

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“NIVELES DE PRECISIÓN EN MEDICIÓN DE  
CAUDALES EN CANALES UTILIZANDO EL  
MÉTODO DEL FLOTADOR”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

Henry Alexander Valdivia Pompa

Jhony Cerdan Mendoza

**Asesor:**

Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez

<https://orcid.org/0000-0001-8861-7889>

Cajamarca - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Kely Elizabeth Nuñez Vásquez</b>	<b>161114</b>
	Nombre y Apellidos	Nº de Colegiatura o DNI

Jurado 2	<b>Erllyn Giordany Salazar Huamán</b>	<b>161116</b>
	Nombre y Apellidos	Nº de Colegiatura o DNI

Jurado 3	<b>Katia Nataly Carrion Rabanal</b>	<b>204883</b>
	Nombre y Apellidos	Nº de Colegiatura o DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### TESIS VALDIVIA Y CERDAN

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>16%</b>	<b>16%</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Privada del Norte</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>core.ac.uk</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.ujcm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>alicia.concytec.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>es.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## DEDICATORIA

A nuestros padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en nosotros en cada paso del camino. Gracias por ser nuestros pilares y brindarnos las herramientas para alcanzar nuestros sueños.

A nuestros hermanos y hermanas, por ser nuestros compañeros de aventuras y por su aliento en los momentos de desafío. Su presencia ha sido un recordatorio constante de la importancia de la familia.

A nuestros amigos, por su lealtad, comprensión y por ser nuestras fuerzas motivadoras en los momentos difíciles.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, queremos agradecer a Dios a Dios por su guía, fortaleza y bendiciones a lo largo de la realización de esta investigación, seguidamente a nuestro asesor, Ing. Luis Vásquez Ramírez, por su orientación, conocimientos y paciencia a lo largo de todo el proceso. Su experiencia y guía han sido invaluable para darle coherencia a nuestra investigación.

No podemos dejar de mencionar a nuestros amigos y familiares, por su incondicional apoyo emocional y por entender nuestras ausencias y dedicación durante este proceso. Sus palabras de aliento y ánimo nos han impulsado a seguir adelante.

**Tabla de contenido**

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1.    Realidad problemática	11
1.2.    Formulación del problema	31
1.3.    Objetivos	31
1.4.    Hipótesis	31
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	32
2.7    PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	40
CAPÍTULO III: RESULTADOS	43
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	81
REFERENCIAS	87

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Obtención de las muestras seleccionadas .....	34
<b>Tabla 2</b> Ficha Técnica de Instrumento. Protocolo N°01: Aforo de caudal por el método volumétrico .....	36
<b>Tabla 3</b> Ficha Técnica de Instrumento. Protocolo N°02: Aforo de caudal por el método del flotador.....	36
<b>Tabla 4</b> Características de los tipos de flotadores .....	39
<b>Tabla 5</b> Datos de ensayo, caudal real con pendiente $i = 0,5\%$ .....	43
<b>Tabla 6</b> Datos de ensayo, caudal real con pendiente $i = 1\%$ .....	44
<b>Tabla 7</b> Datos de ensayo, caudal real con pendiente $i = 1,5\%$ .....	45
<b>Tabla 8</b> Datos de ensayo, caudal real con pendiente $i = 2\%$ .....	46
<b>Tabla 9</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador madera y pendiente $i = 0,5\%$ .....	47
<b>Tabla 10</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador plástico y pendiente $i = 0,5\%$ .....	48
<b>Tabla 11</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador corcho y pendiente $i = 0,5\%$ .....	49
<b>Tabla 12</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador tecnopor y pendiente $i = 0,5\%$ .....	50
<b>Tabla 13</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador madera y pendiente $i = 1\%$ .....	51
<b>Tabla 14</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador plástico y pendiente $i = 1\%$ .....	52
<b>Tabla 15</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador corcho y pendiente $i = 1\%$ .....	53
<b>Tabla 16</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador tecnopor y pendiente $i = 1\%$ .....	54
<b>Tabla 17</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador madera y pendiente $i = 1,5\%$ .....	55
<b>Tabla 18</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador plástico y pendiente $i = 1,5\%$ .....	56
<b>Tabla 19</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador corcho y pendiente $i = 1,5\%$ .....	57
<b>Tabla 20</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador tecnopor y pendiente $i = 1,5\%$ .....	58
<b>Tabla 21</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador madera y pendiente $i = 2\%$ .....	59
<b>Tabla 22</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador plástico y pendiente $i = 2\%$ .....	60
<b>Tabla 23</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador corcho y pendiente $i = 2\%$ .....	61
<b>Tabla 24</b> Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador tecnopor y pendiente $i = 2\%$ .....	62
<b>Tabla 25</b> Comparación de Caudal real (Método volumétrico) y Caudal experimental (Método del flotador) para una pendiente de $0,5\%$ .....	63
<b>Tabla 26</b> Comparación de Caudal real (Método volumétrico) y Caudal experimental (Método del flotador) para una pendiente de $1\%$ .....	64

<b>Tabla 27</b> Comparación de Caudal real (Método volumétrico) y Caudal experimental (Método del flotador) para una pendiente de 1.5%.....	66
<b>Tabla 28</b> Comparación de Caudal real (Método volumétrico) y Caudal experimental (Método del flotador) para una pendiente de 2%.....	67
<b>Tabla 29</b> Precisión del tipo de flotador madera a diferentes pendientes.....	69
<b>Tabla 30</b> Precisión del tipo de flotador Plástico a diferentes pendientes.....	70
<b>Tabla 31</b> Precisión del tipo de flotador corcho a diferentes pendientes.....	72
<b>Tabla 32</b> Precisión del tipo de flotador tecnopor a diferentes pendientes.....	73
<b>Tabla 33</b> Factor de corrección “K”, en diferentes pendientes y tipo de flotador madera.....	75
<b>Tabla 34</b> Factor de corrección “K”, en diferentes pendientes y tipo de flotador plástico.....	76
<b>Tabla 35</b> Factor de corrección “K”, en diferentes pendientes y tipo de flotador corcho.....	77
<b>Tabla 36</b> Factor de corrección “K”, en diferentes pendientes y tipo de flotador tecnopor.....	78
<b>Tabla 37</b> Tipo de flujo en diferentes pendientes.....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Flujo en Canal Abierto.....	17
<b>Figura 2</b> Sección transversal irregular de un canal natural.....	18
<b>Figura 3</b> Canal artificial prismático y sección transversal.....	19
<b>Figura 4</b> Tipos de secciones transversales regulares.....	20
<b>Figura 5</b> Tipos de Secciones transversales y formulas a utilizar.....	22
<b>Figura 6</b> Clasificación del flujo en canales abiertos.....	23
<b>Figura 7</b> Aforo Volumétrico.....	26
<b>Figura 8</b> Medidor de caudales Parshall.....	29
<b>Figura 9</b> Flujograma de procedimiento de recolección de datos.....	40
<b>Figura 10</b> Flujograma de procedimiento de análisis de datos.....	42
<b>Figura 11</b> Caudal Real vs Caudal Experimental para una pendiente de 0.5%.....	64
<b>Figura 12</b> Caudal Real vs Caudal Experimental para una pendiente de 1%.....	65
<b>Figura 13</b> Caudal Real vs Caudal Experimental para una pendiente de 1.5%.....	67
<b>Figura 14</b> Caudal Real vs Caudal Experimental para una pendiente de 2 %.....	68
<b>Figura 15</b> Nivel de precisión para el tipo de flotador madera a diferentes pendientes.....	70
<b>Figura 16</b> Nivel de precisión para el tipo de flotador plástico a diferentes pendientes.....	71
<b>Figura 17</b> Nivel de precisión para el tipo de flotador corcho a diferentes pendientes.....	73
<b>Figura 18</b> Nivel de precisión para el tipo de flotador tecnopor a diferentes pendientes.....	74
<b>Figura 19</b> Factor de corrección vs Caudal del flotador madera a diferentes pendientes.....	76
<b>Figura 20</b> Factor de corrección vs Caudal del flotador plástico a diferentes pendientes.....	77
<b>Figura 21</b> Factor de corrección vs Caudal del flotador corcho a diferentes pendientes.....	78
<b>Figura 22</b> Factor de corrección vs Caudal del flotador tecnopor a diferentes pendientes.....	79

## RESUMEN

La medición precisa del caudal de los canales permite comprender y controlar el flujo de agua en sistemas de riego, drenaje, suministro de agua y gestión de recursos hídricos. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal evaluar los niveles de precisión alcanzados al medir los caudales en canales mediante el método del flotador. Los datos fueron recolectados en el canal abierto de sección rectangular de la Universidad Privada del Norte – Cajamarca (UPNC), considerando diferentes tirantes, tipos de flotadores y pendientes del canal, además de tener como referencia el método de aforo volumétrico para comparar los resultados obtenidos.

El análisis de los datos obtenidos permitió determinar que el método del flotador proporciona niveles de precisión equivalentes a los del método del aforo volumétrico. Los resultados mostraron que, en general, los niveles de precisión del método del flotador superaron el 75%, con valores que oscilaron entre el 74,64% y el 88,20% en función de la pendiente del canal y del tipo de flotador utilizado; con base en estos resultados se concluye que el método de aforo del flotador es una herramienta confiable y precisa para la medición de caudales en canales rectangulares.

**PALABRAS CLAVES:** Caudal, método volumétrico, método del flotador y canal rectangular.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Una de las principales realidades problemáticas en el mundo de los métodos de aforo de caudales es la falta de estandarización en los métodos de medición; la medición del caudal puede sufrir influencia de diversos elementos, tales como la calidad del equipo utilizado, la ubicación de la estación de medición y la cantidad de agua acumulada. Los métodos utilizados para medir el caudal varían en nivel de dificultad y exactitud, y no todos son apropiados para todas las circunstancias (González, 2016).

La medición de caudal es primordial para la dirección del agua en Latinoamérica, donde la disposición de agua es cada vez más escasa. Los métodos de aforo de caudales pueden variar significativamente en complejidad y precisión, y es importante seleccionar el método más adecuado para cada situación específica (Panez, 2018). En este contexto, se están desarrollando y aplicando cada vez más tecnologías innovadoras para la medición de caudales, con el fin de mejorar la precisión y la accesibilidad de la medición de caudales.

En Perú, el aforo de caudales es una actividad crucial para la gestión adecuada del agua, pero el país enfrenta importantes desafíos en este ámbito. Según (Calderón, 2014), La medición de flujo se vuelve cada vez más difícil debido a factores como la variabilidad del flujo, la falta de recursos para el mantenimiento y calibración de los equipos de medición y la falta de personal capacitado para operarlos. Estos problemas han llevado a una falta de precisión en las mediciones de caudal, lo que a su vez ha generado incertidumbre en la gestión y planificación del agua. Para abordar estos desafíos, se propone la implementación de nuevos enfoques para el aforo de caudales, que incluyen la modelación hidrológica, así

como la capacitación y formación de personal especializado en la operación de equipos de medición.

En Cajamarca, la medición precisa del caudal es esencial para la gestión adecuada del agua en una región que es altamente dependiente de los recursos hídricos. Según (Goicochea , 2013), uno de los principales problemas en la medición de flujo de la región es la falta de estaciones de medición adecuadas y la ubicación irrazonable de las estaciones existentes. Muchas estaciones de medición no están ubicadas en los lugares ideales para medir con precisión el caudal, y esto puede dar lugar a mediciones imprecisas. Además, muchas estaciones de medición no tienen el equipo de medición adecuado, lo que también puede afectar la precisión de las mediciones. Estos problemas han llevado a malas decisiones con respecto a la distribución de los recursos hídricos, lo que puede tener consecuencias negativas para las comunidades y los ecosistemas que dependen del agua.

La medición precisa del flujo es esencial para la planificación y gestión del agua porque la esorrentía es una variable importante para evaluar la disponibilidad de recursos hídricos. Sin mediciones de flujo precisas, es difícil determinar cuánta agua está disponible para diferentes propósitos, lo que puede conducir a decisiones de asignación de agua inexactas y, en última instancia, a un uso ineficiente e insostenible (García et al., 2014).

Además, la falta de mediciones de flujo precisas puede conducir a la sobreexplotación de los recursos hídricos, lo que puede tener consecuencias nefastas para las comunidades y los ecosistemas que dependen del agua. Por lo tanto, es esencial que se utilicen métodos precisos y confiables de aforo de caudales para asegurar una gestión sostenible y eficiente del agua. Por otro lado, el procedimiento del flotador es uno de los criterios más empleados para calcular el caudal de ríos y arroyos. Si bien existen otros métodos de medición de flujo, el método de flotación todavía se usa ampliamente debido a

su simplicidad, bajo costo y facilidad de implementación en el campo. Este método permite la utilización de diferentes tipos de flotadores, desde simples bolas de corcho hasta flotadores más sofisticados, lo que lo hace adaptable a diferentes condiciones de campo (Rueda & Chitiva, 2016).

(Huacca, 2018) en su tesis titulada “Caudales, Aforos y Cálculo de las Persistencias”, en el proceso de medición de caudales utilizando diferentes métodos determino la sección transversal de la corriente y la velocidad a lo largo de ella; llegando a la conclusión que, usando el método del correntómetro como el método del flotador para el aforo, se pueden obtener resultados similares. Sin embargo, se requiere un mayor número de repeticiones de aforo utilizando el método del flotador para lograr una aproximación más cercana a los resultados del correntómetro. Aunque el método del flotador no es tan preciso como el del correntómetro, puede ser una buena opción cuando no se dispone de un correntómetro.

El autor (Callañaupa, 2019) en su tesis “Medición de caudales máximos en los ríos Chancay y Piura y, su influencia en el dimensionamiento de estructuras hidráulicas” concluyó que, los instrumentos de medición, es fundamental que sean manejados por personal capacitado y experto para garantizar la exactitud de los datos. Para esto, se requiere la calibración regular y el mantenimiento adecuado de los equipos. Por otro lado, con relación a las mediciones de campo, es importante evaluar cuidadosamente las condiciones en la zona de aforo de modo que cumpla con las sugerencias de la OMM. Además, se deben incluir las condiciones hidrometeorológicas para evitar la exhibición de los trabajadores e instrumentos a riesgos y garantizar la toma de datos correcta y precisa, especialmente durante períodos de crecida de caudales.

El autor (Placencio, 2018); presentó en su tesis titulada “Determinación de la velocidad del flujo en el río Yanuncay, por el método de flotadores” determino que el

procedimiento del flotador es una técnica precisa y confiable para la medición de caudales en ríos y arroyos en México, incluso en condiciones hidrológicas y topográficas difíciles. Además, se encontró que el uso de diferentes tipos de flotadores no afectó significativamente la precisión de las mediciones, siempre y cuando se utilizaran los flotadores adecuados para las condiciones específicas del sitio; concluyendo que el método del flotador es una técnica eficaz para la medición de caudales y se puede utilizar para evaluar la disponibilidad de recursos hídricos, gestionar y planificar los recursos hídricos y asignar recursos para diferentes propósitos y usuarios.

(Hidalgo, 2017), en su tesis “Guía Práctica Para Aforar en Canales y Cauces Naturales, Utilizando Instrumentación Básica y De Bajo Costo” concluyó que es crucial considerar las propiedades físicas y el tipo de flujo en el canal al seleccionar el sistema de medición hidrológica más efectivo. La velocidad del flujo depende de la pendiente y del nivel del agua en el cauce. Además, el aforo de caudal debe realizarse de manera meticulosa, ya que la calidad de los datos es crucial, por ello se deben seguir procedimientos ajustados y realizar mediciones in situ en lugares adecuados. Así mismo, la elección del método de aforo debe hacerse después de caracterizar el cauce y conocer las condiciones en las que se realizará el trabajo.

El autor (Rueda & Chitiva, 2016), en su tesis titulada “Análisis Comparativo de Tres Métodos Para la Medición de Caudales en Canales Abiertos” evaluó la precisión de tres métodos de aforo (molinete, flotadores y trazador) en dos puntos de monitoreo ubicados en los ríos Fucha y Arzobispo con carrera séptima.

Concluyendo que, en el caso de la sección medida en la cuenca del río Fucha, se encontró que los tres métodos eran adecuados, pero el molinete fue el más preciso, ya que se asemejó más a los registros históricos de caudal. Los aforos realizados con la metodología de flotador

dieron valores significativamente más altos que los obtenidos con el molinete. Las diferencias en los valores obtenidos oscilaron entre 72.38 y 132.28 L/s en el caso de las bolas de ping pong y entre 99.91 y 155.71 L/s en el caso de la tabla flotante. En el punto de monitoreo en el río Arzobispo, los tres métodos de aforo también fueron viables, pero los aforos realizados con el molinete fueron los más confiables y se asemejaron más a los registros históricos de caudal. Los aforos realizados con la metodología del flotador proporcionaron valores considerablemente más altos que los obtenidos con el molinete, con diferencias entre 2.3 y 3.3 L/s en el caso de las bolas de ping pong y entre 2.4 y 3.6 L/s en el caso de la tabla flotante.

(Mejía & Rosas, 2015), en su tesis “Calculo de la velocidad media y el caudal con base en la velocidad superficial del agua en pequeñas corrientes”; este método se puede utilizar para cálculos rápidos, que no requieren una gran precisión. Sin embargo, comparando el error medio de la suma de ambos sistemas, se puede finalizar que el procedimiento empleado en este trabajo es más exacto en cuanto a los datos obtenidos en cada sitio evaluado del río Negro. La comparación de los resultados obtenidos con el método de flotación y otros sistemas de medida de flujo, como el sistema de la curva de calibración y el método de la velocidad del sonido, muestra que el método de flotación brinda resultados comparables en términos de exactitud y precisión. Además, el uso de diferentes tipos de flotadores permitió adaptarse a diferentes condiciones de campo, lo que lo hace una técnica versátil y adaptable. Además, destaca la importancia del método del flotador de caudales como una herramienta ventajosa y constante para la medición de caudales en ríos.

Los autores (Guzmán & Vera, 2013), en su tesis titulada “Estudio del Intercambio de Agua Superficial y Agua Subterránea en el Río Cumbe” realizaron la medición de caudales con tres métodos: aforos con instrumentos de medición de flujo Molinete, Flowtracker y

sensor de nivel. Durante el estudio realizado concluyeron que, los aforos realizados con profundidades bajas, el Molinete no tiene buena presión al medir la velocidad. Por otro lado, aunque el Flowtracker es un aparato de exactitud, presenta un inconveniente al acercarse a los filos, porque puede dar datos falsos y desfavorables conforme al reflejo del aviso de los campos o algunos obstáculos como la flora, por lo que se recomienda una distancia mínima entre 12-15 cm. Así mismo, comparando los datos de caudal obtenidos en las secciones de aforo empleados en esta investigación, se determinó que la hipótesis propuesta se cumple, ya que se produce un intercambio de flujo en la zona hiporréica, lo que se traduce en una disminución y aumento del caudal.

(Nij, 2010); en su tesis titulada “Comprobación y Comparación de la Eficiencia de Aforo por Molinete, Flotadores y Trazador en un Cauce Pequeño” determinó que, el uso correcto del molinete depende en gran medida de su calibración, lo cual es crucial para obtener mediciones precisas y confiables de las velocidades en una sección transversal del río. Por otro lado, aunque el método del molinete tiene algunas limitaciones en la sección calculada, sigue siendo uno de los procedimientos más eficaces debido a que permite ver el proceder de las curvas de uniforme velocidad, algo que no es posible con el uso de trazadores. Aunque el método de aforo por trazadores es fiable, presenta la desventaja de no ser adecuado para tramos con mucha carga de sedimentos, ya que esto puede modificar las interpretaciones o la aplicación de sal aplicada no sea percibida. Concluyendo que, los aforos realizados con trazadores durante las pruebas, se observó que la introducción constante es más precisa que la introducción puntual, porque en dos ocasiones los datos de caudal estuvieron significativamente elevados a comparación de los obtenidos con otros métodos.

Como conceptos principales que servirán para dar desarrollo a la investigación se propone los siguientes:



Los líquidos son elementos que pueden ser líquidos o gaseosos, pero con baja cohesión molecular formarán un precipitado que los contiene. La corriente de agua en el canal son: flujo de canal abierto o flujo de tubería, aunque estos dos tipos de tuberías son semejantes en varios elementos, se distinguen en que el primero tiene un área de contacto entre el líquido y la atmósfera donde la superficie se encuentra la tensión y fuerzas que pueden formarse en presencia de sedimentos; en el segundo caso, el líquido está confinado y fluye bajo la influencia de la fuerza que actúa sobre él, como la gravedad, la resistencia, la presión y la viscosidad, ya que es un espacio cerrado (Castellanos et al., 2017).

### Figura 1

*Flujo en Canal Abierto.*



Nota: La figura representa el flujo constante en un canal abierto. Tomado de (Zapata, 2019).

Los canales son vías de conducción, donde el agua se desplaza por efecto de la gravedad sin ninguna presión adicional; estos conductos son:

- a) **Canales naturales:** Incluyen todas las vías fluviales naturales en la Tierra de diferentes tamaños como arroyos de montaña hasta enormes y diminutos riachuelos, ríos, arroyos y lagunas. Los acuíferos de superficie libre también se consideran canales naturales y sin obstrucciones, es decir una sección transversal de cauce natural es

regularmente desigual y varía a lo largo de su recorrido, al igual que la dirección y las características y rugosidad del cauce. (Torres & Vivas, 2018).

## Figura 2

*Sección transversal irregular de un canal natural.*

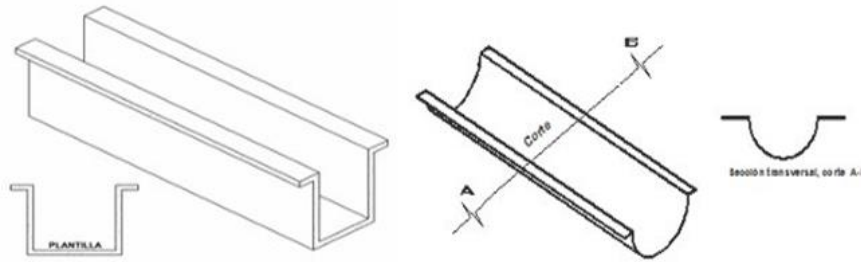


Nota: Se puede apreciar la sección de un canal natural el cual al ser de tierra tiende a tener una forma irregular. Extraído de (Rodríguez, 2023).

**b) Canales artificiales:** Todos los cauces realizados se ejecutan por el esfuerzo humano, entre ellos: canales de riego, canales de transporte, canales de control de inundaciones, canales hidroeléctricos, canales de tormenta y domésticos, canales de drenaje, abrevaderos de madera, zanjas de camino, zanjas de drenaje agrícola y otros canales del modelo construido en laboratorio. El canal artificial generalmente se diseña con una geometría regular (prismática), es decir, los canales con una sección transversal constante y una pendiente de fondo constante se denominan canales prismáticos. El término "sección transversal del canal" significa una sección transversal perpendicular a la dirección del flujo. (Torres & Vivas, 2018).

**Figura 3**

*Canal artificial prismático y sección transversal.*



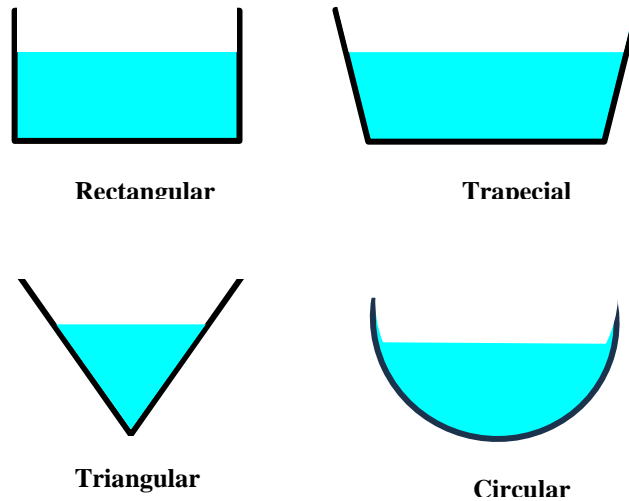
Nota: Apreciamos un canal artificial prismático el cual puede estar hecho de diferentes materiales entre ellos concreto, madera, etc. Extraído de (Rodríguez, 2023).

Las más populares son las siguientes secciones:

- ✓ **Sección trapezoidal:** Se emplea en canales de tierra ya que proporcionan la inclinación adecuada para estabilizar, así como en canales recubiertos.
- ✓ **Sección rectangular:** Ya que el rectángulo tiene orillas perpendiculares, se emplea comúnmente en canales hechos de componentes de carga, acueductos de madera y canales cortados en piedra.
- ✓ **Sección triangular:** Se utiliza para la pavimentación de zanjas en pistas, pequeños canales de suelo, sobre todo por la comodidad del trazado, como alcantarillas de las carreteras.
- ✓ **Sección parabólica:** En ocasiones se utilizan en canales revestidos y se parece mucho a la silueta de varios canales naturales y de tierra antiguos.
- ✓ **Sección circular:** La forma circular es la sección transversal más empleada para alcantarillados y alcantarillas de tamaños pequeño y mediano (Gutierrez, 2020).

#### Figura 4

*Tipos de secciones transversales regulares.*



Nota: Podemos apreciar la representación gráfica de las principales secciones transversales. Extraído de (Ardila, 2022).

Según (García, 2016) las características geométricas de una sección transversal de canal que se pueden determinar completamente en función de la geometría de la sección y el fondo del flujo. Para secciones constantes y sencillas, los elementos geométricos se formulan aritméticamente, pero para secciones complejas no se describe con una fórmula sencilla. Por lo tanto, existen varias interpretaciones de diferentes componentes geométricos de fundamental valor:

- **LA PROFUNDIDAD DE FLUJO o TIRANTE (y):** Es la distancia vertical desde el punto más bajo de la sección del canal hasta la superficie abierta, la profundidad de flujo de la sección es el fondo del flujo perpendicular a la trayectoria de éste.
- **EL ANCHO SUPERFICIAL (T):** Es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

- **EL AREA MOJADA (A):** Es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección del flujo.
- **EL PERIMETRO MOJADO (P):** Es la distancia desde la intersección de la superficie húmeda del canal y el plano horizontal perpendicular al flujo.
- **EL RADIO HIDRAULICO (R):** Es la relación entre el área mojada y la circunferencia mojada:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{b * d}{b + 2y}$$

- **LA PROFUNDIDAD HIDRÁULICA (D):** Es el área mojada y ancho en la superficie:

$$D = \frac{A}{T}$$

- **EL FACTOR DE SECCION PARA EL CALCULO DE FLUJO CRITICO (Z):**  
Es el producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}}$$

Para el coeficiente de Manning, se emplea la subsiguiente fórmula:

$$n = \frac{AS^{\frac{1}{2}}R^{\frac{2}{3}}}{Q}$$

Donde:

Q: Caudal ( $m^3/s$ )

A: Área Hidráulica del canal ( $m^2$ )

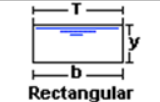


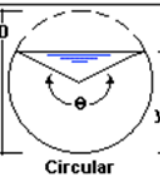

R: Radio Hidráulico del canal ( $m$ )

S: Pendiente del canal ( $m/m$ )

n: Coeficiente de rugosidad de Manning, depende del tipo de material

**Figura 5**

*Tipos de Secciones transversales y formulas a utilizar.*

Tipo de sección	Área A (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Nota: Se puede apreciar los tipos de secciones, área, perímetro mojado, radio hidráulico y su espejo de agua para las secciones transversales. Extraído de (UNI, 2018).

Además, la pendiente de un canal es esencial para el diseño y el funcionamiento eficaz de los canales porque afecta directamente al caudal, a la capacidad de transporte de sedimentos y a la eficacia de la distribución del agua; tener una pendiente adecuada garantiza un caudal constante y uniforme, evitando la acumulación de sedimentos y minimizando las pérdidas de energía.

Por otro lado, los canales por su función adoptan las siguientes denominaciones según (Autoridad Nacional del Agua, 2010):

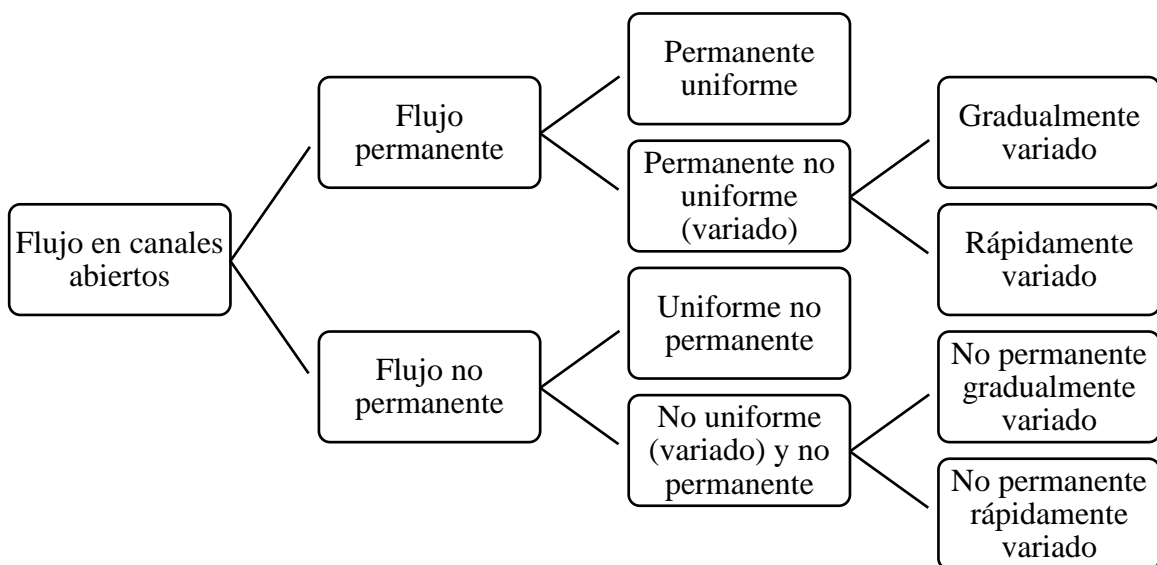
- ✓ **Canal de primer orden.** Es un canal principal o ramal que siempre se coloca con una pendiente mínima y generalmente solo se usa en un lado cuando se llega a una colina en el otro lado.

- ✓ **Canal de segundo orden.** Denominados desvíos, son caudales que salen del cauce principal y los caudales que entran en ellos se distribuyen a caudales secundarios, el área de riego que sirve al caudal se denomina unidad de riego.
- ✓ **Canal de tercer orden.** Conocidos como colectores secundarios y que fluyen desde los canales laterales.

Los flujos se clasifican en permanente y no permanente. Cuando es permanente la profundidad de flujo no cambia o es estable durante un cierto periodo de tiempo y es no permanente a medida que la profundidad cambia con el tiempo. Por lo tanto, el flujo puede ser uniforme o no uniforme (variado) cuando el tirante es el mismo en cada sección del canal se considera uniforme, caso contrario, si cambia, es no uniforme. Para una mejor comprensión, se muestra en la Figura 6 un esquema de la clasificación del flujo en canales abiertos tomando como criterio el tiempo y el espacio (Muñoz, 2021).

**Figura 6**

*Clasificación del flujo en canales abiertos.*



Por otro lado, se pueden categorizar los estados de un flujo de dos maneras distintas: a través de los efectos de la viscosidad y de los efectos de la gravedad. En cuanto a los efectos de la gravedad, se refleja mediante la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas gravitatorias. Esta proporción, es identificada como el número de Froude en donde el flujo se puede clasificar como subcrítico, crítico o supercrítico.

$$N_F = \frac{v}{\sqrt{gD_H}}$$

Donde:

$v$  = velocidad del fluido en (m/s)

$g$  = gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$D_H$  = profundidad hidráulica (m)

$N_F < 1$ : *Flujo Subcritico*

$N_F = 1$ : *Flujo critico*

$N_F > 1$ : *Flujo Supercritico*

Por su parte, según los efectos de la viscosidad, el flujo puede manifestarse como laminar, turbulento y estado de transición.

**El flujo laminar**, es cuando las partículas del fluido exhiben un movimiento tranquilo y definido a lo largo de recorridos específicos, conocidos como líneas de corriente, mientras que las capas extremadamente delgadas del fluido parecen desplazarse suavemente sobre las capas adyacentes.

**El estado de transición**, las características de la corriente presentan una combinación de elementos tanto del flujo laminar como del turbulento. En este punto de



transición, las partículas del fluido pueden exhibir tanto movimientos ordenados como irregulares, y las trayectorias de la corriente no siguen un patrón claramente definido

**El flujo es turbulento**, es cuando las partículas del fluido experimentan trayectorias irregulares, careciendo de un patrón de movimiento definido y calmado, las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando remolinos aperiódicos.

El caudal es el total del fluido que transita a través de un sector del ducto, ya sea por un canal, tubería, río, oleoducto, etc.; en un determinado periodo de tiempo o duración, generalmente se reconoce con el volumen que pasa por un área dada en cierto tiempo. El cálculo práctico del caudal en distintas obras hidráulicas tiene una consideración muy importante, por lo que de estos cálculos y mediciones dependen frecuentemente del útil funcionamiento de los sistemas hidráulicos y también es para asegurar una óptima seguridad de dichas estructuras (Sánchez, 2014).

La medición de caudal tiene por objeto determinar la cantidad de agua que pasa a mediante la sección transversal del tanque en un período de tiempo definido. Para realizar las mediciones, mida la sección transversal en el punto donde se medirá la velocidad del agua para obtener el valor del flujo de agua por unidad de volumen por unidad de tiempo a partir de la relación matemática (velocidad por unidad de tiempo).

Según los métodos de aforo más empleados son:

1. Método volumétrico
2. Medidor Parshall
3. Método de vertederos y orificios
4. Método de sección-velocidad, calculando la velocidad con Flotador.

El **método volumétrico** es la manera más fácil de calcular caudales pequeños, para realizar una medición por este método, se requiere un envase graduado. Para ello se recomienda utilizar un recipiente con báscula y cronómetro, se medirá el tiempo aproximado de llenado del envase. El proceso se ejecutará al menos 5 veces, de las cuales se toma el tiempo promedio. Al dividir la capacidad del recipiente (litros) por el tiempo empleado (segundos) se obtiene el caudal en l/s, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q = Caudal (L/s)

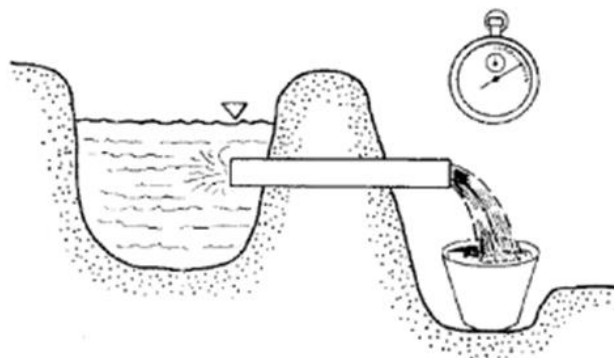
V = Volumen del depósito (L)

T = Tiempo promedio (s)

Este método mide el caudal de manantiales, tanques, sifones, cajas de empalme, caudal de ranura, el caudal de varios aspersores (MINAGRI, 2015).

### Figura 7

*Aforo Volumétrico.*



Nota: En la figura se muestra claramente el proceso para la realización del aforo volumétrico.

Extraído de (Espiritu, 2014).

El **método de la sección-velocidad**, se usa más comúnmente para medir el flujo de agua en flujos superficiales como ríos y arroyos. Se trata de medir el caudal en distintos tramos de la sección transversal del flujo de agua. También se mide la parte hidráulica, lo que admite calcular el área hidráulica, se estima el caudal mediante la ecuación de continuidad. Para encontrar la velocidad se tienen diferentes métodos, uno de ellos es:

El **método del flotador** es práctico y simple, pero esto solo da una estimación aproximada del flujo, ya que se deben evaluar la rapidez del agua y el área del canal. Por ello, este método requiere de un objeto que sirve como flotador, este objeto puede ser una pelota de plástico, una pequeña botella de plástico, un trozo de rama de un árbol, o incluso una porción de madera que flote por voluntad propia en el agua. Es importante que el material no sea demasiado liviano y que esté sumergido por la mitad debajo de la lámina de agua para evitar que el viento afecte su dirección; esto nos permitirá calcular la velocidad del flujo de agua.

(Mejía & Rosas, 2015), nos indica las fases de medición del caudal por medio de flotadores:

- Se selecciona un punto de inicio (A) y un punto final (B) donde el flotador realizará el recorrido.
- Se elige el tramo a utilizar con la ayuda de una wincha.
- Se prepara el flotador (una pequeña botella de plástico, un trozo de rama de un árbol, o incluso un trozo de madera).
- Seguidamente se coloca el flotador a algunos metros antes del tramo elegido y con un cronómetro se toma el tiempo que tarda el flotador en llegar desde el punto A al punto B.

Este proceso se ejecutará 5 veces como mínimo y luego se tendrá el tiempo promedio, que se empleará en el cálculo del caudal de la fuente (MINAGRI, 2015).

Por lo que, para el cálculo de la velocidad media y el caudal estimado se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$Q = V_m \times A$$

Donde:

Q = Caudal expresado en (m<sup>3</sup>/s)

V<sub>m</sub> = Velocidad media (m/s)

A = Área hidráulica de la sección transversal de la fuente hídrica en (m<sup>2</sup>)

Método Parshall desarrollado por Ralph Parshall (1920), permite determinar la cantidad de agua que fluye por una parte de un cauce en particular, se utiliza en la medición hidrológica de canales y ríos, se aconseja para canales de riego con pendientes pequeñas, en pozos de alcantarillado, ya que no es recomendable colocar estructuras de varios tipos de rellenos sanitarios que cambien el régimen de flujo (Romero, 2021). La canaleta Parshall está dividida en tres partes; estrechamiento de fondo plano, desfiladero de fondo inclinado hacia abajo y extensión de fondo inclinado hacia arriba, ver Figura 8. Por tanto, se establece una relación matemática, que es la siguiente expresión:

$$Q = C \times (H)^n$$

Donde:

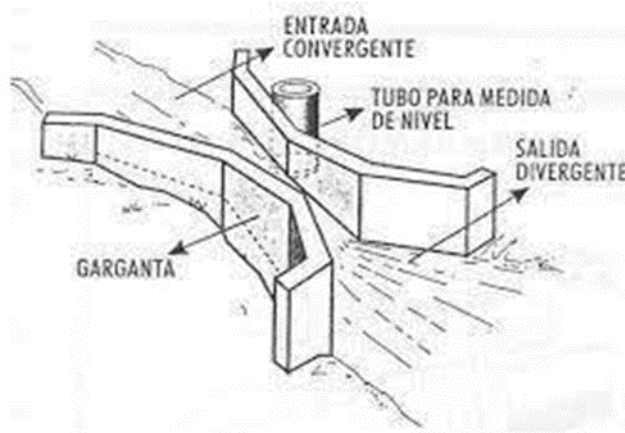
Q = Caudal m<sup>3</sup>/s

H = Altura de la lámina de agua

C y n = Coeficientes que dependen de las dimensionales del canal.

**Figura 8**

*Medidor de caudales Parshall.*



Nota: Podemos observar detalladamente las partes fundamentales del medidor de caudales Parshall el cual es recomendado emplear en canales de poca pendiente. Extraído de (Rios, 2015).

El **método de vertederos y orificios** consiste en colocar un deflector de material, ya sea de hormigón, plástico o metal, frente al flujo, de modo que el agua fluya a través de una sección transversal geométrica conocida o el llamado agujero, que representa un agujero. medida predeterminada; Conociendo la forma del agujero, la sección transversal hidráulica que hace que el agua fluya a medida que pasa a través de la sección y la velocidad de caída libre teórica, estime la cantidad de agua en la fuente de agua.

Existen varias formas de orificios las cuales son:

- Vertedero rectangular.
- Vertedero triangular.
- Vertedero trapezoidal.
- Vertedero circular.

Finalmente, por lo anteriormente expuesto, en esta investigación se pretende analizar cuáles son los niveles de precisión en medición de caudales en canales utilizando el método del flotador. Esta investigación se justifica mediante la integración de aspectos teóricos y prácticos, ya que contribuye al avance del conocimiento al evaluar la precisión de este método de medición, validando teorías previas en hidrología y aforo de caudales. Además, desde un contexto práctico, resulta esencial para la toma de decisiones en el diseño y gestión de infraestructuras hidráulicas, mejorando la eficiencia en la distribución de caudal y promoviendo la sostenibilidad de los recursos hídricos. Así mismo, beneficia tanto a la comunidad académica como a profesionales para proporcionar una conexión directa entre los conceptos teóricos y la aplicación práctica en la medición de caudales, con implicaciones significativas para el campo y la sociedad en general.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los niveles de precisión en medición de caudales en canales de sección rectangular utilizando el método del flotador?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

- ❖ Determinar los niveles de precisión en medición de caudales para canales de sección rectangular utilizando el método del flotador.

### 1.3.2 Objetivo Específicos

- ❖ Determinar la medición del caudal para un canal de sección rectangular en laboratorio utilizando el método de aforo volumétrico.
- ❖ Determinar los caudales para un canal de sección rectangular de pendiente variable para diferentes combinaciones de pendiente, tirante y tipo de flotador.
- ❖ Comparar los resultados obtenidos con cada uno de los métodos de aforo evaluados.

## 1.4. Hipótesis

El nivel de precisión del caudal determinado con el método del flotador en canales de sección rectangular llega como máximo al 75% del caudal real.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1 Tipo de investigación**

#### **2.1.1 De acuerdo con su propósito**

Según su propósito del tipo de investigación es aplicada, porque a través de conocimientos aprendidos, busca conocer los niveles de precisión en la medición de caudales en canales utilizando el método del flotador; asimismo los resultados pueden ser aplicados para brindar solución directa a los problemas que se presentan (Sánchez et al., 2018).

#### **2.1.2 De acuerdo con su profundidad**

Por su profundidad, la investigación es correlacional, lo que implica encontrar la conexión entre la variable independiente (tipo del flotador) y la variable dependiente (caudal). La correlación de dos variables para averiguar la relación entre ellas para estudiar la influencia de la variable independiente sobre la dependiente (Mousalli, 2015).

#### **2.1.3 De acuerdo con la naturaleza de datos**

Es del tipo cuantitativo, ya que se recopilan y revisan los datos a través de los conceptos y variables medibles de una manera estructurada, lo que implica utilizar herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para conseguir resultados; también permite adquirir conocimientos fundamentales para determinar los niveles de precisión en la medición de caudales en canales utilizando el método del flotador (Alan & Cortez, 2018).



### **2.1.4 De acuerdo con la manipulación de variable**

Es del tipo experimental, por lo que las variables de investigación serán manipuladas. Según (Carballo & Guelmes, 2016); dicen que la variable independiente es aquella que el investigador utiliza para expresar y describir el propósito de la investigación, mientras que la variable dependiente es la que cambia bajo la influencia de la variable independiente.

## **2.2 Diseño de investigación**

Es una investigación del tipo transversal, pues los datos se obtienen una sola vez, en un período de tiempo, para contestar la pregunta de investigación (Hernández et al., 2014).

## **2.3 Variable de investigación**

Para la presente investigación tenemos las siguientes variables:

❖ Variables Independientes:

- Tipo del flotador
- Tirante en el canal
- Pendiente del canal

❖ Variable Dependiente: Caudal

## **2.4 Población y muestra**

### **2.4.1 Población:**

Según (Arias et al., 2016); la población de estudio es un grupo de sucesos, concreto, limitado y asequible, que conformara el referido para la elección de la muestra que cumple con una progresión de puntos de vista preestablecidos. Por consiguiente, la población de esta investigación está establecida por todas las combinaciones de caudal, pendientes y tirantes considerados en la investigación.

## 2.4.2 Muestra

Según (Hernández, 2021); “El muestreo no probabilístico por conveniencia se basa en la elección arbitraria de los participantes, lo que permite al investigador decidir el tamaño de la muestra de manera conveniente. En este estudio, la muestra es igual a la población considerándose 20 combinaciones de tirante y pendiente diferentes teniendo un total de 100 muestras realizados en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte – Cajamarca (UPNC).

**Tabla 1**

*Obtención de las muestras seleccionadas*

Pendientes	Tirantes				
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
0.5 %	5	5	5	5	5
1 %	5	5	5	5	5
1.5 %	5	5	5	5	5
2 %	5	5	5	5	5
<b>TOTAL</b>	100 muestras				

## Materiales, instrumentos y métodos

### 2.5.1 Materiales

- Laptop.
- Impresora.
- Útiles de Escritorio.
- Zapatos punta de acero.
- Casco.
- Chaleco.

### **2.5.2 Instrumentos de laboratorio**

- El canal abierto de sección rectangular de la Universidad Privada del Norte – Cajamarca (UPNC).
- Tipos de flotadores.
- Cronómetro.

### **2.5.3 Método**

Experimental, con la combinación de las tres variables independientes para analizar la variabilidad en la variable dependiente.

## **2.5 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **Técnicas de recolección de datos**

Esta investigación tiene como técnica de recolección de datos la observación experimental, porque refina los datos bajo condiciones que están relativamente bajo el control del investigador, especialmente porque puede manipular las variables (Hernandez & Duana, 2020). Por lo que esta investigación se realizó en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte Cajamarca, de las cuales se obtendrán diferentes datos para el estudio.

### **Instrumento de recolección de datos**

Según (Arias, 2020), los instrumentos son cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para conseguir, examinar o acumular la información. En esta investigación, se utilizaron como instrumentos de recolección de datos los siguientes recursos:

Los instrumentos para la recolección de datos fueron:

Protocolo N° 01: Aforo de caudal por el método volumétrico (Ver anexo 01)

Protocolo N° 02: Aforo de caudal por el método del flotador (Ver anexo 02)

**Tabla 2**

*Ficha Técnica de Instrumento. Protocolo N°01: Aforo de caudal por el método volumétrico*

<b>Ficha Técnica de Instrumento</b>	
Nombre:	Protocolo N° 01: Aforo de caudal por el método volumétrico
Autores:	Bach. Cerdan Mendoza Jhony Bach. Valdivia Pompa Henry Alexander
Administración:	Individual
Duración:	5 minutos aproximadamente
Aplicación:	En canales de sección rectangular para medir el caudal

*Nota.* La tabla, resume los datos de la ficha técnica del instrumento.

**Tabla 3**

*Ficha Técnica de Instrumento. Protocolo N°02: Aforo de caudal por el método del flotador*

<b>Ficha Técnica de Instrumento</b>	
Nombre:	Protocolo N° 02: Aforo de caudal por el método del flotador
Autores:	Bach. Cerdan Mendoza Jhony Bach. Valdivia Pompa Henry Alexander
Administración:	Individual
Duración:	5 minutos aproximadamente
Aplicación:	En canales de sección rectangular para medir el caudal

*Nota.* La tabla, resume los datos de la ficha técnica del instrumento.

Para llevar a cabo la validación del instrumento de recolección de datos utilizada en este estudio se aplicó el Coeficiente Alfa de Cronbach, un indicador ampliamente utilizado en investigaciones que evalúa la consistencia interna de un cuestionario o instrumento de medición. Esta herramienta es esencial para determinar la validez y confiabilidad del instrumento, lo que garantiza la exactitud de los datos recopilados. Para ello se empleó el Formato para la validación de instrumentos de recolección de datos (Ver anexo 03).

Es importante señalar que el instrumento utilizado en esta investigación fue evaluado por nueve (9) expertos, docentes de la Universidad Privada del Norte, todos ellos ingenieros civiles de profesión (ver Anexo 4), con el fin de asegurar su validez y confiabilidad. Los resultados de este cálculo arrojaron un valor de Alfa de Cronbach de 0,975 para la encuesta en su conjunto, lo que indica que nuestro instrumento es de excelente consistencia interna y confiabilidad. El procedimiento se llevó a cabo siguiendo el Formato para cálculo de validez y confiabilidad de instrumentos de recolección de datos (ver Anexo 05). El resultado obtenido, tanto en términos de validez como de confiabilidad, ratificó que el instrumento era adecuado para ser empleado, y que el grado de confiabilidad es ALTA.

### **Técnicas e instrumentos de análisis de datos**

Los datos se analizaron con estadística descriptiva ya que se ha utilizado gráficos y tablas en el software Excel, y con la ayuda de fórmulas matemáticas se obtiene el nivel de precisión. Además, se emplearán documentos de estudio para ordenar los datos de acuerdo con cada objetivo que se presenta en esta investigación para encontrar los niveles de precisión en la medición de caudales en canales

utilizando el método del flotador, los cuales se presentan en los anexos del presente documento.

## 2.6 Procedimiento de recolección de datos

El procedimiento para seguir para preparar la prueba para esta investigación es el siguiente:

### **Método volumétrico:**

- En primer lugar, se verifica la funcionalidad del equipo de laboratorio de hidráulica denominado Canal de Pendiente Variable.
- Registramos las medidas del canal: ancho, profundidad y longitud.
- Se verifica el recipiente graduado, el cuál es de plástico con una capacidad de 100 litros, para asegurarse que esté sin daños que puedan afectar la precisión de las mediciones.
- Luego se procede a llenar el canal con un flujo constante y una vez estabilizado verificamos que el canal este a una pendiente de 0.5%, además de utilizar una regla metálica para la medición del tirante de agua.
- Seguidamente se procede a tomar 5 mediciones de aforo volumétrico para el primer tirante.
- Repetimos el proceso para las pendientes restantes (1%, 1.5% y 2%), al mismo tiempo se utiliza los protocolos previamente elaborados para garantizar la consistencia en la recopilación de datos.

### **Método del Flotador:**

- Una vez terminado el aforo volumétrico, el siguiente paso es llevar a cabo el aforo por el método del flotador, asegurándonos de que el canal esté lleno con un flujo constante y verificando la medición inicial del tirante de agua.
- Se procede a realizar la selección del tipo de flotador previamente establecidos en el siguiente orden, material, peso y dimensiones adecuados para la medición.

**Tabla 4**

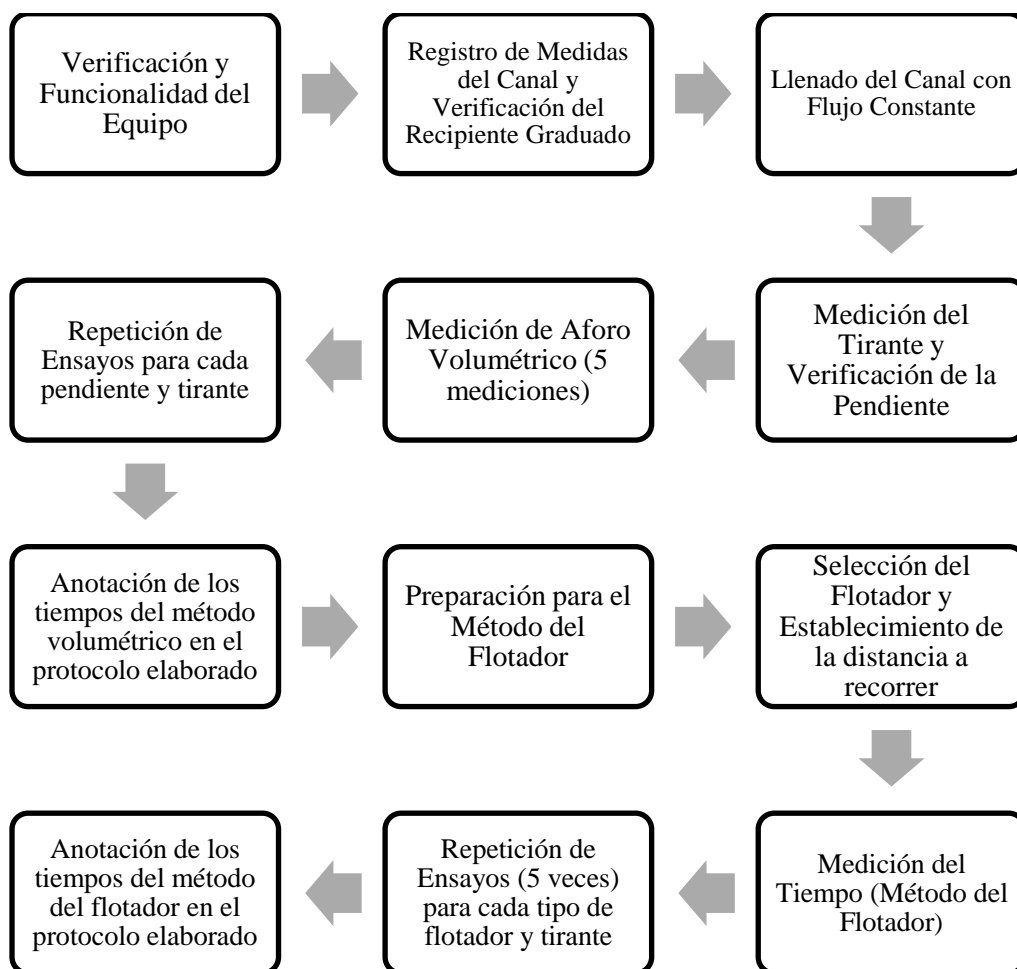
*Características de los tipos de flotadores*

Tipo de flotador	Peso (g)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Densidad ( $\rho$ )
Madera	10.53	51.06	25.28	13.72	0.595
Plástico	5.77	52.07	32.93	13.53	0.249
Corcho	6.16	62.45	18.28	17.36	0.311
Tecnopor	0.85	74.62	19.72	16.89	0.034

- Luego se establece un punto inicial y un punto final de referencia, donde los flotadores realizan su recorrido.
- Colocamos el primer flotador aguas arriba del punto inicial de referencia en el canal. Una vez colocado, iniciamos el control del tiempo utilizando un cronómetro; durante este período, es esencial garantizar que el flotador se desplace sin obstáculos ni choques contra las paredes del canal.
- Detenemos el cronómetro cuando el flotador alcanza el punto final de referencia y anotamos el tiempo en un protocolo indicado en los anexos.
- Se repite el proceso de 5 veces para cada uno de los flotadores, tirantes y pendientes seleccionados. Es importante asegurarse de que los experimentos se realicen en las mismas condiciones.

**Figura 9**

*Flujograma de procedimiento de recolección de datos*



## 2.7 Procedimiento de análisis de datos

El procedimiento de análisis de datos se realizó de la siguiente manera:

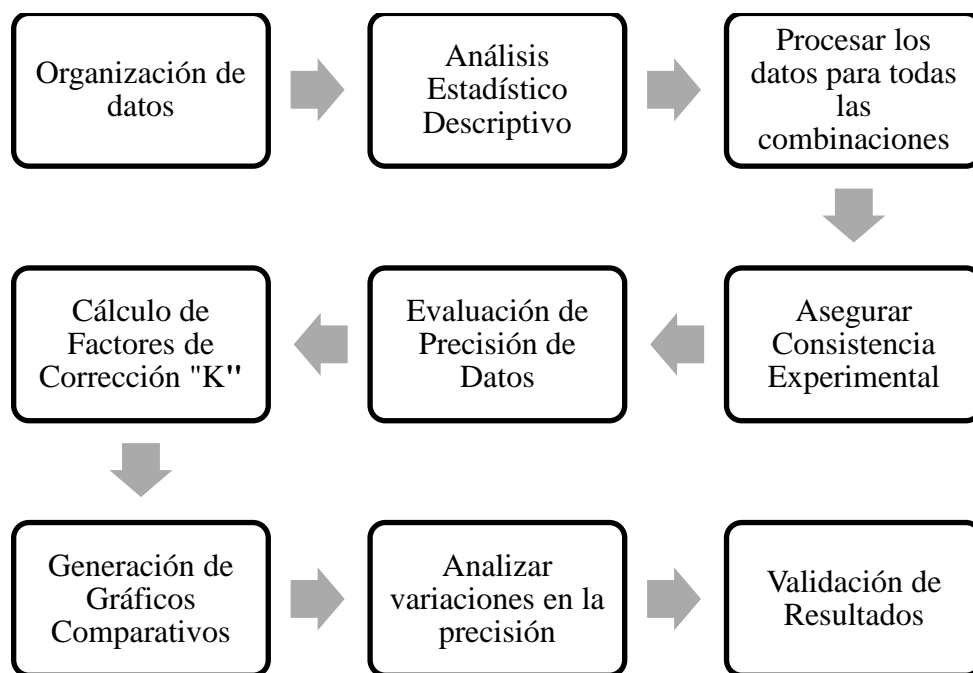
- a) Se procedió a estructurar y organizar todos los datos de aforo recopilados durante las pruebas en el laboratorio. Este proceso incluyó la aplicación de los protocolos de aforo de caudales para garantizar la consistencia y confiabilidad de los datos.
- b) Una vez recopilados los datos, se realizó un análisis estadístico descriptivo para cada conjunto de datos correspondiente a cada tipo de flotador y pendiente específica.



- c) En total, se procesaron 100 datos a lo largo de todas las combinaciones de pendientes y tipos de flotadores evaluados. Este número abarca todos los aforos realizados con cada método, tanto el volumétrico como el del flotador.
- d) La confianza en los resultados se basa en la consistencia y repetibilidad de las mediciones. Durante las pruebas, se mantuvo un estricto control de las condiciones experimentales, asegurando que se cumplieran los protocolos de aforo establecidos
- e) Se evaluó la precisión de los datos mediante el cálculo de los porcentajes de error entre los caudales aforados mediante el método del flotador y los caudales aforados volumétricamente.
- f) Asimismo, se obtuvo factores de corrección "K" específicos para cada tipo de flotador y pendiente. Estos factores fueron obtenidos a partir de análisis para mejorar la precisión de los caudales calculados por el método del flotador.
- g) Para facilitar la interpretación de los resultados, se realizaron gráficos comparativos entre los caudales volumétricos medidos (caudal real) y los caudales calculados a través del método del flotador (caudal experimental).
- h) Se llevó a cabo un análisis minucioso de las tendencias observadas en los resultados, considerando las variaciones en la precisión para diferentes combinaciones de pendiente y tipo de flotador.
- i) Se extrajeron conclusiones relevantes que respaldan la hipótesis planteada y los objetivos de la investigación.
- j) Los resultados obtenidos fueron validados mediante comparaciones con investigaciones previas especializada en el área. Esta validación adicional confirmó la coherencia y fiabilidad de los resultados alcanzados en esta investigación.

**Figura 10**

*Flujograma de procedimiento de análisis de datos.*



Por otro lado, como lo indica (Salazar et al., 2018), es necesario tener en consideración varios aspectos éticos con los que pudimos desarrollar esta investigación, donde podemos mencionar:

- Honestidad: llegar al fondo de los resultados sin que estos sean modificados y además se basa tenemos que todas las fuentes sean reales.
- Veracidad: Todos los datos son reales, ya que se ha buscado la información que se requiere para realizar dicho proyecto.
- Respeto: a los diferentes autores, a lo que producen y fomentan sus diversas críticas tiene que haber respeto de uno con el otro, ya que nos comparten su conocimiento.
- Valor Científico: Inicia esfuerzos que mejoran las condiciones de vida o el bienestar de las personas y crean conocimiento que puede brindar una oportunidad para superar o resolver un problema.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente debido a la falta de estandarización en los métodos de medición de caudales en canales es que se realiza esta investigación para determinar los niveles de precisión en medición de caudales en canales de sección rectangular utilizando el método del flotador. Además, se han recopilado datos de diferentes tirantes del caudal, considerando variaciones en las pendientes del canal con el fin de evaluar y comparar la precisión en las mediciones bajo condiciones hidráulicas variables. Debido a esto, se plantea realizar ensayos en el canal de pendiente variable de sección rectangular de la UPNC.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir de los ensayos llevados a cabo utilizando el método de aforo de caudal volumétrico, asumiendo que es el caudal real, estos resultados incluyen mediciones de caudal en diversas condiciones hidráulicas, tomando en cuenta tanto la variación de pendiente como de tirante del canal

**Tabla 5**

*Datos de ensayo, caudal real con pendiente  $i = 0,5\%$ .*

Prueba	Tirante (m)	Medición	Volumen (l)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Caudal (l/s)
1	0,073	1°	100	19,03	19,24	5,20
		2°		19,05		
		3°		19,37		
		4°		19,27		
		5°		19,47		
2	0,086	1°	100	18,95	19,14	5,22
		2°		19,25		
		3°		19,08		
		4°		19,30		
		5°		19,13		
3	0,102	1°	100	19,37	19,53	5,12

		2°		19,50		
		3°		19,57		
		4°		19,46		
		5°		19,76		
<b>4</b>	0,129	1°	100	19,41	19,37	5,16
		2°		19,29		
		3°		19,45		
		4°		19,18		
		5°		19,51		
<b>5</b>	0,145	1°	100	19,26	19,48	5,13
		2°		19,41		
		3°		19,66		
		4°		19,53		
		5°		19,52		

**Tabla 6**

*Datos de ensayo, caudal real con pendiente  $i = 1\%$ .*

Prueba	Tirante (m)	Medición	Volumen (l)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Caudal (l/s)
<b>1</b>	0,054	1°	100	19,70	19,81	5,05
		2°		20,23		
		3°		19,40		
		4°		19,80		
		5°		19,94		
<b>2</b>	0,077	1°	100	19,83	19,64	5,09
		2°		19,69		
		3°		19,53		
		4°		19,25		
		5°		19,88		
<b>3</b>	0,087	1°	100	19,50	19,41	5,15
		2°		19,00		
		3°		19,52		
		4°		19,23		
		5°		19,79		
<b>4</b>	0,119	1°	100	19,04	19,42	5,15
		2°		19,26		
		3°		19,73		
		4°		19,62		
		5°		19,44		

5	0,167	1°	100	19,08	19,47	5,14
		2°		19,49		
		3°		19,74		
		4°		19,44		
		5°		19,61		

**Tabla 7**

*Datos de ensayo, caudal real con pendiente  $i = 1.5\%$ .*

Prueba	Tirante (m)	Medición	Volumen (l)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Caudal (l/s)
1	0,032	1°	100	19,30	19,32	5,18
		2°		19,51		
		3°		19,42		
		4°		19,35		
		5°		19,03		
2	0,061	1°	100	19,23	19,35	5,17
		2°		19,56		
		3°		19,43		
		4°		19,25		
		5°		19,26		
3	0,097	1°	100	19,19	19,30	5,18
		2°		19,37		
		3°		19,57		
		4°		19,23		
		5°		19,14		
4	0,118	1°	100	18,99	19,18	5,21
		2°		19,3		
		3°		19,02		
		4°		19,05		
		5°		19,54		
5	0,146	1°	100	19,07	19,10	5,24
		2°		18,73		
		3°		19,02		
		4°		19,67		
		5°		19,01		

**Tabla 8**

*Datos de ensayo, caudal real con pendiente  $i = 2\%$ .*

Prueba	Tirante (m)	Medición	Volumen (l)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Caudal (l/s)
1	0,028	1°	100	19,73	19,46	5,14
		2°		19,56		
		3°		19,08		
		4°		19,51		
		5°		19,40		
2	0,067	1°	100	19,02	19,26	5,19
		2°		19,34		
		3°		19,06		
		4°		19,47		
		5°		19,39		
3	0,088	1°	100	19,34	19,52	5,12
		2°		19,54		
		3°		19,37		
		4°		19,41		
		5°		19,94		
4	0,106	1°	100	19,12	19,23	5,20
		2°		19,17		
		3°		19,34		
		4°		19,14		
		5°		19,39		
5	0,137	1°	100	18,93	19,19	5,21
		2°		19,1		
		3°		19,65		
		4°		19,13		
		5°		19,14		

Seguidamente, en las siguientes tablas se muestran los datos de ensayo obtenidos mediante el método del flotador, los cuales representan el caudal experimental. Durante los ensayos, se consideraron diferentes condiciones hidráulicas, incluyendo variaciones en la pendiente del canal y diferentes tirantes. Además, se utilizó una variedad de tipos de

flotadores tales como: madera, plástico, corcho y tecnopor, para determinar su influencia en las mediciones de caudal. Asimismo, estos ensayos se llevaron a cabo en un canal de pendiente variable, con medidas de una base constante de 0.25 metros y una distancia utilizada de 4 metros.

**Tabla 9**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador madera y pendiente  $i = 0,5\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,073	12,18	12,28	0,326	0,018	5,94
	2°		12,11				
	3°		11,96				
	4°		12,92				
	5°		12,23				
2	1°	0,086	15,42	15,29	0,262	0,022	5,63
	2°		15,53				
	3°		14,96				
	4°		15,07				
	5°		15,45				
3	1°	0,102	18,27	18,23	0,219	0,026	5,60
	2°		18,44				
	3°		18,12				
	4°		18,18				
	5°		18,13				
4	1°	0,129	21,5	21,51	0,186	0,032	6,00
	2°		21,57				
	3°		21,62				
	4°		21,33				
	5°		21,51				
5	1°	0,145	24,89	24,79	0,161	0,036	5,85
	2°		24,83				
	3°		24,87				
	4°		24,63				
	5°		24,71				

**Tabla 10**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador plástico y pendiente  $i=0,5\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
<b>1</b>	1°	0,073	12,44	12,29	0,325	0,018	5,94
	2°		12,18				
	3°		12,28				
	4°		12,07				
	5°		12,49				
<b>2</b>	1°	0,086	15,10	15,30	0,261	0,022	5,62
	2°		15,69				
	3°		15,40				
	4°		15,01				
	5°		15,30				
<b>3</b>	1°	0,102	17,91	18,23	0,219	0,026	5,59
	2°		18,49				
	3°		18,11				
	4°		18,27				
	5°		18,38				
<b>4</b>	1°	0,129	21,95	21,76	0,184	0,032	5,93
	2°		22,10				
	3°		21,58				
	4°		21,55				
	5°		21,61				
<b>5</b>	1°	0,145	24,54	24,30	0,165	0,036	5,97
	2°		24,52				
	3°		24,15				
	4°		24,03				
	5°		24,28				



**Tabla 11**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador corcho y pendiente  $i = 0,5\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
<b>1</b>	1°	0,073	12,07	12,24	0,327	0,018	5,96
	2°		12,18				
	3°		12,49				
	4°		12,22				
	5°		12,24				
<b>2</b>	1°	0,086	14,98	15,23	0,263	0,022	5,65
	2°		15,49				
	3°		15,15				
	4°		15,23				
	5°		15,29				
<b>3</b>	1°	0,102	18,17	18,14	0,221	0,026	5,62
	2°		18,14				
	3°		18,24				
	4°		18,15				
	5°		17,99				
<b>4</b>	1°	0,129	21,72	21,63	0,185	0,032	5,96
	2°		21,84				
	3°		21,55				
	4°		21,64				
	5°		21,39				
<b>5</b>	1°	0,145	24,25	24,36	0,164	0,036	5,95
	2°		24,56				
	3°		24,51				
	4°		24,14				
	5°		24,35				

**Tabla 12**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador tecnopor y pendiente  $i = 0,5\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,073	12,15	12,36	0,324	0,018	5,91
	2°		12,23				
	3°		12,54				
	4°		12,11				
	5°		12,76				
2	1°	0,086	15,06	15,06	0,266	0,022	5,71
	2°		15,05				
	3°		14,92				
	4°		15,01				
	5°		15,26				
3	1°	0,102	18,24	18,21	0,220	0,026	5,60
	2°		17,9				
	3°		18,07				
	4°		18,22				
	5°		18,64				
4	1°	0,129	22,70	22,36	0,179	0,032	5,77
	2°		22,28				
	3°		22,84				
	4°		22,10				
	5°		21,90				
5	1°	0,145	24,89	24,60	0,163	0,036	5,89
	2°		24,41				
	3°		25,04				
	4°		24,31				
	5°		24,36				

**Tabla 13**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador madera y pendiente  $i = 1\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,054	8,40	8,50	0,470	0,014	6,35
	2°		8,55				
	3°		8,30				
	4°		8,74				
	5°		8,52				
2	1°	0,077	12,83	12,74	0,314	0,019	6,04
	2°		12,8				
	3°		12,87				
	4°		12,43				
	5°		12,78				
3	1°	0,087	14,34	14,62	0,274	0,022	5,95
	2°		14,66				
	3°		14,48				
	4°		14,89				
	5°		14,71				
4	1°	0,119	20,22	20,52	0,195	0,030	5,80
	2°		20,17				
	3°		20,82				
	4°		20,57				
	5°		20,83				
5	1°	0,167	28,68	28,53	0,140	0,042	5,85
	2°		28,29				
	3°		28,67				
	4°		28,59				
	5°		28,44				

**Tabla 14**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador plástico y pendiente  $i = 1\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
<b>1</b>	1°	0,054	8,28	8,45	0,473	0,014	6,39
	2°		8,26				
	3°		8,68				
	4°		8,66				
	5°		8,36				
<b>2</b>	1°	0,077	13,02	12,75	0,314	0,019	6,04
	2°		12,42				
	3°		12,69				
	4°		12,93				
	5°		12,71				
<b>3</b>	1°	0,087	14,07	14,41	0,278	0,022	6,04
	2°		14,62				
	3°		14,43				
	4°		14,50				
	5°		14,44				
<b>4</b>	1°	0,119	20,86	20,49	0,195	0,030	5,81
	2°		20,48				
	3°		20,35				
	4°		20,53				
	5°		20,24				
<b>5</b>	1°	0,167	27,78	28,32	0,141	0,042	5,90
	2°		28,48				
	3°		28,26				
	4°		28,32				
	5°		28,76				

**Tabla 15**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador corcho y pendiente  $i = 1\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
<b>1</b>	1°	0,054	8,15	8,47	0,472	0,014	6,38
	2°		8,53				
	3°		8,66				
	4°		8,64				
	5°		8,35				
<b>2</b>	1°	0,077	12,91	12,65	0,316	0,019	6,09
	2°		12,60				
	3°		12,47				
	4°		12,80				
	5°		12,45				
<b>3</b>	1°	0,087	14,42	14,38	0,278	0,022	6,05
	2°		14,39				
	3°		14,60				
	4°		14,11				
	5°		14,40				
<b>4</b>	1°	0,119	20,23	19,85	0,202	0,030	5,99
	2°		19,71				
	3°		19,68				
	4°		20,01				
	5°		19,62				
<b>5</b>	1°	0,167	29,11	28,62	0,140	0,042	5,83
	2°		28,58				
	3°		28,42				
	4°		28,54				
	5°		28,46				

**Tabla 16**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador tecnopor y pendiente  $i = 1\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,054	8,53	8,47	0,472	0,014	6,37
	2°		8,42				
	3°		8,40				
	4°		8,59				
	5°		8,42				
2	1°	0,077	12,39	12,60	0,317	0,019	6,11
	2°		12,47				
	3°		12,65				
	4°		12,84				
	5°		12,65				
3	1°	0,087	14,73	14,55	0,275	0,022	5,98
	2°		14,46				
	3°		14,48				
	4°		14,38				
	5°		14,69				
4	1°	0,119	20,61	20,42	0,196	0,030	5,83
	2°		20,10				
	3°		20,45				
	4°		20,06				
	5°		20,88				
5	1°	0,167	32,75	32,54	0,123	0,042	5,13
	2°		32,02				
	3°		32,42				
	4°		32,65				
	5°		32,86				

**Tabla 17**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador madera y pendiente  $i = 1,5\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
<b>1</b>	1°	0,032	4,87	4,83	0,828	0,008	6,63
	2°		4,62				
	3°		4,86				
	4°		4,84				
	5°		4,96				
<b>2</b>	1°	0,061	9,46	9,57	0,418	0,015	6,38
	2°		9,41				
	3°		9,49				
	4°		9,58				
	5°		9,89				
<b>3</b>	1°	0,097	16,89	16,57	0,241	0,024	5,86
	2°		16,36				
	3°		16,67				
	4°		16,14				
	5°		16,77				
<b>4</b>	1°	0,118	19,88	19,84	0,202	0,030	5,95
	2°		19,99				
	3°		19,49				
	4°		19,82				
	5°		20,04				
<b>5</b>	1°	0,146	24,08	24,14	0,166	0,037	6,05
	2°		24,10				
	3°		23,79				
	4°		24,32				
	5°		24,40				

**Tabla 18**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador plástico y pendiente  $i = 1,5\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,032	4,75	4,79	0,836	0,008	6,69
	2°		4,84				
	3°		4,80				
	4°		4,66				
	5°		4,88				
2	1°	0,061	9,35	9,26	0,432	0,015	6,59
	2°		9,22				
	3°		9,08				
	4°		9,18				
	5°		9,48				
3	1°	0,097	16,33	16,32	0,245	0,024	5,94
	2°		16,11				
	3°		16,23				
	4°		16,37				
	5°		16,56				
4	1°	0,118	18,87	19,65	0,204	0,030	6,00
	2°		19,90				
	3°		20,04				
	4°		19,64				
	5°		19,82				
5	1°	0,146	24,24	24,64	0,162	0,037	5,93
	2°		24,50				
	3°		24,55				
	4°		24,88				
	5°		25,03				



**Tabla 19**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador corcho y pendiente  $i = 1,5\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,032	4,61	4,74	0,843	0,008	6,75
	2°		4,88				
	3°		4,73				
	4°		4,84				
	5°		4,66				
2	1°	0,061	9,76	9,41	0,425	0,015	6,48
	2°		9,66				
	3°		9,39				
	4°		9,16				
	5°		9,09				
3	1°	0,097	16,32	16,48	0,243	0,024	5,88
	2°		16,47				
	3°		16,78				
	4°		16,13				
	5°		16,72				
4	1°	0,118	19,18	19,56	0,204	0,030	6,03
	2°		19,77				
	3°		19,66				
	4°		19,52				
	5°		19,67				
5	1°	0,146	24,54	24,58	0,163	0,037	5,94
	2°		24,53				
	3°		24,67				
	4°		24,37				
	5°		24,80				

**Tabla 20**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador tecnopor y pendiente  $i = 1,5\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,032	4,78	4,82	0,830	0,008	6,64
	2°		4,82				
	3°		4,78				
	4°		4,90				
	5°		4,81				
2	1°	0,061	9,32	9,42	0,425	0,015	6,47
	2°		9,39				
	3°		9,63				
	4°		9,27				
	5°		9,50				
3	1°	0,097	16,6	16,50	0,242	0,024	5,88
	2°		16,22				
	3°		16,53				
	4°		16,73				
	5°		16,44				
4	1°	0,118	19,64	19,77	0,202	0,030	5,97
	2°		19,39				
	3°		19,95				
	4°		20,00				
	5°		19,89				
5	1°	0,146	27,67	27,40	0,146	0,037	5,33
	2°		27,46				
	3°		27,32				
	4°		27,20				
	5°		27,35				

**Tabla 21**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador madera y pendiente  $i = 2\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
<b>1</b>	1°	0,028	3,97	3,97	1,009	0,007	7,06
	2°		3,99				
	3°		3,91				
	4°		3,96				
	5°		4,00				
<b>2</b>	1°	0,067	9,29	9,41	0,425	0,017	7,12
	2°		9,28				
	3°		9,42				
	4°		9,30				
	5°		9,75				
<b>3</b>	1°	0,088	13,99	14,27	0,280	0,022	6,17
	2°		14,13				
	3°		14,37				
	4°		14,4				
	5°		14,44				
<b>4</b>	1°	0,106	17,3	17,54	0,228	0,027	6,04
	2°		17,82				
	3°		17,21				
	4°		17,71				
	5°		17,64				
<b>5</b>	1°	0,137	23,81	23,52	0,170	0,034	5,82
	2°		23,17				
	3°		23,59				
	4°		23,60				
	5°		23,45				

**Tabla 22**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador plástico y pendiente  $i = 2\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,028	4,03	4,01	0,997	0,007	6,98
	2°		4,06				
	3°		4,10				
	4°		4,04				
	5°		3,83				
2	1°	0,067	9,09	9,39	0,426	0,017	7,13
	2°		9,55				
	3°		9,77				
	4°		9,13				
	5°		9,43				
3	1°	0,088	14,70	14,51	0,276	0,022	6,06
	2°		14,13				
	3°		14,28				
	4°		14,83				
	5°		14,61				
4	1°	0,106	17,50	17,31	0,231	0,027	6,12
	2°		17,59				
	3°		17,38				
	4°		17,11				
	5°		16,99				
5	1°	0,137	23,42	23,66	0,169	0,034	5,79
	2°		23,50				
	3°		23,79				
	4°		23,59				
	5°		24,01				

**Tabla 23**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador corcho y pendiente  $i = 2\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,028	3,79	3,91	1,024	0,007	7,17
	2°		4,02				
	3°		3,86				
	4°		3,90				
	5°		3,96				
2	1°	0,067	9,23	9,37	0,427	0,017	7,15
	2°		9,22				
	3°		9,60				
	4°		9,29				
	5°		9,53				
3	1°	0,088	14,33	14,69	0,272	0,022	5,99
	2°		14,95				
	3°		14,45				
	4°		14,98				
	5°		14,75				
4	1°	0,106	17,31	17,61	0,227	0,027	6,02
	2°		17,65				
	3°		17,99				
	4°		17,5				
	5°		17,59				
5	1°	0,137	24,14	23,61	0,169	0,034	5,80
	2°		23,08				
	3°		23,10				
	4°		23,86				
	5°		23,89				

**Tabla 24**

*Datos de ensayo, caudal experimental con el tipo de flotador tecnopor y pendiente  $i = 2\%$ .*

Prueba	Medición	Tirante (m)	Tiempo (s)	Tiempo Prom. (s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (l/s)
1	1°	0,028	4,12	4,06	0,986	0,007	6,90
	2°		3,99				
	3°		4,09				
	4°		4,12				
	5°		3,96				
2	1°	0,067	9,49	9,49	0,422	0,017	7,06
	2°		9,30				
	3°		9,77				
	4°		9,46				
	5°		9,41				
3	1°	0,088	14,65	14,69	0,272	0,022	5,99
	2°		14,79				
	3°		14,73				
	4°		14,85				
	5°		14,43				
4	1°	0,106	17,33	17,49	0,229	0,027	6,06
	2°		17,18				
	3°		17,37				
	4°		17,60				
	5°		17,98				
5	1°	0,137	23,85	23,53	0,170	0,034	5,82
	2°		23,54				
	3°		23,18				
	4°		23,30				
	5°		23,77				

A continuación, en las siguientes tablas se presentan las comparaciones entre el caudal aforado volumétricamente y el caudal aforado mediante el método del flotador, tomando en cuenta diferentes pendientes del canal. Además, se ha calculado el nivel de precisión correspondiente a cada tipo de flotador y para cada pendiente analizada.

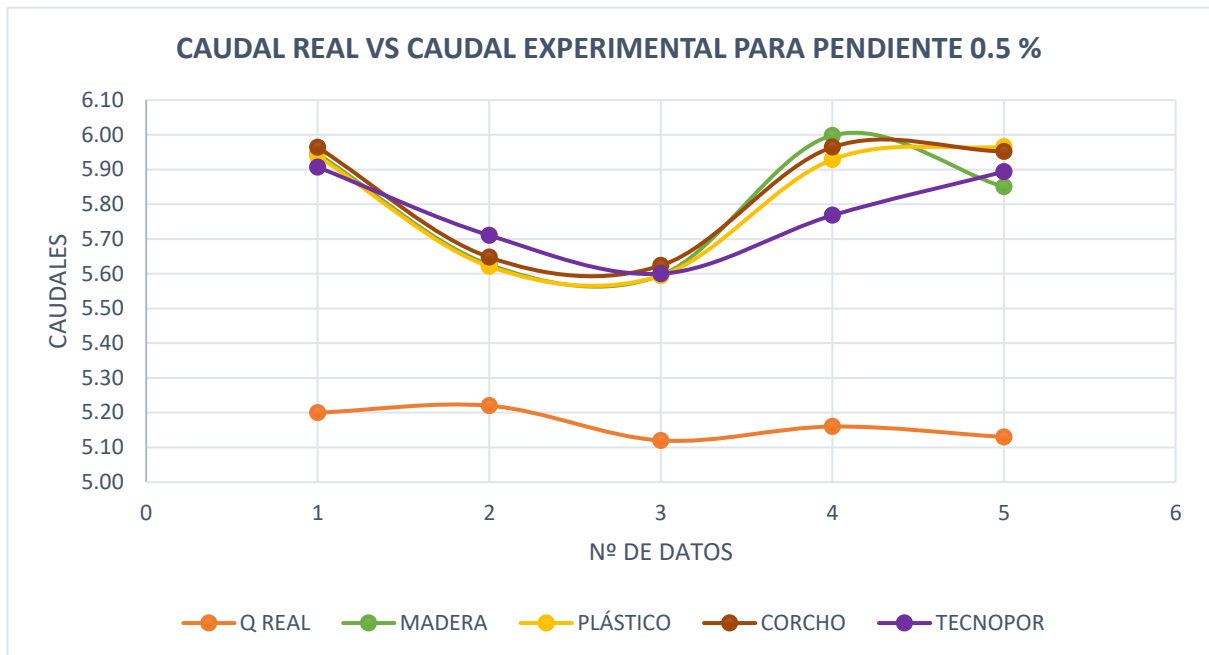
**Tabla 25**

*Comparación de Caudal real (Método volumétrico) y Caudal experimental (Método del flotador) para una pendiente de 0.5%.*

PENDIENTE	TIPO DE FLOTADOR	CAUDAL VOLUMÉTRICO	CAUDAL FLOTADOR
0.5%	MADERA	5.20	5.94
			5.63
			5.60
			6.00
			5.85
	PLÁSTICO	5.22	5.94
			5.62
			5.59
			5.93
			5.97
	CORCHO	5.12	5.96
			5.65
			5.62
			5.96
			5.95
	TECNOPOR	5.16	5.91
			5.71
			5.60
5.77			
5.89			

**Figura 11**

*Caudal Real vs Caudal Experimental para una pendiente de 0.5%*



*Nota.* El gráfico representa el caudal real mediante el método volumétrico y el caudal experimental mediante el método del flotador para una pendiente de 0,5%, además brinda los datos de los caudales para los cuatro tipos de flotadores en sus 5 mediciones respectivas, demostrando que en esta pendiente los caudales experimentales se acercan al caudal real.

**Tabla 26**

*Comparación de Caudal real (Método volumétrico) y Caudal experimental (Método del flotador) para una pendiente de 1%.*

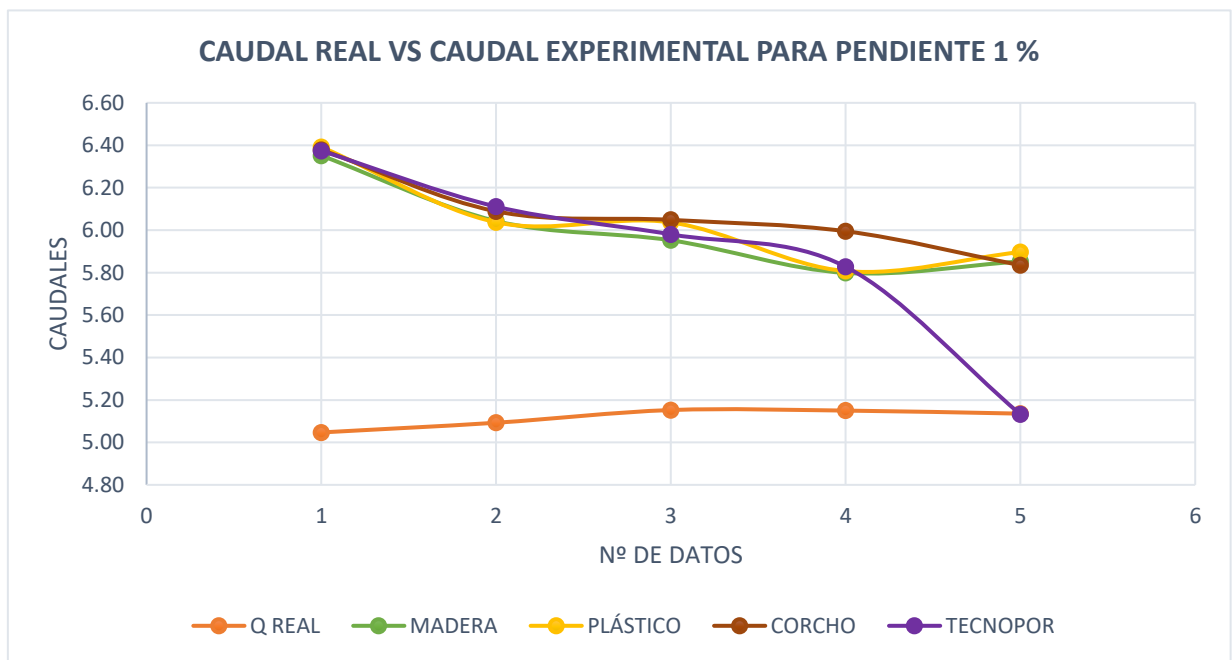
PENDIENTE	TIPO DE FLOTADOR	CAUDAL VOLUMÉTRICO	CAUDAL FLOTADOR
1%	MADERA	5.05	6.35
			6.04
			5.95
			5.80
			5.85
	PLÁSTICO	5.09	6.39
			6.04
			6.04
			6.04
			5.81



		5.90
		6.38
CORCHO	5.15	6.09
		6.05
		5.99
	5.15	5.83
		6.37
TECNOPOR		6.11
		5.98
	5.14	5.83
		5.13

**Figura 12**

*Caudal Real vs Caudal Experimental para una pendiente de 1%*



*Nota.* El gráfico representa el caudal real mediante el método volumétrico y el caudal experimental mediante el método del flotador en una pendiente del 1%, además brinda los datos de los caudales para los cuatro tipos de flotadores en sus 5 mediciones respectivas, demostrando que en esta pendiente los caudales experimentales se acercan al caudal real; sin embargo, en la última medición el dato coincide ya que es alterado por el refluo que hubo al cerrar la rejilla para el cambio de tirante.

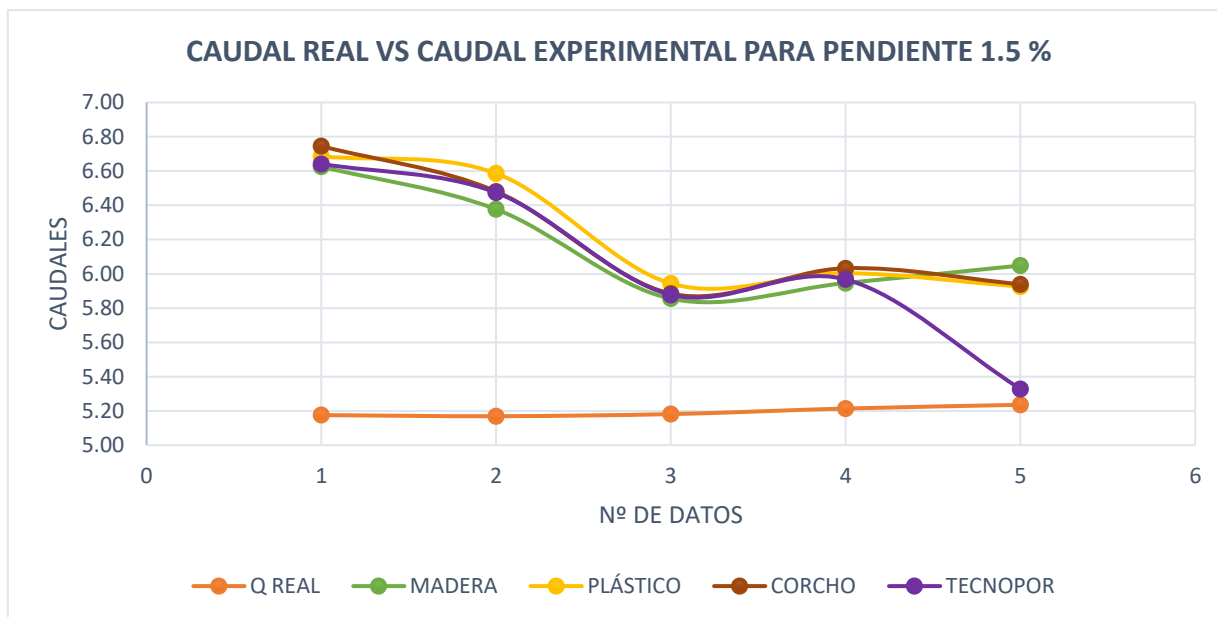
**Tabla 27**

*Comparación de Caudal real (Método volumétrico) y Caudal experimental (Método del flotador) para una pendiente de 1.5%.*

PENDIENTE	TIPO DE FLOTADOR	CAUDAL VOLUMÉTRICO	CAUDAL FLOTADOR
1.5%	MADERA	5.18	6.63
			6.38
			5.86
			5.95
	PLÁSTICO	5.17	6.05
			6.69
			6.59
			5.94
	CORCHO	5.18	6.00
			5.93
			6.75
			6.48
	TECNOPOR	5.21	5.88
			6.03
			5.94
			6.64
TECNOPOR	5.24	6.47	
		5.88	
		5.97	
		5.33	

**Figura 13**

*Caudal Real vs Caudal Experimental para una pendiente de 1.5%*



*Nota.* El gráfico representa el caudal real mediante el método volumétrico y el caudal experimental mediante el método del flotador en una pendiente del 1%, además brinda los datos de los caudales para los cuatro tipos de flotadores en sus 5 mediciones respectivas, demostrando que en esta pendiente los caudales experimentales se acercan al caudal real; sin embargo, en la última medición el dato se aproxima al caudal real ya que es alterado por el reflujo que hubo al cerrar la rejilla para el cambio de tirante.

**Tabla 28**

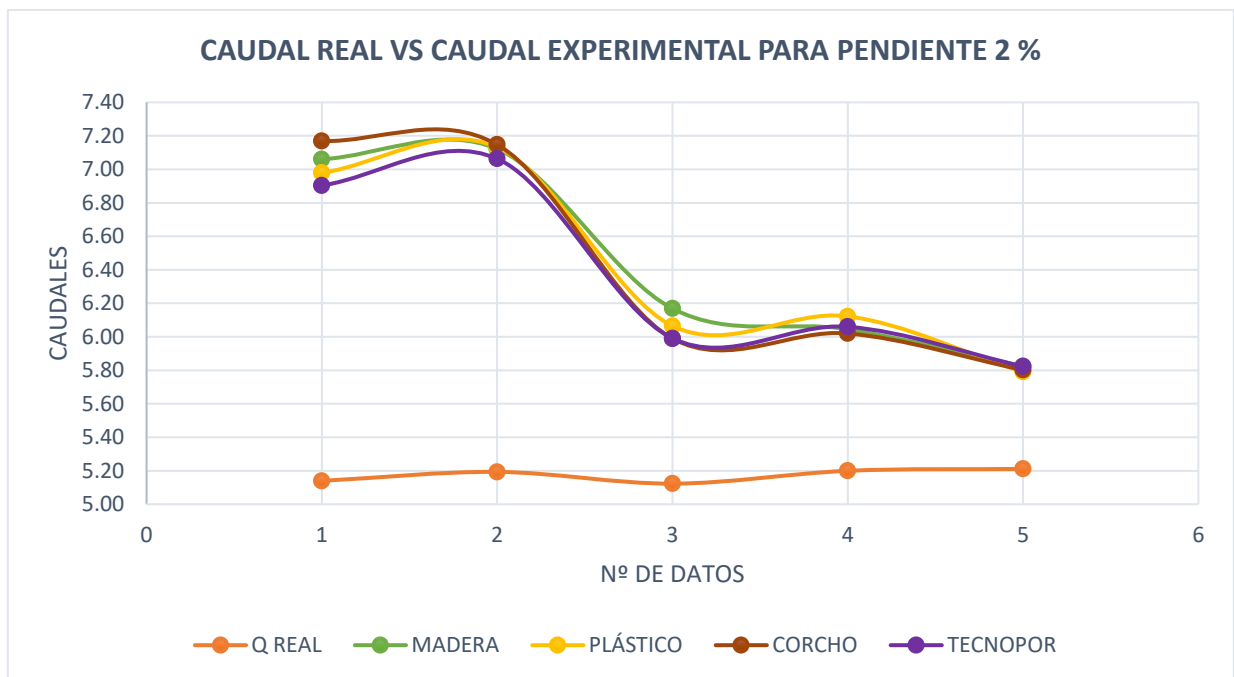
*Comparación de Caudal real (Método volumétrico) y Caudal experimental (Método del flotador) para una pendiente de 2%.*

PENDIENTE	TIPO DE FLOTADOR	CAUDAL VOLUMÉTRICO	CAUDAL FLOTADOR
2.0%	MADERA	5.14	7.06
			7.12
			6.17
			6.04
			5.82
	PLÁSTICO	5.19	6.98
			7.13
			6.06
			6.12
			5.79

		7.17
		7.15
CORCHO	5.12	5.99
		6.02
	5.20	5.80
		6.90
TECNOPOR		7.06
	5.21	5.99
		6.06
		5.82

**Figura 14**

*Caudal Real vs Caudal Experimental para una pendiente de 2 %*



*Nota.* El gráfico representa el caudal real mediante el método volumétrico y el caudal experimental mediante el método del flotador en una pendiente del 2%, además brinda los datos de los caudales para los cuatro tipos de flotadores en sus 5 mediciones respectivas, demostrando que en esta pendiente los caudales experimentales se encuentran más alejados del caudal real.

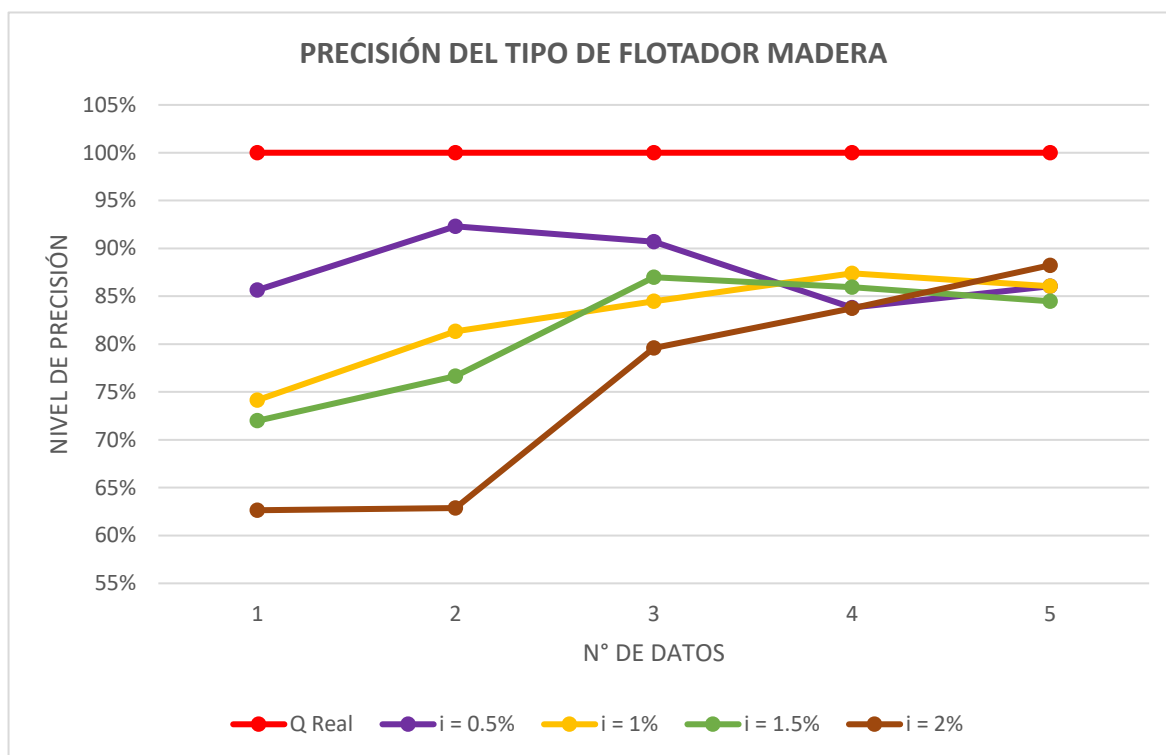
**Tabla 29**

*Precisión del tipo de flotador madera a diferentes pendientes.*

PENDIENTE	Q VOLUMÉTRICO	Q FLOTADOR	PRECISIÓN	PROMEDIO
<b>0,5%</b>	5,20	5,94	85,64%	87,65%
	5,22	5,63	92,31%	
	5,12	5,60	90,70%	
	5,16	6,00	83,82%	
	5,13	5,85	86,06%	
<b>1,0%</b>	5,05	6,35	74,15%	82,54%
	5,09	6,04	81,34%	
	5,15	5,95	84,48%	
	5,15	5,80	87,40%	
	5,14	5,85	86,04%	
<b>1,5%</b>	5,18	6,63	71,99%	80,99%
	5,17	6,38	76,64%	
	5,18	5,86	86,99%	
	5,21	5,95	85,95%	
	5,24	6,05	84,47%	
<b>2,0%</b>	5,14	7,06	62,64%	74,64%
	5,19	7,12	62,87%	
	5,12	6,17	79,59%	
	5,20	6,04	83,75%	
	5,21	5,82	88,24%	

**Figura 15**

*Nivel de precisión para el tipo de flotador madera a diferentes pendientes.*



*Nota.* En el gráfico se observa que los caudales obtenidos con el tipo de flotador madera se van acercando al caudal real y teniendo una mayor precisión cuando la pendiente es menor y entre mayor es la pendiente más se alejan del caudal real.

**Tabla 30**

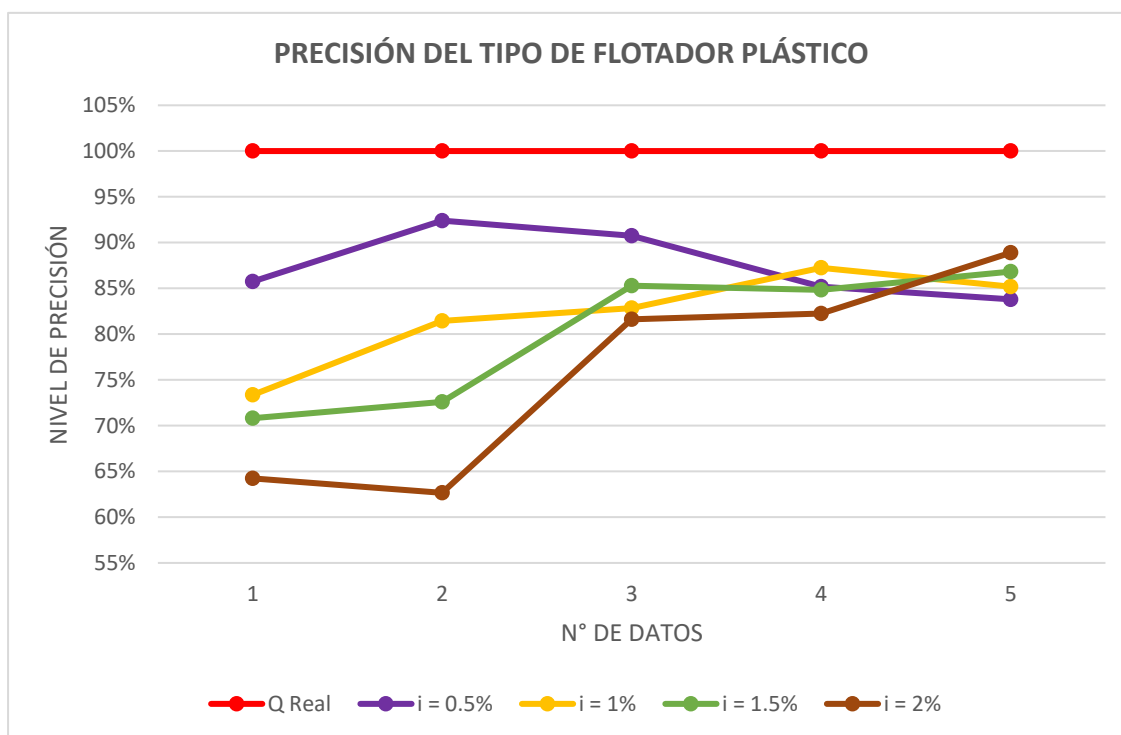
*Precisión del tipo de flotador Plástico a diferentes pendientes.*

PENDIENTE	Q VOLUMÉTRICO	Q FLOTADOR	PRECISIÓN	PROMEDIO
0,5%	5,20	5,94	85,75%	87,51%
	5,22	5,62	92,40%	
	5,12	5,59	90,73%	
	5,16	5,93	85,17%	
	5,13	5,97	83,80%	
1,0%	5,05	6,39	73,35%	81,87%
	5,09	6,04	81,45%	
	5,15	6,04	82,84%	
	5,15	5,81	87,24%	
	5,14	5,90	85,18%	

<b>1,5%</b>	5,18	6,69	70,81%	79,77%
	5,17	6,59	72,59%	
	5,18	5,94	85,29%	
	5,21	6,00	84,85%	
	5,24	5,93	86,83%	
<b>2,0%</b>	5,14	6,98	64,22%	75,18%
	5,19	7,13	62,66%	
	5,12	6,06	81,62%	
	5,20	6,12	82,26%	
	5,21	5,79	88,89%	

**Figura 16**

Nivel de precisión para el tipo de flotador plástico a diferentes pendientes.



*Nota.* En el gráfico se observa que los caudales obtenidos con el tipo de flotador plástico se van acercando al caudal real y teniendo una mayor precisión cuando la pendiente es menor y entre mayor es la pendiente más se alejan del caudal real.

**Tabla 31**

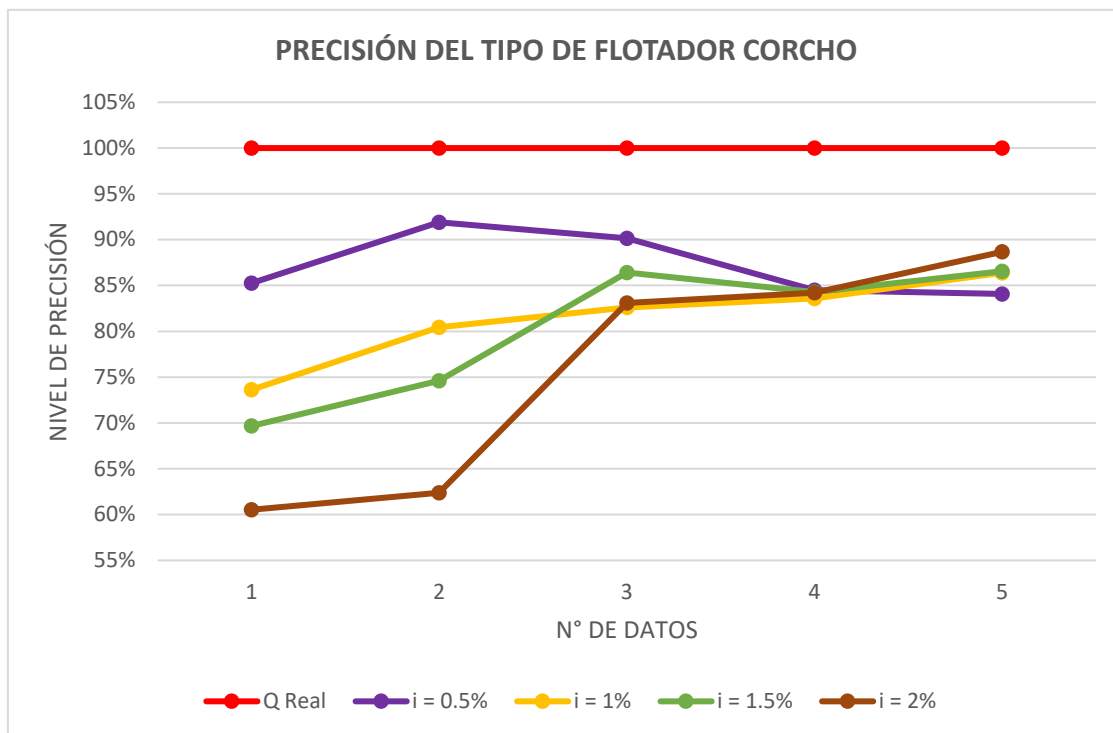
*Precisión del tipo de flotador corcho a diferentes pendientes.*

PENDIENTE	Q VOLUMÉTRICO	Q FLOTADOR	PRECISIÓN	PROMEDIO
<b>0,5%</b>	5,20	5,96	85,26%	87,12%
	5,22	5,65	91,90%	
	5,12	5,62	90,16%	
	5,16	5,96	84,48%	
	5,13	5,95	84,08%	
<b>1,0%</b>	5,05	6,38	73,62%	81,21%
	5,09	6,09	80,44%	
	5,15	6,05	82,61%	
	5,15	5,99	83,59%	
	5,14	5,83	86,39%	
<b>1,5%</b>	5,18	6,75	69,67%	80,01%
	5,17	6,48	74,62%	
	5,18	5,88	86,43%	
	5,21	6,03	84,29%	
	5,24	5,94	86,56%	
<b>2,0%</b>	5,14	7,17	60,53%	74,80%
	5,19	7,15	62,37%	
	5,12	5,99	83,08%	
	5,20	6,02	84,22%	
	5,21	5,80	88,67%	



**Figura 17**

*Nivel de precisión para el tipo de flotador corcho a diferentes pendientes*



*Nota.* En el gráfico se observa que los caudales obtenidos con el tipo de flotador corcho se van acercado al caudal real y teniendo una mayor precisión cuando la pendiente es menor y entre mayor es la pendiente más se alejan del caudal real.

**Tabla 32**

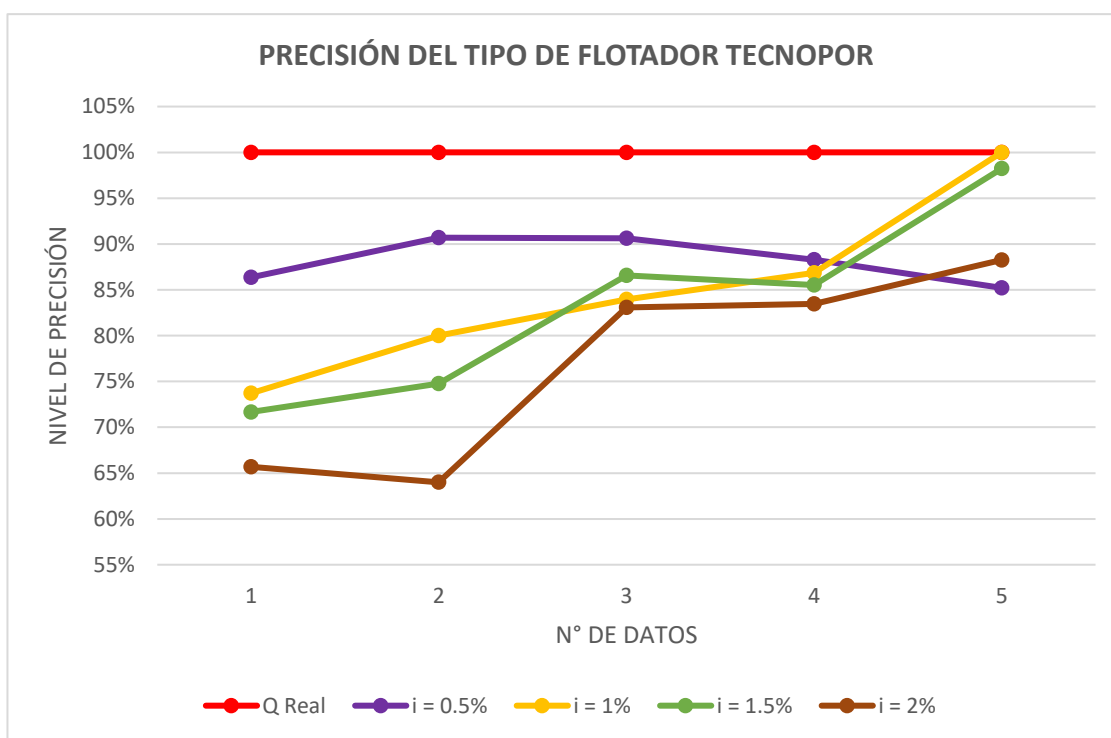
*Precisión del tipo de flotador tecnopor a diferentes pendientes.*

PENDIENTE	Q VOLUMÉTRICO	Q FLOTADOR	PRECISIÓN	PROMEDIO
0,5%	5,20	5,91	86,36%	88,20%
	5,22	5,71	90,69%	
	5,12	5,60	90,62%	
	5,16	5,77	88,28%	
	5,13	5,89	85,21%	
1,0%	5,05	6,37	73,71%	84,47%
	5,09	6,11	80,00%	
	5,15	5,98	83,94%	
	5,15	5,83	86,84%	
	5,14	5,13	100,07%	

<b>1,5%</b>	5,18	6,64	71,67%	82,82%
	5,17	6,47	74,75%	
	5,18	5,88	86,57%	
	5,21	5,97	85,54%	
	5,24	5,33	98,23%	
<b>2,0%</b>	5,14	6,90	65,69%	76,22%
	5,19	7,06	63,99%	
	5,12	5,99	83,07%	
	5,20	6,06	83,46%	
	5,21	5,82	88,26%	

**Figura 18**

*Nivel de precisión para el tipo de flotador tecnopor a diferentes pendientes*



*Nota.* En el grafico se observa que los caudales obtenidos con el tipo de flotador tecnopor se van acercado al caudal real y teniendo una mayor precisión cuando la pendiente es menor y entre mayor es la pendiente más se alejan del caudal real. Además, se puede apreciar que en el último dato al cambiar el tirante se ha producido un reflujó en el espejo de agua que altera el tiempo de medición en el flotador.

A continuación, en las siguientes tablas se presenta el factor denominado “K”, el cual se utiliza para corregir el caudal aforado mediante el método del flotador; por lo que las tablas contienen valores específicos de “K” para diferentes tipos de flotadores utilizados tales como madera, plástico, corcho y tecnopor.

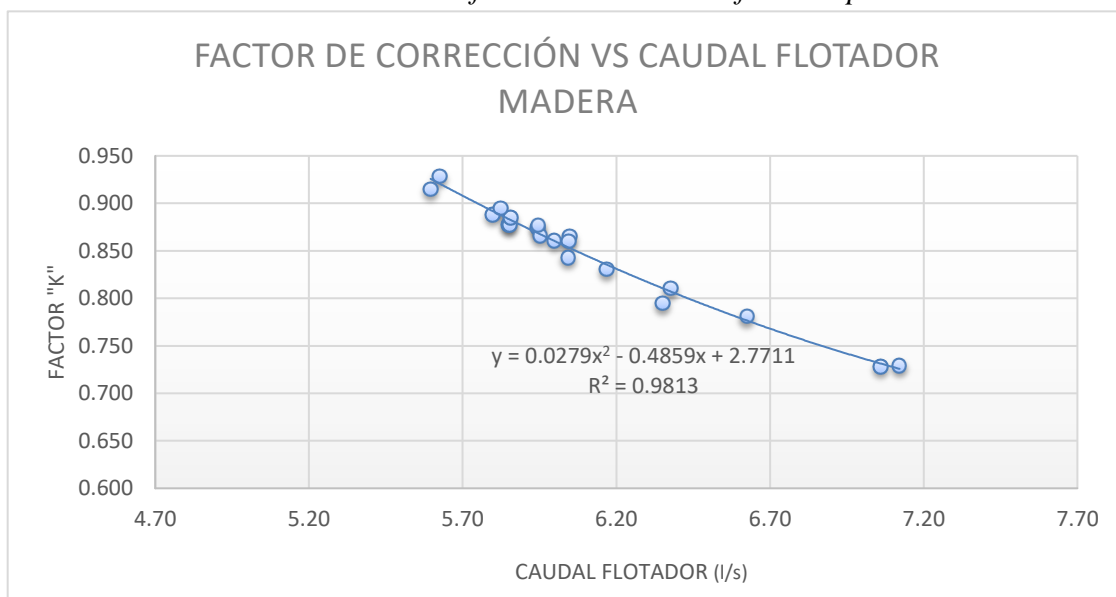
**Tabla 33**

*Factor de corrección “K”, en diferentes pendientes y tipo de flotador madera.*

PENDIENTE	Q VOLUMÉTRICO	Q FLOTADOR	K
0,5%	5,20	5,94	0,874
	5,22	5,63	0,929
	5,12	5,60	0,915
	5,16	6,00	0,861
	5,13	5,85	0,878
1,0%	5,05	6,35	0,795
	5,09	6,04	0,843
	5,15	5,95	0,866
	5,15	5,80	0,888
	5,14	5,85	0,877
1,5%	5,18	6,63	0,781
	5,17	6,38	0,811
	5,18	5,86	0,885
	5,21	5,95	0,877
	5,24	6,05	0,866
2,0%	5,14	7,06	0,728
	5,19	7,12	0,729
	5,12	6,17	0,831
	5,20	6,04	0,860
	5,21	5,82	0,895

**Figura 19**

*Factor de corrección vs Caudal del flotador madera a diferentes pendientes*



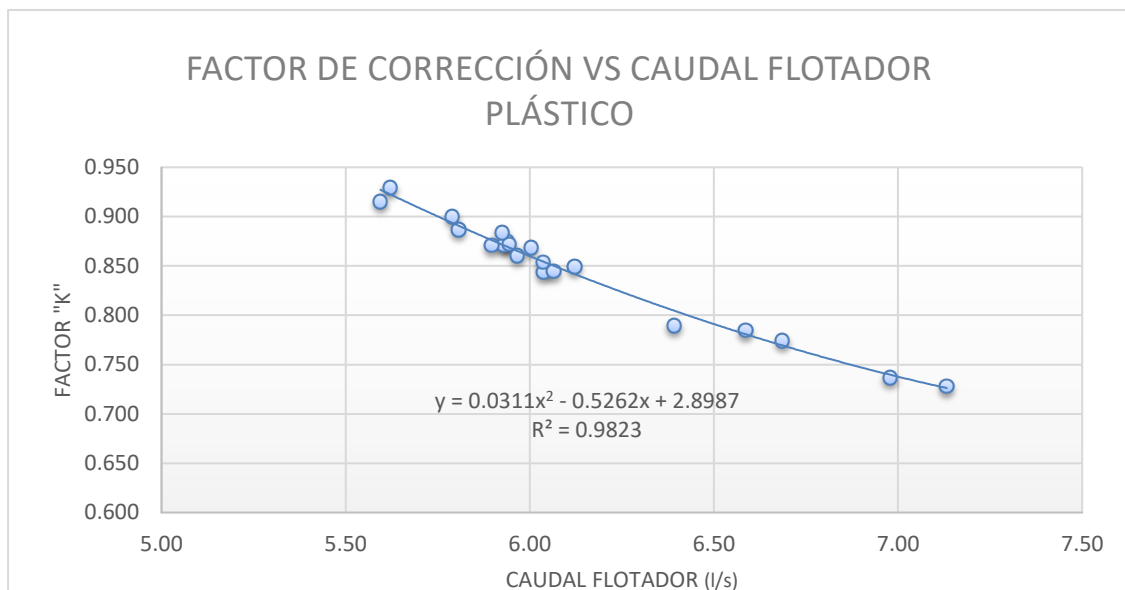
**Tabla 34**

*Factor de corrección “K”, en diferentes pendientes y tipo de flotador plástico.*

PENDIENTE	Q VOLUMÉTRICO	Q FLOTADOR	K
<b>0,5%</b>	5,20	5,94	0,875
	5,22	5,62	0,929
	5,12	5,59	0,915
	5,16	5,93	0,871
	5,13	5,97	0,861
<b>1,0%</b>	5,05	6,39	0,790
	5,09	6,04	0,844
	5,15	6,04	0,854
	5,15	5,81	0,887
	5,14	5,90	0,871
<b>1,5%</b>	5,18	6,69	0,774
	5,17	6,59	0,785
	5,18	5,94	0,872
	5,21	6,00	0,868
	5,24	5,93	0,884
<b>2,0%</b>	5,14	6,98	0,736
	5,19	7,13	0,728
	5,12	6,06	0,845
	5,20	6,12	0,849
	5,21	5,79	0,900

**Figura 20**

*Factor de corrección vs Caudal del flotador plástico a diferentes pendientes.*



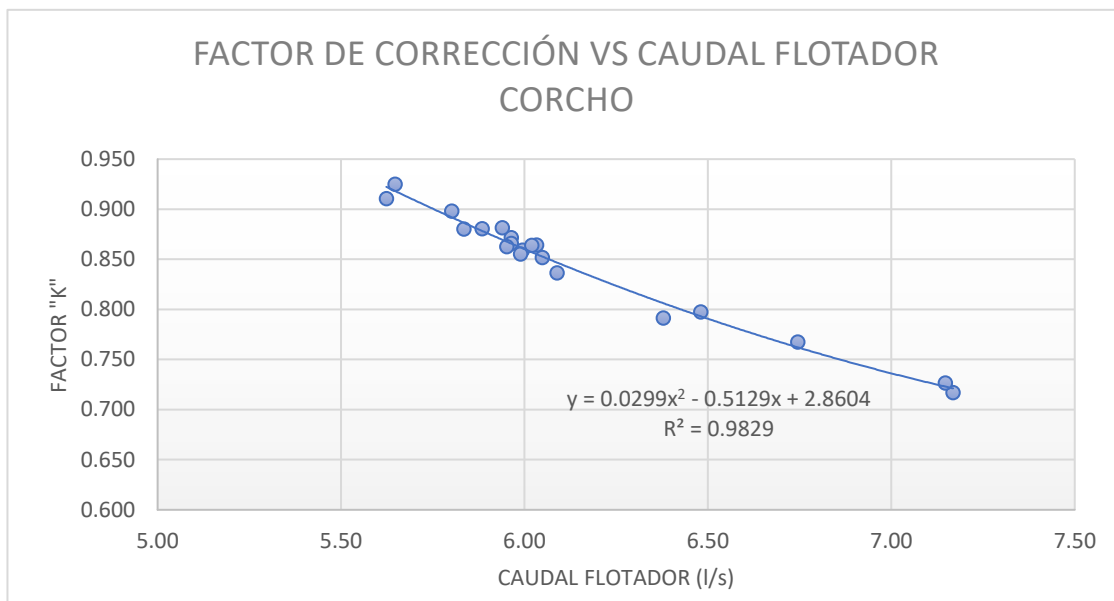
**Tabla 35**

*Factor de corrección "K", en diferentes pendientes y tipo de flotador corcho.*

PENDIENTE	Q VOLUMÉTRICO	Q FLOTADOR	K
<b>0,5%</b>	5,20	5,96	0,872
	5,22	5,65	0,925
	5,12	5,62	0,910
	5,16	5,96	0,866
	5,13	5,95	0,863
<b>1,0%</b>	5,05	6,38	0,791
	5,09	6,09	0,836
	5,15	6,05	0,852
	5,15	5,99	0,859
	5,14	5,83	0,880
<b>1,5%</b>	5,18	6,75	0,767
	5,17	6,48	0,798
	5,18	5,88	0,881
	5,21	6,03	0,864
	5,24	5,94	0,882
<b>2,0%</b>	5,14	7,17	0,717
	5,19	7,15	0,727
	5,12	5,99	0,855
	5,20	6,02	0,864
	5,21	5,80	0,898

**Figura 21**

*Factor de corrección vs Caudal del flotador corcho a diferentes pendientes.*



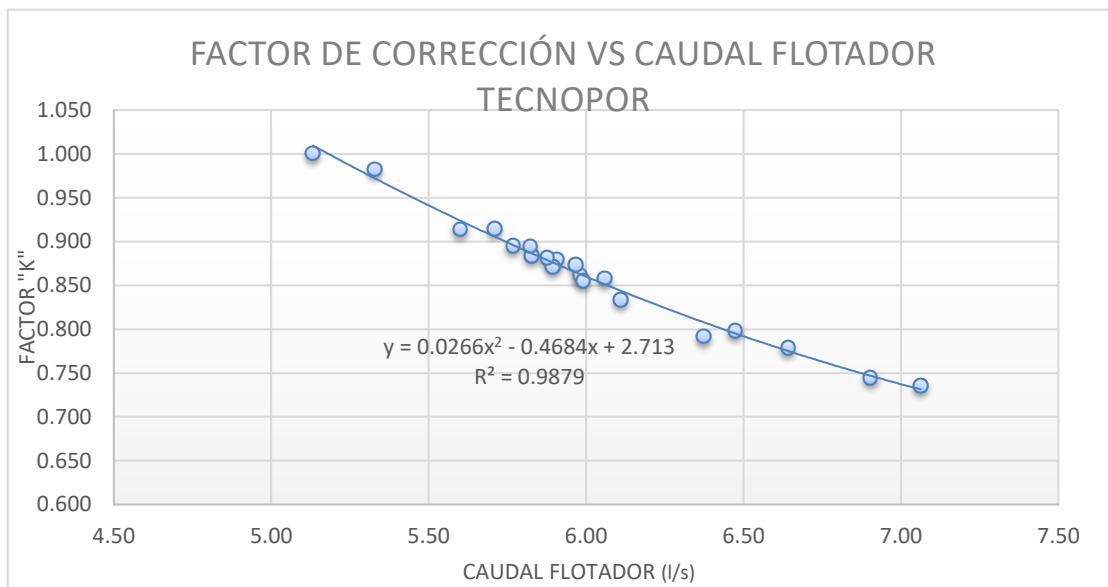
**Tabla 36**

*Factor de corrección “K”, en diferentes pendientes y tipo de flotador tecnopor.*

PENDIENTE	Q VOLUMÉTRICO	Q FLOTADOR	K
<b>0,5%</b>	5,20	5,91	0,880
	5,22	5,71	0,915
	5,12	5,60	0,914
	5,16	5,77	0,895
	5,13	5,89	0,871
<b>1,0%</b>	5,05	6,37	0,792
	5,09	6,11	0,833
	5,15	5,98	0,862
	5,15	5,83	0,884
	5,14	5,13	1,001
<b>1,5%</b>	5,18	6,64	0,779
	5,17	6,47	0,798
	5,18	5,88	0,882
	5,21	5,97	0,874
	5,24	5,33	0,983
<b>2,0%</b>	5,14	6,90	0,745
	5,19	7,06	0,735
	5,12	5,99	0,855
	5,20	6,06	0,858
	5,21	5,82	0,895

**Figura 22**

*Factor de corrección vs Caudal del flotador tecnopor a diferentes pendientes.*



A continuación, en la siguiente tabla se presenta el tipo de flujo de acuerdo con el número de Froude calculado; para diferentes pendientes y tipos de flotadores utilizados tales como madera, plástico, corcho y tecnopor.

**Tabla 37**

*Tipo de flujo en diferentes pendientes y materiales.*

TIPO DE FLOTADOR	PENDIENTE	FROUDE	TIPO DE FLUJO
<b>Madera</b>	0.5 %	0,186	Subcrítico
	1.0 %	0,319	Subcrítico
	1.5 %	0,518	Subcrítico
	2.0 %	0,624	Subcrítico
<b>Plástico</b>	0.5 %	0,238	Subcrítico
	1.0 %	0,321	Subcrítico
	1.5 %	0,525	Subcrítico
	2.0 %	0,619	Subcrítico
<b>Corcho</b>	0.5 %	0,239	Subcrítico

	1.0 %	0,322	Subcrítico
	1.5 %	0,526	Subcrítico
	2.0 %	0,629	Subcrítico
<b>Tecnopor</b>	0.5 %	0,237	Subcrítico
	1.0 %	0,318	Subcrítico
	1.5 %	0,518	Subcrítico
	2.0 %	0,613	Subcrítico



## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

La presente investigación se centró en analizar los niveles de precisión en la medición de caudales utilizando el método del flotador. Con el objetivo de determinar los niveles de precisión en medición de caudales en canales de sección rectangular, teniendo en cuenta varios tipos de flotadores (madera, plástico, corcho y tecnopor) y variando la pendiente del canal (0,5%, 1%, 1,5% y 2%). A continuación, se detalla los resultados acerca de la precisión del método del flotador en diferentes condiciones.

En base a los resultados obtenidos en las tablas 21, 22, 23 y 24, se pudo determinar los porcentajes de precisión para las pendientes 0,5%, 1%, 1,5% y 2% con el flotador tipo madera fueron de 87.65%, 82.54%, 80.99% y 74.64%, respectivamente. En cuanto al flotador de plástico para las mismas pendientes, los niveles de precisión alcanzados fueron de 87.51%, 81.87%, 79.77% y 75.18%. Por otro lado, el flotador de corcho registro niveles de precisión de 87.12%, 81.21%, 80.01% y 74.80% para las respectivas pendientes. Finalmente, el flotador de tecnopor demostró niveles de precisión de 88.20%, 84.47%, 82.82% y 76.22%.

Los resultados muestran que el nivel de precisión del caudal determinado con el método del flotador exhibe variaciones en relación con el caudal real aforado volumétricamente. La hipótesis planteada en esta investigación estipula que el nivel de precisión del caudal determinado con el método del flotador en canales de sección rectangular alcanzaría como máximo el 75% del caudal real. Sin embargo, no se cumple en todos los casos, si bien la mayoría de los tipos de flotadores evaluados mostraron niveles de precisión superiores al 75% en las diferentes pendientes del canal rectangular

estudiadas, se observó que en la pendiente del 2% tanto el flotador tipo madera y el flotador tipo corcho presentaron porcentajes de precisión ligeramente inferiores, con valores de 74.64% y 74.80%, respectivamente.

Estos resultados indican que, en general, el método del flotador demostró ser eficaz en la medición de caudales en canales de sección rectangular, pero es importante tener en cuenta que existen ciertas combinaciones de pendiente y tipo de flotador que pueden afectar la precisión de los resultados

Con respecto a las pendientes del canal, se observa que a medida que aumenta la pendiente, los niveles de precisión tienden a disminuir. Estos resultados indican que el método de aforo del flotador es más preciso en canales con pendientes mínimas, mientras que en canales con pendientes pronunciadas la precisión puede ser afectada, no obstante, debe señalarse que a pesar de que la precisión disminuye, los niveles obtenidos siguen siendo notablemente alta.

Además, en la investigación denominada “Análisis Comparativo de Tres Métodos Para la Medición de Caudales en Canales Abiertos” de (Rueda & Chitiva, 2016), los resultados indican que la metodología de aforo del flotador proporcionó valores de precisión y significativamente altos que se dan entre 77% y 87% utilizando bolas de ping pong y para una tabla flotante se hallaron valores de precisión entre 73% y 82 %, confirmando nuestra toma de datos con la utilización de diferentes tipos de flotadores (madera, plástico, corcho y tecnopor) donde la precisión del método del flotador es alta y se encuentra entre 74.64% y 87.65%. Finalmente, los resultados de este estudio corroboran la precisión del método del flotador, sin embargo, esta puede verse influenciada por la pendiente del canal y por características del flujo, como la velocidad que puede afectar la flotabilidad del objeto utilizado.

Por otro lado, en la investigación de (Placencio, 2018) “Determinación de la velocidad del flujo en el río Yanuncay, por el método de flotadores” indica que el hecho de utilizar diferentes tipos de flotadores no afecta significativamente a la precisión de las mediciones siempre que se eligieran los flotadores adecuados para las condiciones únicas del lugar. Esto sugiere que, independientemente de las condiciones hidrológicas y topográficas, la selección del tipo de flotador adecuado es esencial para garantizar una medición precisa. Por lo que, este estudio respalda la eficacia, fiabilidad y precisión del método del flotador para medir los caudales en ríos y canales. Sin embargo, es importante tener en cuenta que puede haber algunos casos en los que los niveles de precisión sean apenas inferiores al 75%. Por lo tanto, se aconseja elegir cuidadosamente el tipo de flotador apropiado para cada escenario.

Así mismo, en la tesis de (Hidalgo, 2017) “Guía Práctica Para Aforar en Canales y Cauces Naturales, Utilizando Instrumentación Básica y De Bajo Costo” indica que la elección del método de aforo debe ser considerado cuidadosamente bajo las condiciones específicas del canal, dado que ciertas combinaciones de pendiente y tipo de flotador pueden afectar la precisión en las mediciones. Por lo tanto, la variabilidad que hemos observado en la precisión de los resultados subraya la importancia de seguir procedimientos meticulosos y realizar mediciones precisas para asegurar mediciones exactas de caudal en canales.

Es importante indicar que esta investigación tiene algunas limitaciones. En primer lugar, lo que puede limitar son las características del canal, por ejemplo, la forma del canal puede influir en la distribución de velocidades y flujos, lo que afecta la aplicación de técnicas de medición como el método de flotador, las propiedades del material del canal también pueden afectar la precisión de las mediciones, ya que la rugosidad y la

fricción varían según el material. Así mismo, esta investigación se limita a las condiciones ambientales en las que se llevaron a cabo los ensayos en un entorno de laboratorio controlado, ya que la variación en las condiciones atmosféricas, como la temperatura, humedad y presión atmosférica, puede influir en el comportamiento del flujo y, por ende, en la interacción entre los flotadores y el agua. Otra limitación significativa de esta investigación radica en que, debido a las características específicas del canal de laboratorio empleado, únicamente podemos observar y determinar que el flujo subcrítico; esto implica que la investigación se encuentra restringida a la comprensión de este tipo particular de flujo, sin la capacidad de explorar o generalizar los hallazgos a otros regímenes de flujo, como el crítico o supercrítico. Además, otra limitación es la selección de los tipos de flotadores, ya que la precisión de las mediciones puede estar influenciada por la forma, densidad y el material de estos flotadores, debido a que los flotadores con una densidad muy baja no podrían mantenerse de manera estable en un flujo de transición o turbulento; asimismo, un flotador con una densidad adecuada puede sumergirse lo suficiente para interactuar con el flujo de agua. Por último, la investigación se ha centrado en un limitado número de pendientes, lo que puede limitar una comprensión completa de cómo afecta la precisión a pendientes mayores.

Además, las implicancias de la presente investigación resaltan que el método del flotador brinda niveles de precisión notables, ya que los resultados obtenidos demuestran una precisión que varían entre el 74% y el 88% en diversas pendientes del canal. Así mismo, la introducción de factores de corrección "K" específicos para diversos tipos de flotadores, como madera, plástico, corcho y tecnopor, ofrece un enfoque adaptable que mejorará aún más la precisión de las mediciones en futuras investigaciones y aplicaciones en campo.

## 4.2 Conclusiones

Se determinó los niveles de precisión en la medición de caudales en canales de sección rectangular utilizando el método del flotador, donde los resultados muestran que este método de aforo es efectivo y confiable para obtener mediciones precisas de caudales, ya que se observó que la mayoría de los flotadores evaluados presentaron niveles de precisión superiores al 75% del caudal real.

Mediante la realización de mediciones de caudal en un canal de sección rectangular en el laboratorio UPN, se determinó el aforo volumétrico considerando a este método como el caudal real para la presente investigación, para luego comparar los resultados con el método del flotador.

Se determinó los caudales para un canal de sección rectangular de pendiente variable considerando diferentes combinaciones de pendiente, tirante y tipo de flotador, donde se concluye que estos factores no afectan a la precisión de método del flotador; dichos resultados obtenidos indicaron que el método del flotador puede adaptarse a diferentes condiciones hidrológicas.

Comparando los resultados obtenidos con cada uno de los métodos de aforo evaluados, se constató que el método de aforo con flotador puede proporcionar niveles de precisión aceptables en la medición de caudales en canales de sección rectangular.

La hipótesis que se planteó inicialmente en esta investigación es que el nivel de precisión del caudal determinado con el método del flotador en canales de sección rectangular llega como máximo al 75% del caudal real, se puede concluir que la hipótesis inicialmente planteada no se cumple en su totalidad, ya que se obtuvieron 2 datos puntuales en que el nivel de precisión fue ligeramente inferior al 75%.

Cerdan Mendoza, J; Valdivia Pompa, H

Adicionalmente, se ha encontrado un factor de corrección “K” presentado en las tablas 25, 26, 27 y 28, la función que representan estas tablas es proporcionar valores específicos de “K” para diferentes tipos de flotadores, tales como, madera, plástico, corcho y tecnopor, lo que permitirá ajustar con precisión las mediciones de caudal.

### **4.3 Recomendaciones**

Se recomienda a los investigadores que se embarquen en futuros estudios realizar mediciones de precisión sin alterar el nivel del tirante del caudal. Cualquier cambio al cerrar la rejilla puede provocar un reflujo del caudal, por lo que es importante mantener el tirante constante para comparar con exactitud en cuanto puede variar la precisión con diferentes tirantes y también evitar posibles complicaciones al cerrar la rejilla durante el proceso de investigación.

Además, se recomienda a los investigadores que utilicen las tablas que contienen los valores específicos del factor "K" al realizar mediciones de caudal en campo mediante el método del flotador. Este factor es fundamental para corregir el caudal aforado y garantizar mediciones precisas; asegurándose de seleccionar el valor apropiado de “K” para cada tipo de flotador utilizado en la medición para obtener resultados exactos y confiables en el proceso de aforo.

Finalmente, se aconseja a los investigadores a considerar la validación de los resultados obtenidos a través de esta base de datos utilizando otros métodos de medición de aforo de caudales tales como: Medidor Parshall, Método de vertederos y orificios para comparar y determinar cuál ofrece la mayor precisión en los resultados.

## REFERENCIAS

- Alan Neill, D., & Cortez Suárez, L. (2018). *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica*. Machala : Universidad Técnica de Machala.  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12498>
- Ardila, E. (2022). *Ejercicios Resueltos Sobre Propiedades Geométricas en Canales* PDF | Science | Ingeniería. Scribd.  
<https://es.scribd.com/document/424697551/Ejercicios-Resueltos-Sobre-Propiedades-Geometricas-en-Canales>
- Arias Gonzáles, J. L. (2020). *Técnicas e instrumentos de investigación científica*. Enfoques Consulting EIRL.  
<http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2238>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Novales, M. G. M. (2016). El protocolo de investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206.
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico: Manual. *Autoridad Nacional del Agua*.  
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3135>
- Calderón Mendoza, E. M. (2014). *Desarrollo de un sistema de control neuro-difuso de la distribución de agua en un tramo de un canal principal de riego*.  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5579>
- Callañaupa Tocto, O. A. (2019). Medición de caudales máximos en los ríos Chancay y Piura y, su influencia en el dimensionamiento de estructuras hidráulicas.  
Cerdan Mendoza, J; Valdivia Pompa, H

*Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).*

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/628200>.

Carballo Barcos, M., & Guelmes Valdés, E. L. (2016). Algunas consideraciones acerca de las variables en las investigaciones que se desarrollan en educación. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 140-150.

Castellanos, H. E., Collazos, C. A., Farfan, J. C., & Meléndez-Pertuz, F. (2017). Diseño y Construcción de un Canal Hidráulico de Pendiente Variable. *Información tecnológica*, 28(6), 103-114. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600012>

Condori Ojeda, P. (2020). *Universo, población y muestra*.

Espiritu C, E. (2014). *Hidráulica Aforo de caudales*

<https://www.slideshare.net/EdgarEspirituC/hidrulica-aforo>

García Marín, A., Roldán Cañas, J., Estévez, J., Moreno Pérez, F., Serrat-Capdevila, A., González, J., Francés, F., Olivera, F., Castro Orgaz, O., & Giráldez, J. V. (2014). La hidrología y su papel en ingeniería del agua. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), 1-14. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3048>

García Villanueva, N. (2016). *Hidráulica de canales: Principios básicos*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/2182>

Goicochea Infante, R. R. (2013). Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, distrito de Baños del Inca -Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/513>



González Alvarez, E. S. (2016). *Una nueva forma de estimación de las pérdidas de agua en sistemas con inadecuada medición de caudales*.  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/61036>.

Gutierrez Huaman, E. M. (2020). Consideraciones mínimas para el diseño hidráulico de proyectos de infraestructura menor en canales abiertos. *Universidad Peruana Unión*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3114>

Guzmán Ordoñez, G. A., & Vera Peláez, T. M. (2013). *Estudio del intercambio de agua superficial y agua subterránea en el río Cumbe* [BachelorThesis].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4520>

Hernandez Mendoza, S., & Duana Avila, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 9(17), Article 17.  
<https://doi.org/10.29057/icea.v9i17.6019>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación—(6ta edición)*.  
[https://www.academia.edu/24753853/Metodologia\\_de\\_la\\_Investigacion\\_Sampieri\\_6ta\\_edicion\\_](https://www.academia.edu/24753853/Metodologia_de_la_Investigacion_Sampieri_6ta_edicion_)

Hidalgo Tamayo, L. A. (2017). *Guía práctica para aforar canales y cauces naturales, utilizando instrumentación básica y de bajo costo* [Bachelor Thesis, Quito, 2017.].  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18851>

Huacca Mamani, J. L. (2018). Caudales, Aforos y Cálculos de las Persistencias. *Universidad José Carlos Mariátegui*.  
<https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/581>

Cerdan Mendoza, J; Valdivia Pompa, H

Mejía Rodríguez, E. J., & Rosas Ayala, G. P. (2015). *Cálculo de la velocidad media y el caudal con base en la velocidad superficial del agua en pequeñas corrientes*.  
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3208>.

MINAGRI. (2015). Manual N° 5: Medición de agua. *Autoridad Nacional del Agua*.  
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4291>

Mousalli, G. (2015). *Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa*.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2633.9446>

Muñoz Castillo, K. M. (2021a). *Diseño hidráulico para el mejoramiento del canal La Estrella en Ate—Lima*.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5352>

Muñoz Castillo, K. M. (2021b). *Diseño hidráulico para el mejoramiento del canal La Estrella en Ate—Lima*.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5352>

Nij Patzàn, J. E. de J. (2010). *Comprobación y Comparación de la Eficiencia de Aforo por Molinete, Flotadores y Trazador en un Cauce Pequeño*.  
[https://www.google.com/search?q=Comprobaci%C3%B3n+y+Comparaci%C3%B3n+de+la+Eficiencia+de+Aforo+por+Molinete%2C+Flotadores+y+Trazador+en+un+Cauce+Peque%C3%B1o&rlz=1C1VDKB\\_esPE1017PE1017&oq=Comprobaci%C3%B3n+y+Comparaci%C3%B3n+de+la+Eficiencia+de+Aforo+por+Molinete%2C+Flotadores+y+Trazador+en+un+Cauce+Peque%C3%B1o&aqs=chrome.69i59j69i60l3.428j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Comprobaci%C3%B3n+y+Comparaci%C3%B3n+de+la+Eficiencia+de+Aforo+por+Molinete%2C+Flotadores+y+Trazador+en+un+Cauce+Peque%C3%B1o&rlz=1C1VDKB_esPE1017PE1017&oq=Comprobaci%C3%B3n+y+Comparaci%C3%B3n+de+la+Eficiencia+de+Aforo+por+Molinete%2C+Flotadores+y+Trazador+en+un+Cauce+Peque%C3%B1o&aqs=chrome.69i59j69i60l3.428j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

- Panez Pinto, A. (2018). Agua-Territorio en América Latina: Contribuciones a partir del análisis de estudios sobre conflictos hídricos en Chile. *Revista Rupturas*, 8(1), 193-217. <https://doi.org/10.22458/rr.v8i1.1978>
- Placencio García, J. A. (2018). *Determinación de la velocidad del flujo en el río Yanuncay, por el método de flotadores* [Bachelor Thesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7820>.
- Rios Rojas, A. M. (2015). *CAPACITACION “BUENAS PRACTICAS EN MUESTREO, VARIABLES IN SITU Y AFORO DE CAUDALES EN AGUAS RESIDUALES, NATURALES Y TRATADAS”*.
- Rodríguez Ruiz, P. (2023). (DOCX) *Diseño de Canales Manning*. [dokumen.tips](https://dokumen.tips). <https://dokumen.tips/documents/disen-de-canales-manning.html>
- Romero Montes, V. J. G. (2021). Caudales, aforos y cálculo de las persistencias. *Universidad José Carlos Mariátegui*. <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1280>
- Rueda Urueña, O. F., & Chitiva Sánchez, M. A. (2016). *Análisis comparativo de tres métodos para la medición de caudales en canales abiertos*. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3367>
- Salazar Raymond, M. B., Icaza Guevara, M. de F., & Alejo Machado, O. J. (2018). La importancia de la ética en la investigación. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(1), 305-311.
- Sánchez Carlessi, H., Reyes Romero, C., & Mejía Sáenz, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. *Universidad Ricardo Palma*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/1480>
- Cerdan Mendoza, J; Valdivia Pompa, H

Sánchez Delgado, M. Á. (2014). *HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS*.

Torres Garzón, J. S., & Vivas Luna, J. L. (2018). *Modelación de una estructura hidráulica de confluencia de canales urbanos. Caso estudio: Río Arzobispo, Bogotá D.C.* <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/6d3d4a71-5c18-4775-8b0f-534c7bdfd598>

UNI. (2018). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA*.

Zapata, F. (2019, diciembre 20). *Número de Froude: Cómo se calcula y ejemplos*. Lifeder.  
<https://www.lifeder.com/numero-de-froude/>