

# DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CON ARDUINO: COMPARACIÓN CON UNA ESTACIÓN PROFESIONAL

Carlos Andres Antequera Encinas

Profesional Independiente Ingeniero Civil RNI 28106- Especialista Hidraulico, Sucre, Bolivia. E-mail: carlosantencinas@gmail.com

Recibido: 29/09/2023

Aceptado:

Publicado:

## RESUMEN

Las estaciones hidrométricas desempeñan un papel crucial en la monitorización y gestión de recursos hídricos. En este estudio, se presenta el desarrollo y la aplicación en campo de una estación hidrométrica automática autónoma basada en la plataforma Arduino. Esta estación, de bajo costo y fácil implementación, se diseñó para medir un parámetro hidrométrico esencial como lo es el nivel del agua. Se compararon los datos recopilados por la estación hidrométrica Arduino con los de una estación hidrométrica profesional de referencia (Estación Chaunaca) para evaluar su precisión y confiabilidad.

Palabras clave: Estaciones hidrométricas, Arduino, Monitorización de recursos hídricos.

## ABSTRACT

Hydrometric stations play a crucial role in the monitoring and management of water resources. This study presents the development and field application of an autonomous automatic hydrometric station based on the Arduino platform. This low-cost and easy-to-implement station was designed to measure an essential hydrometric parameter, namely, water level. Data collected by the Arduino hydrometric station were compared with those from a reference professional hydrometric station (Chaunaca Station) to assess its accuracy and reliability.

**Keywords:** Hydrometric stations, Arduino, Water resource monitoring.

## INTRODUCCIÓN

Las estaciones hidrométricas son herramientas fundamentales para la recolección de datos sobre cauces naturales, lo que permite el monitoreo continuo de la cantidad y características de los recursos hídricos, la predicción de inundaciones, el manejo de cuencas, aprovechamiento de agua y otros fines relacionados con el agua. Tradicionalmente, las estaciones hidrométricas profesionales han sido costosas y requieren un mantenimiento periódico, lo que limita su disponibilidad en áreas rurales o con recursos limitados.

“Uno de los problemas más importantes en Bolivia al determinar el flujo superficial, es la poca densidad de estaciones de medida de caudales, la falta de continuidad en los registros y la dificultad de realizar mediciones confiables que reflejen los cambios que se producen en los cauces, fundamentalmente durante las crecidas de los ríos” (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2016).

Es importante evaluar la precisión y confiabilidad de las estaciones hidrométricas Arduino en comparación con las estaciones profesionales, ya que esta es una solución más económica y conveniente podría propagar el monitoreo de los recursos hídricos, permitir su implementación en áreas rurales o áreas con recursos limitados y mejorar significativamente la disponibilidad de datos críticos para la Hidrología y la gestión y conservación de los recursos hídricos.

En este estudio, se propone una solución de bajo costo y accesible basada en la plataforma Arduino para desarrollar una estación hidrométrica. El objetivo principal es evaluar la precisión y confiabilidad de esta estación comparándola con una estación hidrométrica profesional ubicada en el Distrito 8 en la zona de Chaunaca del municipio de Sucre.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Selección del Sitio de Estudio

La estación Chaunaca ubicada en el puente del mismo nombre es de gran importancia para el análisis de aportes de la cuenca ya que se encuentra próximo a la obra de toma de Fisculco que es fuente de aprovechamiento de Agua para la Ciudad de Sucre, esta estación cuenta con registros de niveles del cauce con un paso de tiempo de 15 minutos entre datos. En los últimos años ha registrado de forma ininterrumpida los niveles del río logrando registrar la variación de tirante durante tormentas ocurridas en la cuenca.

La obra de toma de Fisculco es de vital importancia en el abastecimiento de agua para Sucre ya que esta ha sido construida con el fin de compensar el déficit de agua en la ciudad en época de estiaje.

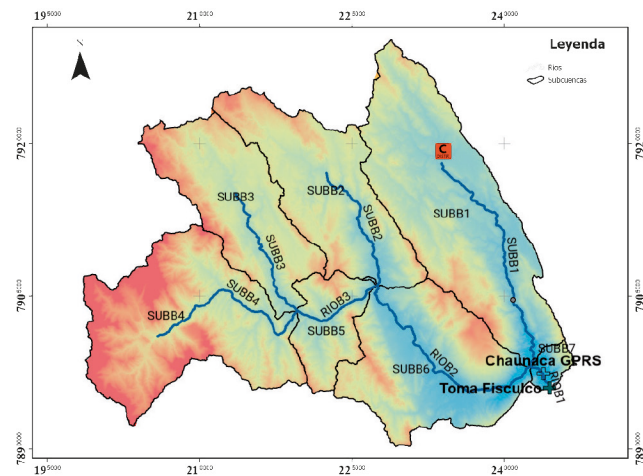


Figura 1 Mapa de delimitación Subcuencas y Cauces.

### Medición de niveles

Para la medición de niveles se desarrolló en la plataforma Arduino un registrador de niveles automático que comprende un módulo ultrasónico que registra distancias en tiempo real cada 15 minutos, se realizó la calibración de tirantes en campo a partir de la ubicación del sensor ultrasónico y el lecho del cauce (1. Cresta del azud)

Al no contar con fuente de electricidad de forma continua se utilizaron baterías de litio 18650 recargables alcanzando una autonomía de los sensores de 3 días, logrando registrarse niveles entre las siguientes fechas:

**Tabla N° 1 Periodos de toma de datos de niveles de agua en Fisculco**

PERIODO	Registros		Tipo
	Inicio	Fin	dato
1	05/03/2020 18:30	07/03/2020 19:00	niveles
2	11/03/2020 13:15	13/03/2020 12:00	niveles
3	16/03/2020 12:00	18/03/2020 15:45	niveles
4	03/12/2020 11:00	05/12/2020 15:00	niveles
5	31/12/2020 11:45	02/01/2021 5:45	niveles
6	06/01/2021 12:00	07/01/2021 0:45	niveles
7	13/01/2021 14:00	16/01/2021 11:00	niveles

Para los registros realizados se han considerado fechas de muestreo durante el periodo de lluvias ya que en este periodo se presentan tormentas que generan elevaciones en el nivel del río, este dato es importante para ver el comportamiento de niveles en la obra de toma para distintos caudales de avenida y también para la generación de hidrogramas de crecidas.

**Instalación de sensores Level Logger Arduino:**



Figura 2 Proceso de instalación de los sensores Arduino.

**Dispositivo Level Logger Arduino**

El dispositivo “Level Logger Arduino” utiliza un módulo de sensor ultrasónico para medir la distancia entre el sensor y el espejo del agua en el cauce. El funcionamiento del sensor ultrasónico se basa en el principio de eco: emite pulsos de ultrasonido de alta frecuencia que viajan a través del aire hasta que encuentran una superficie. Cuando estos pulsos de sonido alcanzan la superficie del agua, se reflejan de vuelta hacia el sensor. El sensor mide el tiempo que tarda en recibir el eco de vuelta, y a partir de esa información, calcula la distancia entre el sensor y la superficie del agua. Para convertir estas distancias en tirantes del cauce, se utiliza la información sobre la ubicación del sensor ultrasónico con respecto al lecho del cauce. La distancia entre el sensor y el lecho del cauce se conoce con precisión, por lo que restando esta distancia a la distancia medida por el sensor ultrasónico, se obtiene la altura real del nivel del agua en el cauce, es decir, el tirante del cauce en ese punto específico. Este valor se registra y se almacena para su posterior análisis.

**Tabla N° 2 Datos técnicos Sensor Arduino**

Característica	Valor	Unidad
Dimensiones	12x16x10	cm
Peso	0.7	kg
Unidad de medida	metros	
Rango	2 - 400	cm
Precisión	0.1	cm
Intervalo de lecturas	15	min
Formato de registros	.txt separado por espacios	
Memoria	1GB	
Reloj	tiempo real	UTC
Alimentación	baterías recargables	
Autonomía	3	días

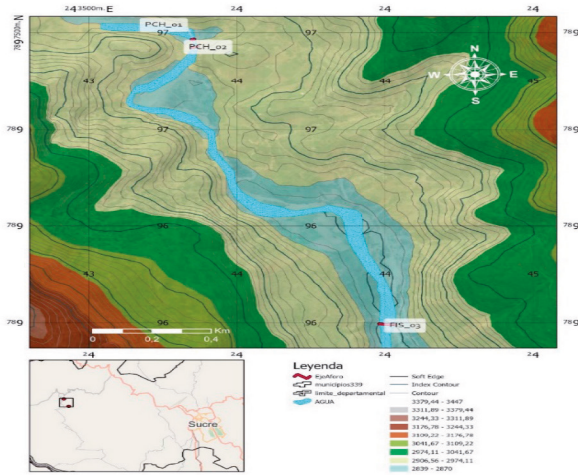


Figura 3 Ubicación Estaciones hidrométricas Niveles estación Chaunaca

La estación hidrológica de Chaunaca se encuentra instalada en el puente del mismo nombre con el fin de registrar niveles en el cauce principal del río Ravelo, es administrado por el SENAMHI y su inicio de operaciones data del 29 de noviembre de 2018.

Tabla N° 3 Datos técnicos Estación Chaunaca SENAMHI

Característica	Valor	Unidad
Formato de registros	.dat	tabulado
Unidad de medida	metros	
resolución de velocidad	0.1	unidades
Precisión	0.00001	m
Intervalo de lecturas	15	min
Alimentación	energía solar	
Reportes	a base de datos	

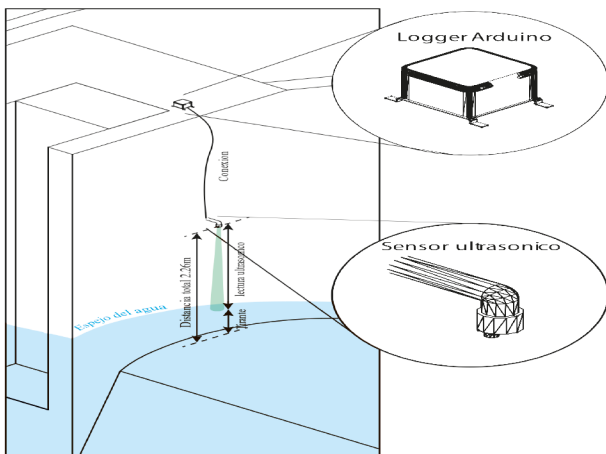


Figura 4 Detalle de instalación sensor en la cresta del azud

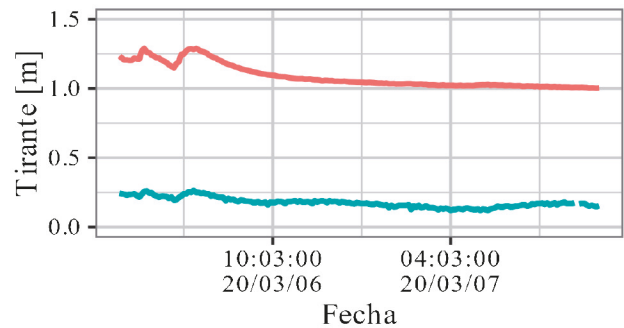
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tirantes

Dada la medición de tirantes en la cresta del azud se realiza la comparación entre los registros de niveles de esta estación con la estación de Chaunaca administrada por el Senamhi para los mismos periodos de registros de datos.

#### Tirante Puente chaunaca [L01]

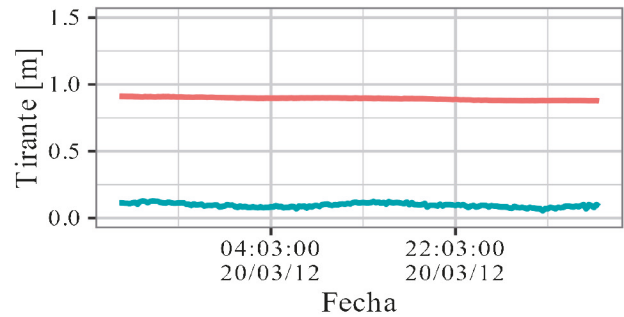
desde 2020-03-05 18:30:00 hasta 2020-03-07 19:00:00



— Est. Chaunaca — Est. Fisculco

#### Tirante Puente chaunaca [L02]

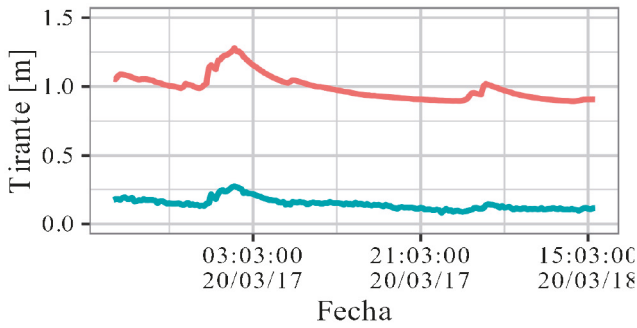
desde 2020-03-11 13:15:00 hasta 2020-03-13 12:00:00



— Est. Chaunaca — Est. Fisculco

### Tirante Puente chaunaca [L03]

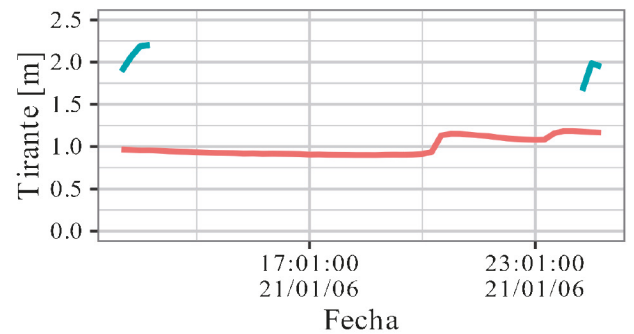
desde 2020-03-16 12:00:00 hasta 2020-03-18 15:45:00



Est. Chaunaca Est. Fisculco

### Tirante Puente chaunaca [L06]

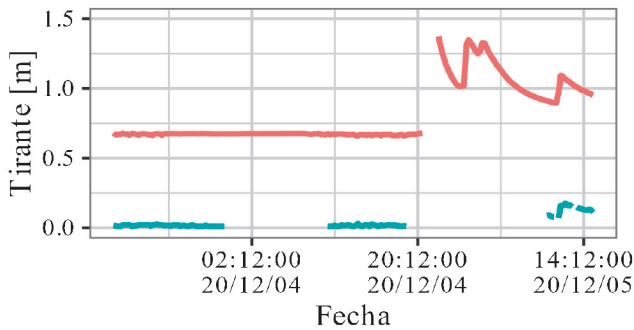
desde 2021-01-06 12:00:00 hasta 2021-01-07 00:45:00



Est. Chaunaca Est. Fisculco

### Tirante Puente chaunaca [L04]

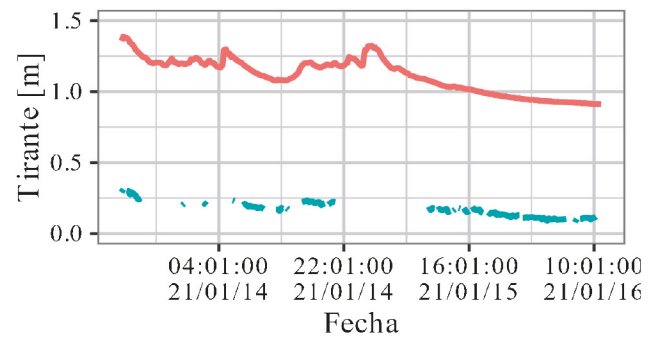
desde 2020-12-03 11:00:00 hasta 2020-12-05 15:00:00



Est. Chaunaca Est. Fisculco

### Tirante Puente chaunaca [L07]

desde 2021-01-13 14:00:00 hasta 2021-01-16 11:00:00

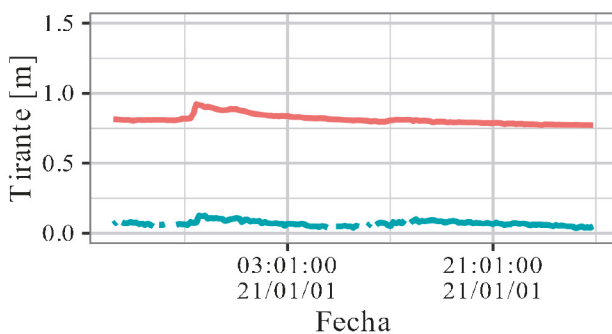


Est. Chaunaca Est. Fisculco

Figura 5 gráfico series históricas registradas.

### Tirante Puente chaunaca [L05]

desde 2020-12-31 11:45:00 hasta 2021-01-02 05:45:00



Est. Chaunaca Est. Fisculco

El rango de lecturas del sensor va desde 2 a 500 cm de acuerdo con las características del fabricante, (Pereira et al., 2022) en su estudio concluye que los errores en lecturas con el sensor ultrasónico para distancias menores a 40cm es menor a 0.02m, por otra parte (Hardjianto et al., 2022) indica que el valor de precisión del sensor ultrasónico HC-SR04 alcanza el 99.98%.

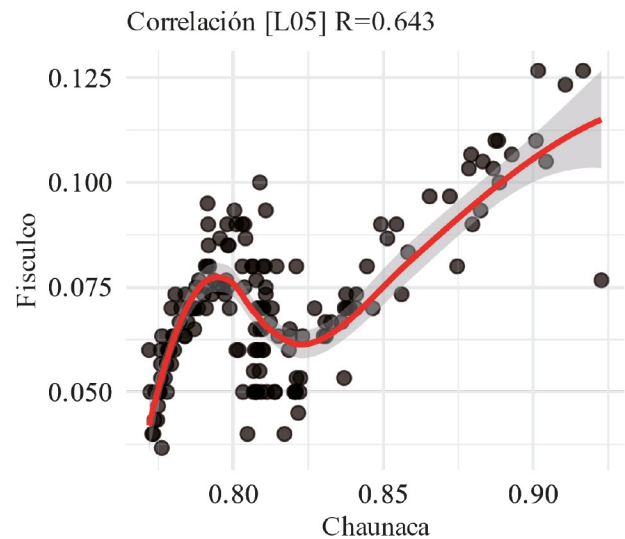
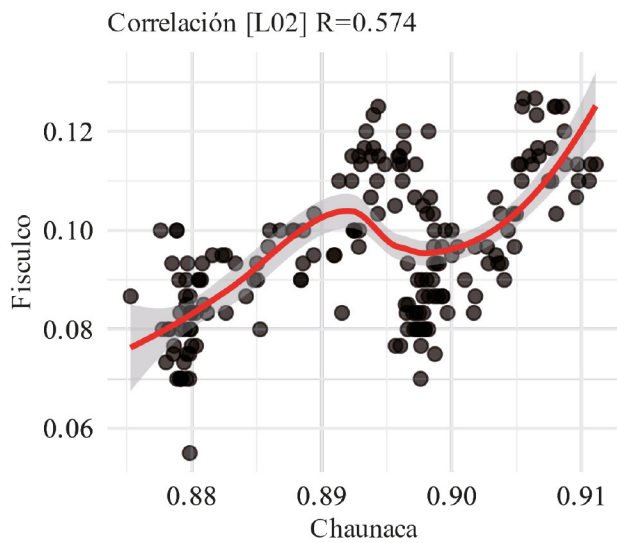
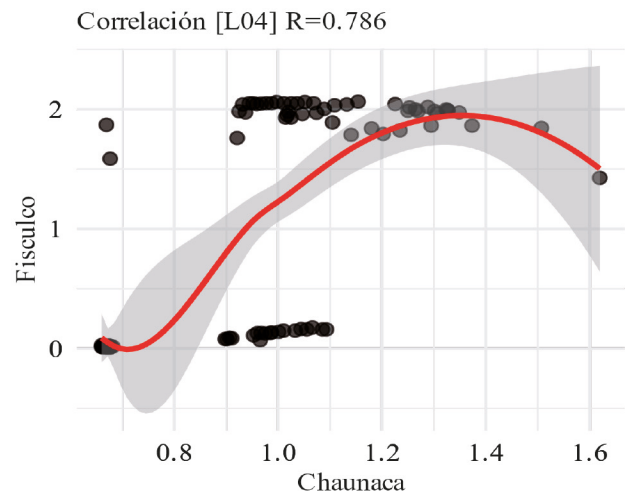
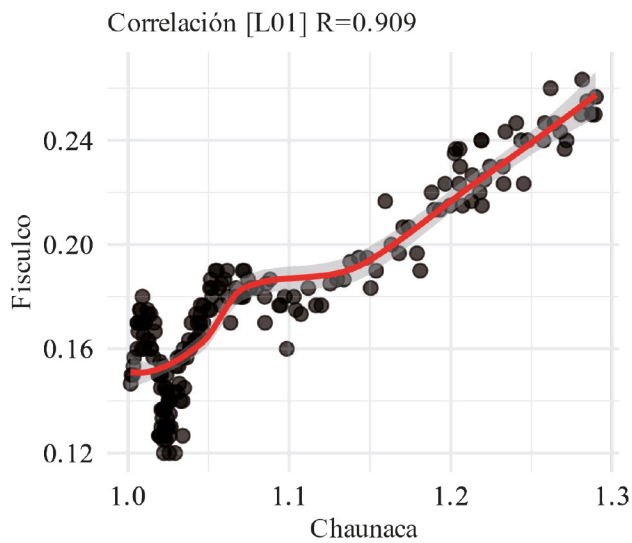
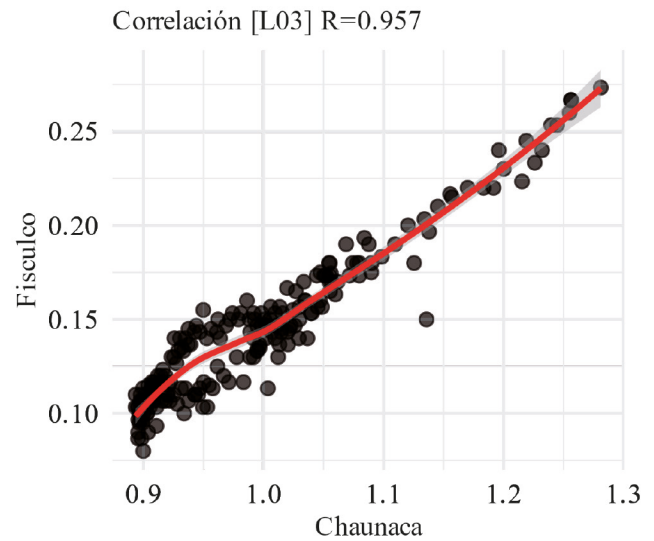
Porotraparteseobservaque los comportamientos de ambas graficas son similares, es decir, que cuando existe incremento en el nivel del río en la estación de Chaunaca este crecimiento se replica en la estación de Fisculco y de la misma forma en los casos de disminución del nivel del río.



Durante el trabajo de registro de niveles del río se ha procurado mantener en operación al sensor de Fisculco durante crecidas del nivel del río durante la temporada de lluvias con el fin de identificar su comportamiento durante tormentas en la cuenca de aporte y de esta forma lograr generar los hidrogramas de crecidas para la calibración hidrológica.

### Correlación Estaciones Chaunaca y Fisculco

La correlación se evalúa entre registros de la estación Fisculco y la Estación Chaunaca con el fin de comparar los niveles históricos.



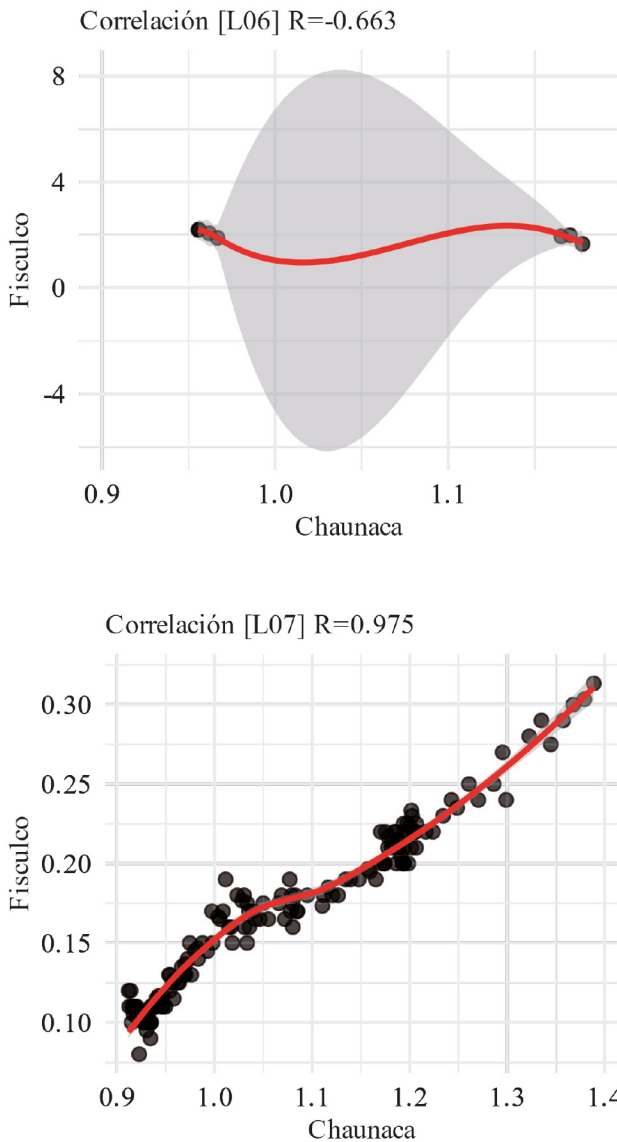


Figura 6 Correlación entre tirantes Estación Chaunaca y Físculco.

Del análisis de correlación entre datos de Físculco y Chaunaca se identifica que las lecturas para la mayoría de los periodos de registro representarían una correlación fuerte siendo que según lo recomendado por (Cohen, 1988) citado por (Lalinde & Tarazona, 2018) el rango de valores absoluto de R entre 0.5 y 1 se interpreta como una correlación fuerte.

Tabla N° 4 Correlaciones según periodo

Periodo	Correlación R
1	0.909
2	0.574
3	0.957
4	0.786
5	0.643
6	-0.663
7	0.975

Los periodos 4 y 6 presentan una baja correlación esto puede identificarse por la baja cantidad de registros obtenidos durante los picos de las crecidas del río, este fenómeno puede atribuirse a la distorsión en las lecturas del ultrasónico que se ve afectado por el ruido extremo del entorno

Por otra parte se observa que dichos periodos de lectura demuestran comportamientos proporcionales en cuanto a la crecida del cauce.

### CONCLUSIONES

Se ha desarrollado con éxito una estación hidrométrica emplazada en la cresta de la obra de Toma Físculco.

La estación desarrollada muestra una buena concordancia con la estación hidrométrica profesional en términos de las mediciones de elevación del agua.

Los resultados respaldan la utilidad de la estación desarrollada para la monitorización hidrométrica en la región.

Se ha identificado una limitación en el registro de niveles utilizando el sensor, la cual se relaciona con el ruido generado por el impacto del agua en el vertedero de la toma Físculco durante las crecidas del río. Este ruido puede ocasionar distorsiones en las lecturas. Por lo tanto, se aconseja ubicar el sensor en una posición que esté alejada de zonas propensas a ruido y turbulencia para garantizar mediciones más precisas.

En la sección de correlación, es importante destacar los valores numéricos de la correlación (R) obtenidos al comparar los datos de la estación Fisculco con los de la Estación Chaunaca durante diferentes periodos. Los resultados de correlación fueron los siguientes:

Periodo 1:  $R = 0.909$

Periodo 2:  $R = 0.574$  (Este valor se excluyó del promedio debido a que no se presenta una crecida en el cauce) Periodo 3:  $R = 0.957$

Periodo 4:  $R = 0.786$

Periodo 5:  $R = 0.643$

Periodo 6:  $R = -0.663$  (Este valor se excluyó del promedio debido a la escasez de datos)

Periodo 7:  $R = 0.975$

Es importante destacar que, a pesar de la variabilidad observada en algunos periodos, en general, se evidencia una correlación fuerte entre los datos de ambas estaciones, respaldando la consistencia y la calidad de los registros obtenidos con una correlación media de  $R=0.854$ .

La medición con sensores Arduino y modulo ultrasónico es una alternativa válida para registro

de niveles de agua en el rio debido al buen ajuste de sus registros en condiciones reales para calibración de curvas de gasto y por el coste económico que representa alcanzando una inversión de menos de 75\$ para su desarrollo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). L. Erlbaum Associates.

Hardjianto, M., Ariyanto, D., & Aryasanti, A. (2022). Penerapan Sensor Ultrasonik HC-SR04 dan Hujan untuk Memantau Ketinggian Air dan Pendeteksi Hujan. *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, 6(1), 251. <https://doi.org/10.30865/mib.v6i1.3486>.

Lalinde, J. D. H., & Tarazona, E. P. (2018). *Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: Definición, propiedades y suposiciones*. 10.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, (MMAyA). (2016). *Balance Hídrico Superficial de Bolivia*.

Pereira, T. S. R., de Carvalho, T. P., Mendes, T. A., & Formiga, K. T. M. (2022). Evaluation of Water Level in Flowing Channels Using Ultrasonic Sensors. *Sustainability*, 14(9), 5512. <https://doi.org/10.3390/su14095512>