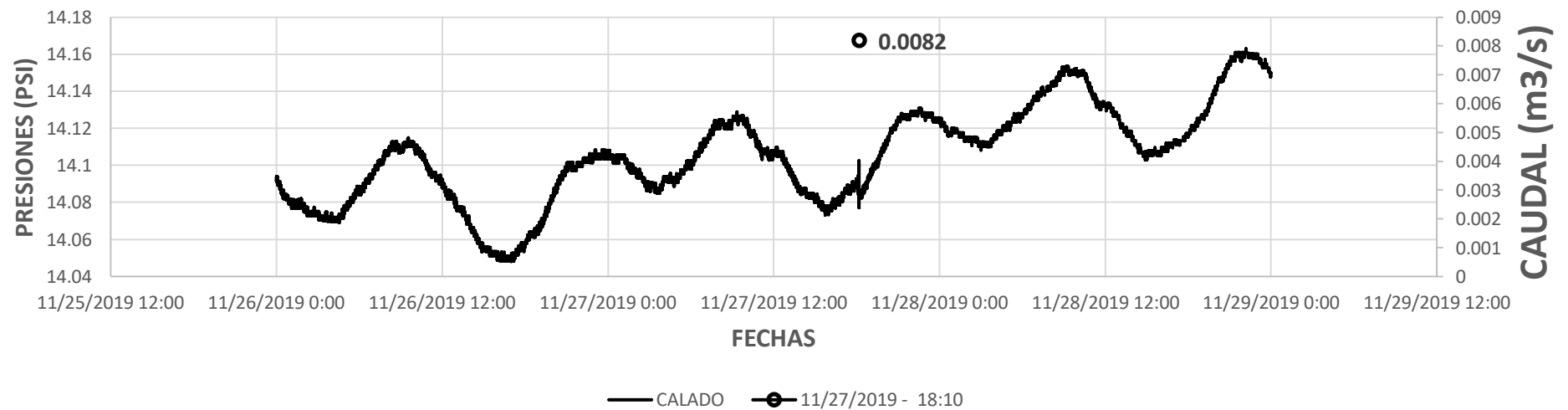


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 4.12.2019

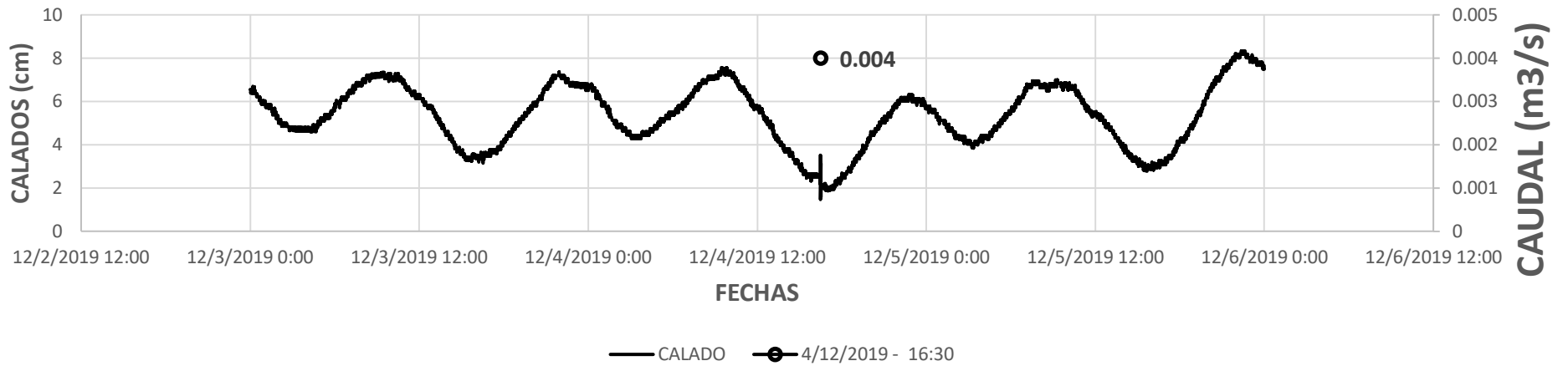


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 4.12.2019

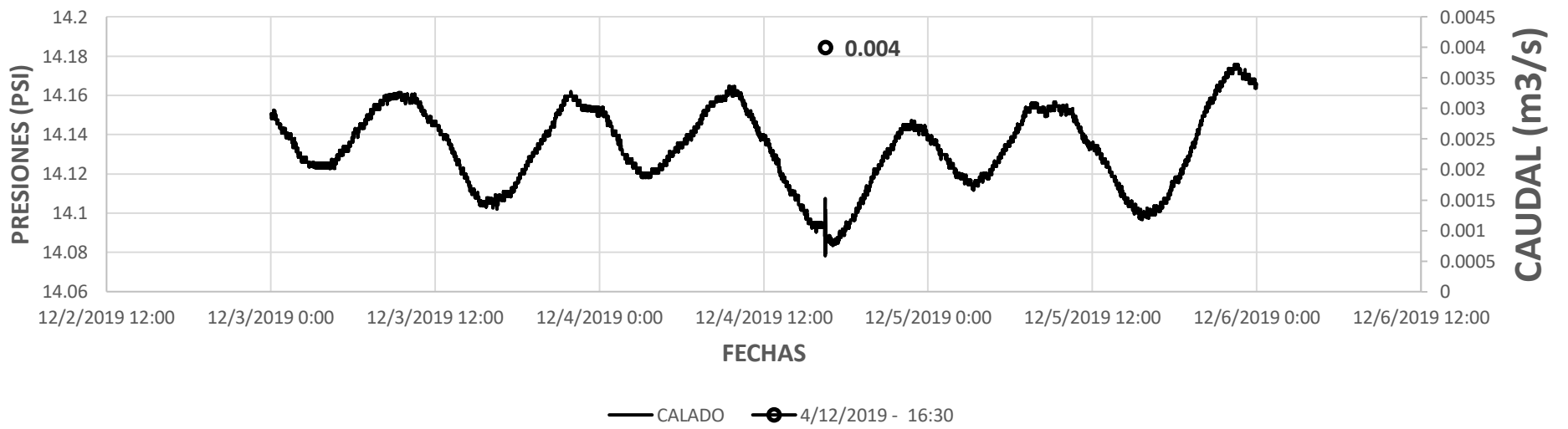


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 6.12.2019

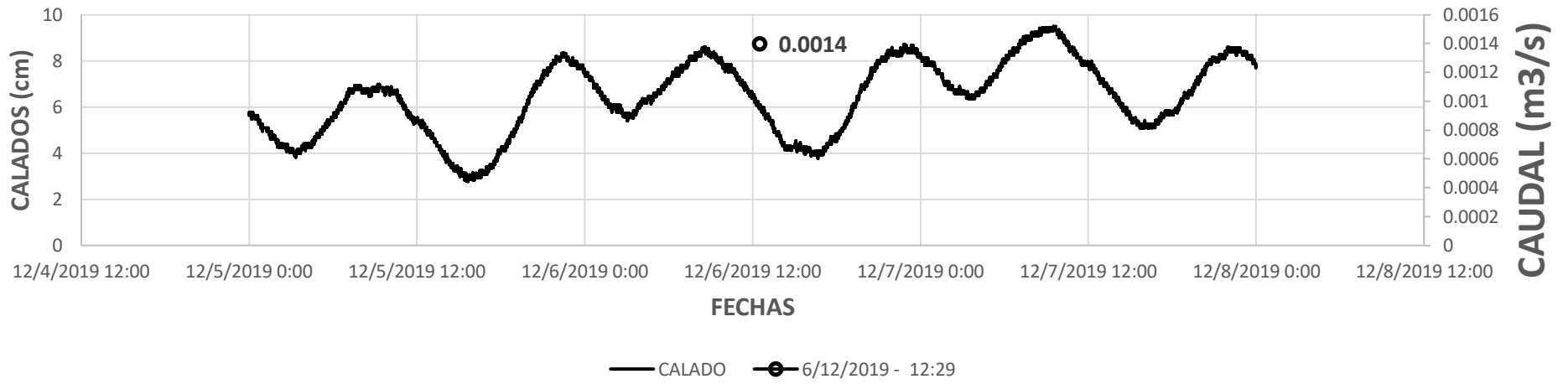


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 6.12.2019

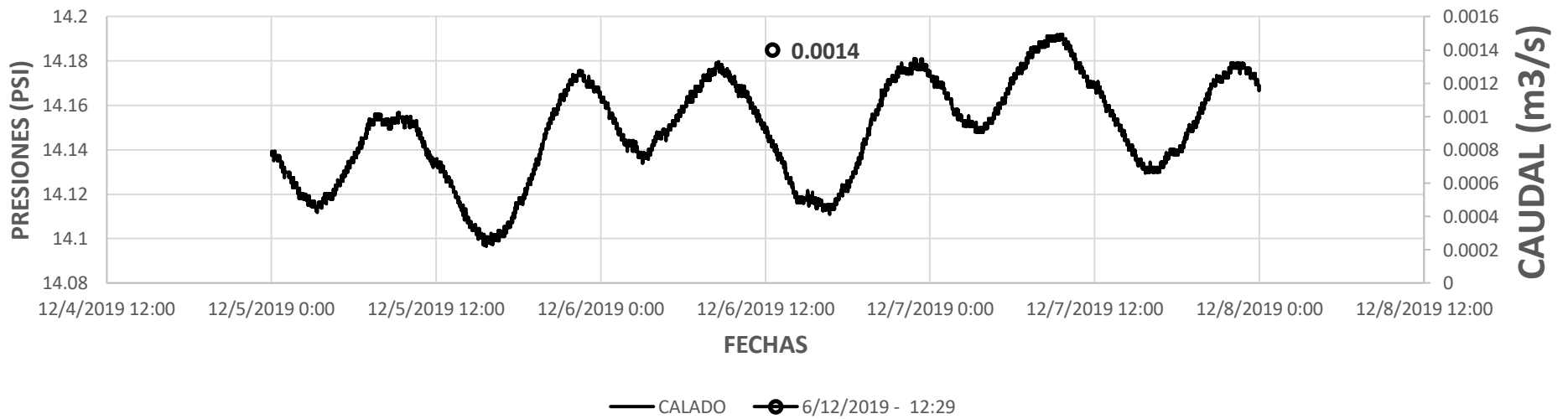


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 11.12.2019

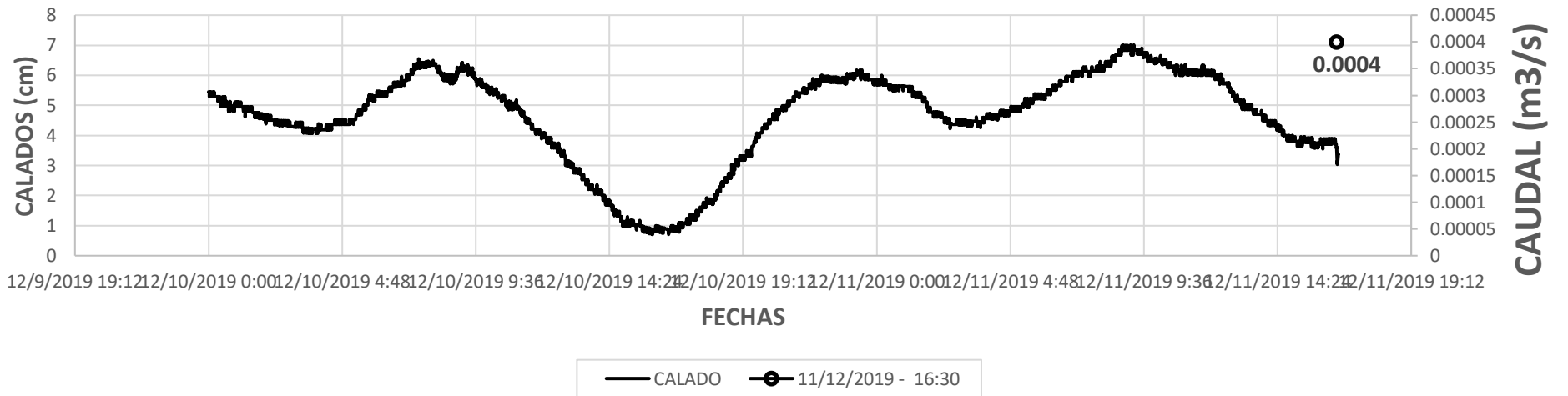


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 12.11.2019

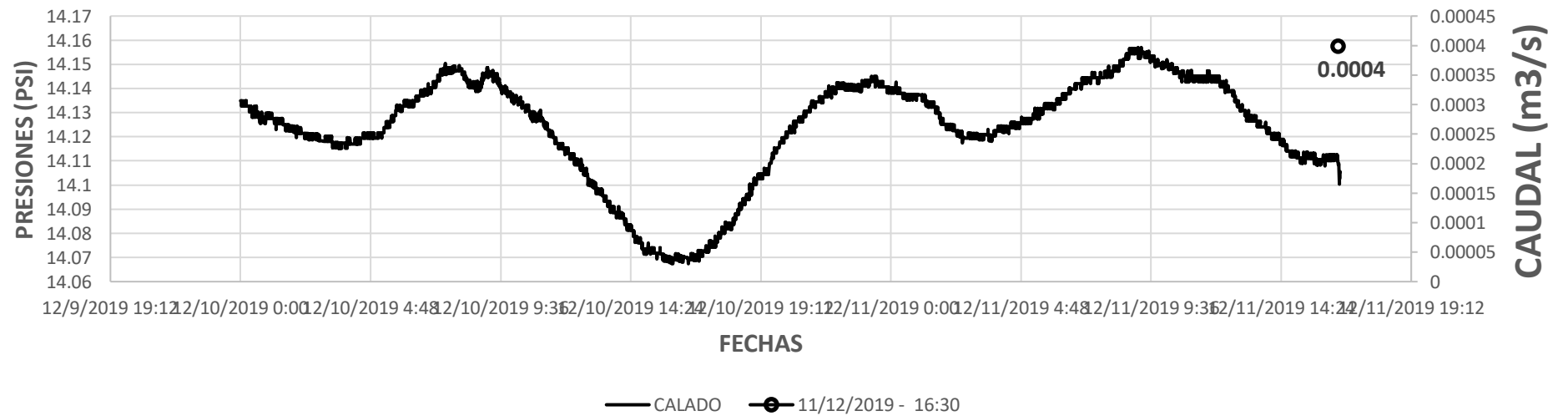


GRAFICO PRESIÓN HIDROSTÁTICA DESCENDENTE AFORO 12.11.2019

