

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SIFÓN
INVERTIDO CON BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA
LA CONDUCCIÓN DE AGUA**

Autor: Bach. Homar Santillan Gomez

Asesores: Dr. Fernando Isaac Espinoza Canaza

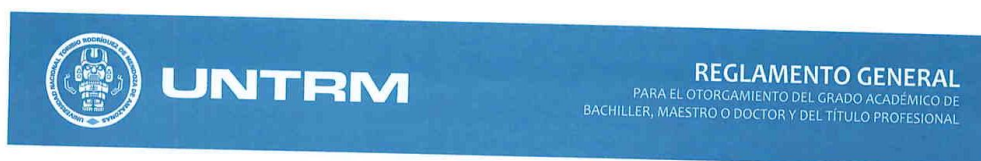
Mg. Wildor Gosgot Angeles

Registro:.....

CHACHAPOYAS-PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Santillan Gomez Homar
DNI N°: 48292611
Correo electrónico: 4829261113@untrm.edu.pe
Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Evaluación de la eficiencia de un sifón invertido con bomba de ariete hidráulico para la conducción de agua

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Espinoza Canaza, Fernando Isaac
DNI, Pasaporte, C.E N°: 00440560
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-6639-1970>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: GOSCOT ANGELES WILDOOR
DNI, Pasaporte, C.E N°: 70156443
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-7301-2809>

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Immunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
Ciencias de la Tierra, Ciencias Ambientales - Ciencias del Medio Ambiente

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, ... 6 / marzo / 2023

Firma del autor 1

Firma del Asesor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A Dios, por darme la vida, la salud y una familia.

A mis padres Franciles Santillan y Feliciana Gomez por haber estado ahí en todo momento que eh recorrido esta travesía de mi existencia.

A MIS HERMANOS

A mis hermanos, Wuilmer, Llanina y Jamil porque a pesar de todo, cada día me han apoyado y alentado a seguir.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Fernando Isaac Espinoza C y en especial a mi amigo Wildor Gosgot A, por su apoyo y asesoramiento en el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Miguel Ángel Barrena G y su familia por el apoyo que me han brindado en este proceso.

A demás familiares y amigos

Al Proyecto del Creación de Investigación en Climatología y Energías Alternativas (PROCICEA) por el soporte durante el desarrollo del proyecto y al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES).

A los jurados que me brindaron su aporte y conocimiento mediante las correcciones y ayudaron a mejorar y concluir el proyecto.

Con todos los mencionados quedo agradecido por haber formado parte en el trayecto de mi crecimiento profesional.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

Vicerrectora de Investigación

Ph.D. RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL


ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Evolución de la eficiencia de un sifón invertido con bomba de ariete hidráulico para la conducción de agua; del egresado Homar Santillan Gomez de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 1 de marzo de 2023


Firma y nombre completo del Asesor
Fernando Isaac Espinoza Canaza

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Evaluación de la eficiencia de un sifón invertido con bomba de ariete hidráulico para la conducción de agua del egresado Homar Santillan Gomez de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 1 de Marzo de 2023



Firma y nombre completo del Asesor

Mg. Wildor Gosgot Angeles




JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



M.Sc. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA

Presidente



M.Sc. JESÚS RASCÓN BARRIOS

Secretario



Dr. ERICK STEVINSON ARELLANOS CARRIÓN

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL.

ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Evaluación de la eficiencia de un sifón invertido con bomba de
ariete hidráulico para la conducción de agua

presentada por el estudiante ()/egresado (X) Homar Santillan Gomez

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional 4829261113@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 19 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 16 de marzo del 2023


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 27 de marzo del año 2023, siendo las 11.00 horas, el aspirante: Homar Santillan Gomez, asesorado por Dr. Fernando J. Espinoza Canaza y Mg. Wildor Gasgot Angeles defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SIFÓN INVERTIDO CON BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUA, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Secretario: M.Sc. Jesús Rascon Barrios

Vocal: Dr. Erick Stevinson Arellano Carrion

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12.35 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS	vi
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS	x
ÍNDICE	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS	20
2.1. Ubicación de la unidad de estudio.....	20
2.2. Diseño y construcción del sistema de sifón invertido	21
2.2.1. Soporte o trípode	21
2.2.2. Elaboración del dispositivo de carga.....	22
2.2.3. Cálculo de alturas desde la succión hasta la elevación del agua.....	22
2.2.4. Funcionamiento del sifón invertido.....	24
2.3. Implementación de la bomba de ariete hidráulico	25
2.3.1. Tanque de almacenamiento.....	25
2.3.2. Bomba de ariete hidráulico de una pulgada	26

2.3.3.	Toma de datos del caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico.....	27
2.4.	Eficiencia del sifón invertido con la bomba de ariete hidráulico	28
2.5.	Análisis estadístico del caudal elevado por la bomba de ariete.	28
III.	RESULTADOS	29
3.1.	Sistema de sifón invertido con la bomba de ariete hidráulico.....	29
3.2.	Conducción de agua con el sistema de sifón invertido y bomba de ariete hidráulico...	30
3.2.1.	Caudal extraído por el sifón invertido	30
3.2.2.	Caudal de alimentación a la bomba de ariete	31
3.3.	Caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico	31
3.3.1.	Caudal elevado con desnivel de 3 metros	31
3.3.2.	Caudal elevado con desnivel de 5 metros	33
3.3.3.	Caudal elevado con desnivel de 10 metros	34
3.4.	Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico	35
3.4.1.	Eficiencia de la bomba de ariete con altura de alimentación de 3 metros	35
3.4.2.	Eficiencia de la bomba de ariete con altura de alimentación de 5 metros	36
3.4.3.	Eficiencia de la bomba de ariete con altura de alimentación de 10 metros	37
IV.	DISCUSIÓN.....	39
V.	CONCLUSIONES	42
VI.	RECOMENDACIONES	43
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	ANEXOS.....	49
	Anexo 1. Registro de datos de caudal elevado por la bomba de ariete	49
	Anexo 2. Análisis estadístico del sistema sifón	50
	Anexo 3. Análisis estadístico de la bomba de ariete	51
	Anexo 4. Datos de caudal y eficiencia de la bomba de ariete	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Puntos medidos según la ubicación del sistema.....	23
Tabla 2	Caudal de alimentación a la bomba de ariete hidráulica.....	31
Tabla 3	Diferencias para el caudal según la altura elevada con 3 metros de desnivel.....	32
Tabla 4	Diferencias para el caudal según la altura elevada con 5 metros de desnivel.....	34
Tabla 5	Diferencias para el caudal según la altura elevada con 10 metros de desnivel.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación de la unidad de estudio.....	20
Figura 2.	Soporte o trípode.....	21
Figura 3.	Dispositivo de carga	22
Figura 4	Medición de alturas para cálculo de caudal de agua en la FACEA.....	23
Figura 5.	Medición de caudal que extrae el sifón invertido	24
Figura 6.	Alimentación a la bomba de ariete	25
Figura 7.	Diseño de la bomba de ariete hidráulico de 1’’	26
Figura 8.	Medición de caudal de acuerdo a las alturas elevadas.....	27
Figura 9.	Sistema de sifón invertido con bomba de ariete hidráulico.....	29
Figura 10.	Cantidad de agua extraída según el desnivel	30
Figura 11.	Caudal elevado por la bomba de ariete.....	32
Figura 12.	Caudal según la altura de elevación por la bomba de ariete.....	33
Figura 13.	Caudal elevado por la bomba de ariete en función de la altura.....	34
Figura 14.	Eficiencia de la bomba de ariete con 3 metros de desnivel	36
Figura 15.	Eficiencia de la bomba de ariete con 5 metros de desnivel	37
Figura 16.	Eficiencia de la bomba de ariete con 10 metros de desnivel	38

RESUMEN

Para extraer y bombear agua existen diferentes dispositivos como motobomba, electrobomba, bombeo solar, pero, estos dispositivos dependen de una fuente energía fósil o de electricidad, generando emisión de gases de efecto invernadero. Por ello, la investigación evaluó la eficiencia del sifón invertido para extraer agua de un pozo, y bomba de ariete hidráulico para elevar agua sin el uso energía convencional. Dicho sistema fue diseñado y construido con materiales accesibles para su fácil replicación. Las pruebas de funcionamiento del sifón se realizaron con desniveles de 1, 2, 3 y 4m, cuyo caudal extraído fue desde 15,95 l/min a 59,06 l/min. La bomba de ariete fue ubicada a desniveles de 3, 5 y 10 m. Para un desnivel de tres metros, se logró elevar el agua a una altura 12, 15, 18 y 21 m de altura con caudales 2,79 l/min, 1,41 l/min, 0,75 l/min y 0,49 l/min y eficiencias de 5,27%, 2,66%, 1,43% y 0,92%, respectivamente. A un desnivel de cinco metros se elevó el agua a 14, 17, 20 y 23 m con caudales 3,29 l/min, 2,10 l/min, 1,52 l/min y 1,06 l/min y eficiencias de 5,01%, 3,20%, 2,32% y 1,62%, respectivamente. Por último, a un desnivel diez metros se elevó a 19, 22, 25 y 28 m con caudales de 6,1 l/min, 5,4 l/min, 4,15 l/min y 3,33 l/min y eficiencias de 7,54%, 6,79%, 5,33% y 4,18%. De ahí que, el sistema es apto para conducir de agua de fuentes lentas y distintas topografías.

Palabras clave: Caudal, desnivel, altura, eficiencia, agua, energía.

ABSTRACT

To extract and pump water there are different devices such as motor pump, electric pump, solar pumping, but these devices depend on a fossil energy source or electricity, generating greenhouse gas emissions. Therefore, the research evaluated the efficiency of an inverted siphon to extract water from a wellbore, and a hydraulic ram pump to lift water without the use of conventional energy. The system was designed and constructed with affordable materials for easy replication. The functioning tests of the siphon were carried out with slopes of 1, 2, 3 and 4 m, and the extracted flow rate ranged from 15.95 l/min to 59.06 l/min. The ram pump was placed at 3, 5 and 10 m. For a head of three meters, water was lifted at a height of 12, 15, 18 and 21 m with flow rates of 2.79 l/min, 1.41 l/min, 0.75 l/min and 0.49 l/min and efficiencies of 5.27%, 2.66%, 1.43% and 0.92%, respectively. At a difference in level of five meters, water was raised to 14, 17, 20 and 23 m with flow rates of 3.29 l/min, 2.10 l/min, 1.52 l/min and 1.06 l/min and efficiencies of 5.01%, 3.20%, 2.32% and 1.62%, respectively. Finally, at a difference in level of ten meters, it was raised to 19, 22, 25 and 28 m with flow rates of 6.1 l/min, 5.4 l/min, 4.15 l/min and 3.33 l/min and efficiencies of 7.54%, 6.79%, 5.33% and 4.18%. Hence, the system is suitable for driving water from slow sources and different topographies.

Keywords: Flow, slope, height, efficiency, water, energy.

I. INTRODUCCIÓN

Gran parte de la población mundial tanto rural y urbana viven con acceso limitado al agua (Messakh y Punuf, 2020). El inconveniente para disponer de este recurso en su mayoría no se debe a la falta de agua, sino a la topografía de las zonas que están formados por valles, acantilados, montañas que dificultan su acceso y su conducción (Dana y Gah, 2021). Por otro lado, se suman factores como el crecimiento poblacional, cambio climático, desigualdad en la distribución del recurso hídrico (Achore y Bisung, 2022). Todo esto, ha provocado la búsqueda de alternativas no tradicionales de aprovechamiento sostenible del agua, y poder adaptarlos de acuerdo a las necesidades de las poblaciones (Cooley, Phurisamban y Gleick, 2019). Por lo cual, se hace prioritario una excelente gestión y planificación tanto para la explotación, conducción, distribución (Karayel et al., 2017; Unesco, 2016).

Su conducción puede ser mediante canales abiertos, tuberías y mangueras, pero cuando se quiere elevar el agua a una altura determinada y transportarlo a diversos lugares para su uso, es necesario contar con una fuente de energética (Fu et al., 2020), comúnmente para el bombeo del agua se utilizan motores eléctricos o a combustión (Tang et al., 2021). Sin embargo, estos consumen mucha energía eléctrica o combustible, lo que genera incremento en los costos sobres todo en la producción agropecuaria, lo que disminuye los beneficios y la capacidad competitiva de los agricultores en los mercados (Fu et al., 2020). Entonces, ¿Qué alternativas sostenibles energéticamente podemos utilizar para transportar el agua sin generar costos adicionales e impactos en el medio ambiente?, una alternativa es el sifón invertido y la bomba de mecate para extraer el agua (Lee et al. 2020). Mientras que, el ariete hidráulico, la bomba de turbina, y la rueda hidráulica se utilizan para elevar el agua (Zulfan y Ginting, 2022). En ese sentido, el presente estudio se hizo uso del sifón y el ariete hidráulico.

La primera alternativa como se mencionó en el párrafo anterior es el sifón, que es un mecanismo automatizado que se emplea para trasladar el agua de forma continua utilizando una manguera en forma de “U” invertida hacia un lugar de descarga que está por debajo del nivel inicial del agua, es decir por gravedad (Yenphayab, 2019). Este dispositivo se viene utilizando desde la antigüedad aproximadamente hace unos 2000 años en Alejandría (Vera et al., 2016). Por otro lado Yenphayab (2019), afirma que en la actualidad no existen estudios con rigurosidad científica en la conducción del agua con sifón invertido.

Sin embargo, existen estudios de aplicación del sifón en otras circunstancias como, por ejemplo: Rizzuan et al. (2021) revisaron los principios del sifón con el objetivo de controlar la acumulación de sedimentos en los embalses, debido a que provocan daños ambientales, la capacidad de controlar la escorrentía, el nivel de acopio de agua e inundaciones.

Por otro lado, Tohari et al. (2021) utilizaron los sifones para extraer el agua de un talud y reducir el nivel freático con el propósito de controlar la escorrentía de una ladera y prevenir la ocurrencia de deslizamientos y mantener la integridad de los suelos. Asimismo, Sun et al. (2013) en una simulación para el transporte del agua con sifón invertido de grandes proporciones en el Proyecto de Transferencia de Agua de Sur a Norte de Taiwan demostraron que si era viable la conducción. Para su evaluación propusieron un modelo tridimensional de flujo bifásico agua-aire más el método VOF (volumen de fluido), y obtuvieron una capacidad de flujo del sifón invertido de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ clasificándolo como suficiente y que cumple con los requisitos para ser validado y puesto en marcha en una obra de ingeniería real.

Zulfan y Ginting (2022), usaron dos sifones de 0,3 m y 0,5 m de diámetro y 97 metros. Analizaron su capacidad de descarga, lavado de sedimentos y patrón de flujo; obtuvieron un rendimiento de descarga de $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$, además observaron que la tubería de 0,5 m de diámetro era

mejor para el lavado de sedimentos de un estanque. También, Yenphayab (2019) estudió el rendimiento de la bomba de sifón, realizando experimentos a diferentes alturas, diferentes diámetros, distancia de la tubería y el efecto que tiene el desnivel en el caudal entregado, por lo que concluyó que la bomba de sifón es más funcional al aumentar el desnivel (ΔH) y ampliar el diámetro de la tubería de descarga. Por otro lado Fu, Guo, Kashani, y Wu (2020) su artículo de investigación, consideran que es importante tomar en cuenta las condiciones climáticas al momento de instalar el sifón invertido, esto porque demostraron que el funcionamiento de los sifones invertidos son afectados por los bloques de hielo en las regiones frías.

Hughes et al. (2021), emplearon un sistema de sifón para el llenado de un tanque 5000 L, a través de un tubo de polietileno de 25 mm de diámetro con una distancia de separación desde el sifón hasta el tanque de almacenamiento 16 metros, todo esto en tiempo estimado de 5 h con un caudal de 0,28 l/s, este resultado fue comparado con el valor teórico alcanzado por el método de Hazen Williams obteniendo resultados similares.

En tanto que la segunda alternativa es la bomba de ariete hidráulico (BAH), que es un mecanismo de bombeo de agua potable y de riego que utiliza únicamente la energía potencial de arroyos, manantiales, quebradas y ríos, causada por la fuerza gravitacional para elevar una determinada cantidad de agua utilizando el fenómeno de golpe de ariete, que se propicia por el cierre periódico de la(s) válvula(s) de descarga (Hussin et al., 2017; Guo et al., 2018).

En base a esta alternativa, se presentan estudios realizados por diversos investigadores: Maw y Htet (2014), construyeron una bomba de ariete hidráulico con longitud de tubería de impulsión desde el reservorio hasta la bomba de 7,2 m y desnivel de 1,2 m, lograron elevar 1800 litros por día a un tanque de almacenamiento ubicado a 15 metros de altura, obtuvieron un rendimiento de 48,85 % del sistema. Por otro lado, Jafri et al. (2020), evaluaron el rendimiento de

una bomba de ariete hidráulico de 3 pulgadas obteniendo una eficiencia de 36,14 % a 67,66 % respectivamente. Asimismo, Ahmad et al. (2021), realizaron diversas pruebas de rendimiento de la BAH y obtuvieron un máximo de 62 %. Inthachot et al. (2015), utilizaron la bomba de ariete hidráulico para conducir agua a un reservorio para regar plantaciones de café durante 6 semanas, obteniendo una eficiencia de bombeo de 44 %.

Por su parte, Lee et al. (2016) evaluaron la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico en tres puntos según el desnivel P1=19 m, P2=30 m y P3=40 m y obtuvieron de 8,6 – 10,8 m³/día de agua en el primero, 3,98 – 4,39 m³/día en el segundo y 2,35 – 2,59 m³/día en el tercero respectivamente, los resultados sugieren que el sistema es aplicable para cualquier desnivel para el suministro de agua. En tanto, Sarip et al. (2019) elevaron 7000 litros/día (4,86 l/min) de agua a una altura de 20 m obteniendo un rendimiento del 62 % con una bomba de ariete hidráulico de tres pulgadas. En cambio Mishra, Bhagat, & Jyoti, (2018), obtuvieron rendimiento máximo de 51,49 % y un mínimo de 32 %.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, la presente investigación evaluó la eficiencia de un sifón invertido con bomba de ariete hidráulica, para la conducción de agua de un pozo. Para ello, se diseñó y construyó el sistema de sifón invertido y la bomba de ariete, luego se implementó dicho sistema a diferentes desniveles de succión del sifón invertido (uno, dos, tres y cuatro metros), y la bomba de ariete con respecto al recipiente de alimentación con desniveles de tres, cinco y diez metros, para luego evaluar la descarga de caudal a diferentes alturas de elevación. Por último, se realizó en análisis de eficiencia de todo el sistema para conducir el agua de pozo sin utilizar energía eléctrica.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación de la unidad de estudio

La investigación se desarrolló en el campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (Figura 1). Esto es, porque existe una fuente estacionaria de abastecimiento de agua, la cual está ubicada a la parte posterior del pabellón de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias (FICA) y al lado de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas (FACEA) donde se instaló el sifón invertido con la bomba de ariete hidráulico. El dispositivo está ubicado en Latitud $6^{\circ}14'1.73''\text{S}$ y Longitud $77^{\circ}51'16.07''\text{O}$.

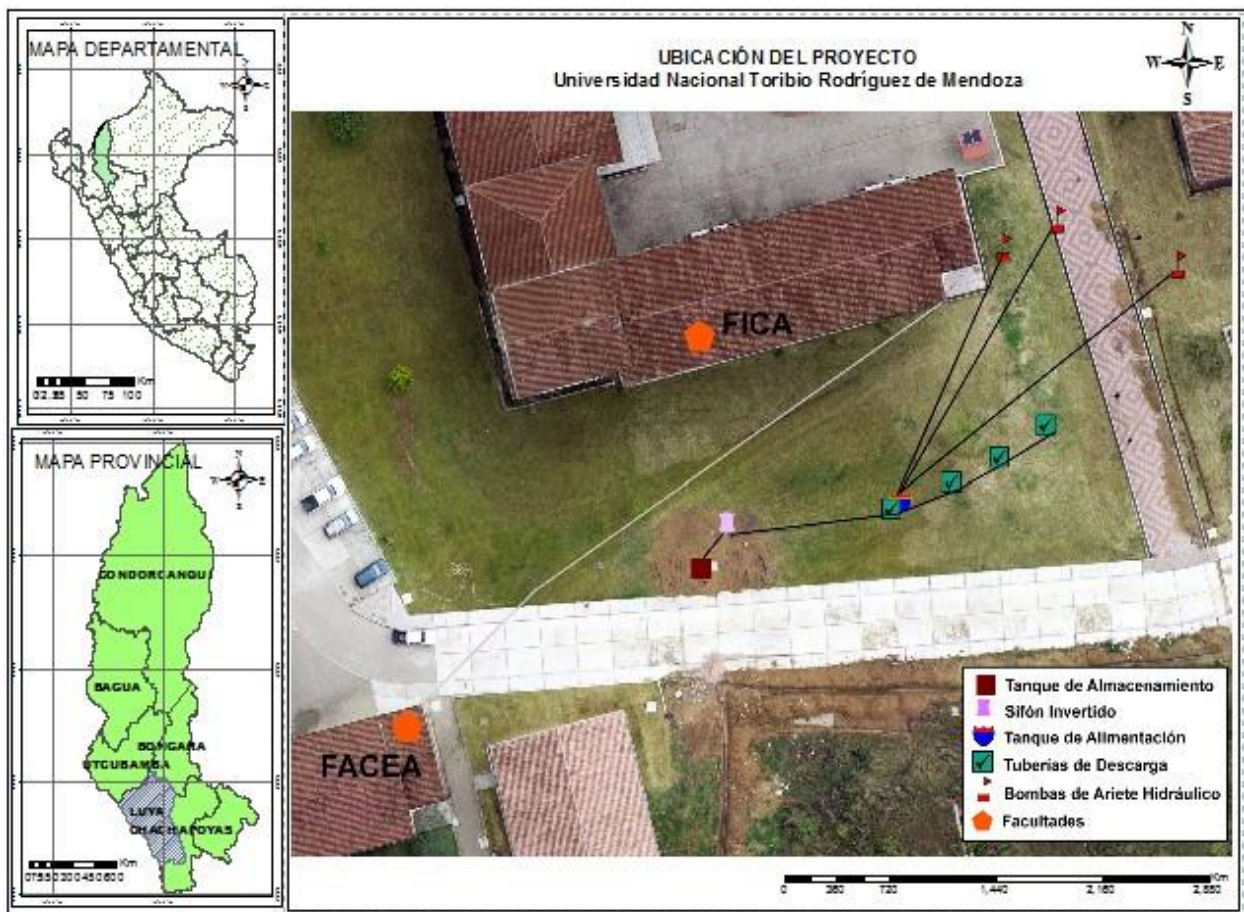


Figura 1. Mapa de ubicación de la unidad de estudio.

2.2. Diseño y construcción del sistema de sifón invertido

Se diseñó y construyó el prototipo de sifón invertido para extraer agua de fuentes lentas (pozos, laguna, manantial, etc.), para lo cual se tomó en consideración lo desarrollado por Koech, Smith y Gillies (2010) y Yenphayab (2019). El dispositivo fue construido con materiales reciclados como fierro corrugado, tubos de una pulgada, depósito tipo tambor, válvulas, tubería y uniones como se muestra en las Figuras 2 y 3.

2.2.1. Soporte o trípode

El soporte sirve como base para anclar el tanque de carga, está fabricado de fierro. Para la elaboración de la estructura en forma de trípode se utilizó fierro de acero (tubo de 1", fierro corrugado de 1/2" y 3/8"), soldado con electrodo punto azul, con la finalidad de obtener mejor resistencia, y sirva de sostén al dispositivo de carga y también tenga resistencia a los elementos de la intemperie, con una altura total de 1 metro por 1.20 metros de ancho.

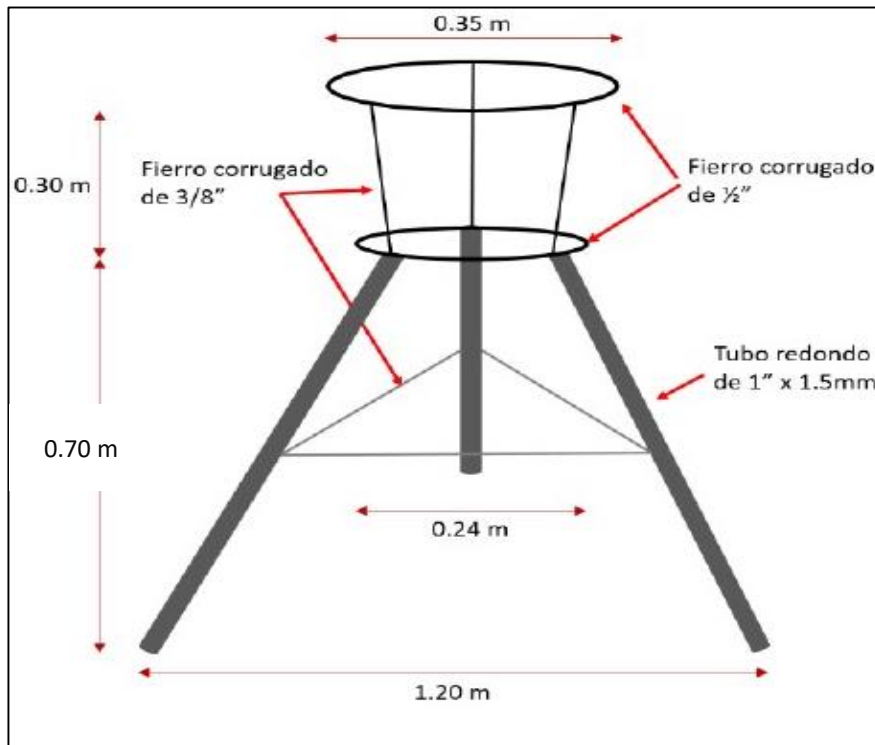


Figura 2. Soporte o trípode

2.2.2. Elaboración del dispositivo de carga

Se elaboró utilizando un depósito tipo tambor de 50 litros, tubos PVC, reducciones de 1.5" a 1", válvulas de control de agua de 1", tee de 1", válvula check de fondo de 1", adaptadores de manguera a tubo de 1", manguera 1", uniones de 1", etc. Como se ve en la Figura 3.

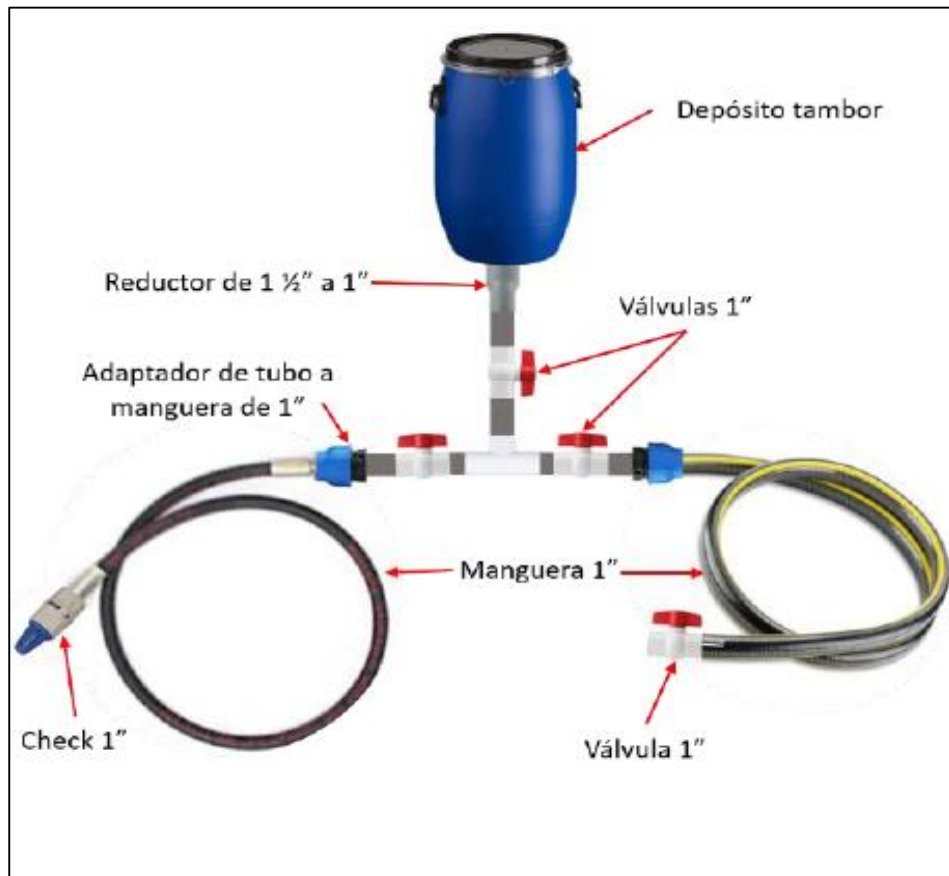


Figura 3. Dispositivo de carga

2.2.3. Cálculo de alturas desde la succión hasta la elevación del agua

Se realizaron las mediciones de las distancias para la ubicación adecuada del sifón, la bomba de ariete, la tubería de salida y de descarga ubicado en la FACEA. Para ello, se utilizó un Dron (RPAs) Tipo Phantom 4RTK que pertenece al Laboratorio de Geomática y Teledetección del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) y las medidas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Puntos medidos según la ubicación del sistema

N°	Puntos medidos	Distancia	Desnivel
1	Primer piso de la FACEA – Sifón invertido	42 metros	7 metros
2	Sifón invertido – Tanque de Alimentación	16 metros	2 metros
3	Ingreso de la línea de succión – Salida	16 metros	1 metros
4	Ingreso de la línea de succión – Salida	20 metros	2 metros
5	Ingreso de la línea de succión – Salida	24 metros	3 metros
6	Ingreso de la línea de succión – Salida	28 metros	4 metros
7	Tanque de alimentación – Bomba de ariete	30 metros	3 metros
8	Tanque de alimentación – Bomba de ariete	35 metros	5 metros
9	Tanque de alimentación – Bomba de ariete	40 metros	10 metros

Después, se hicieron las mediciones de las alturas en la FACEA. Se utilizó una cinta métrica de 20 metros desde el primer piso de la hasta el cuarto piso (Figura 4).

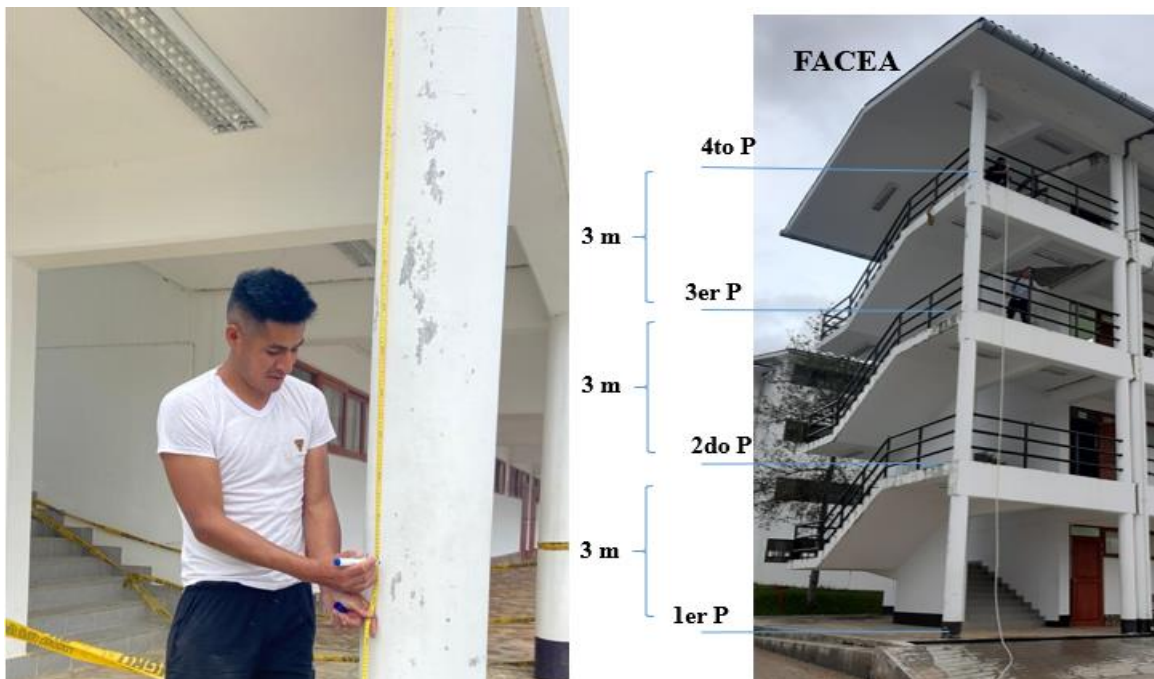


Figura 4 Medición de alturas para cálculo de caudal de agua en la FACEA

2.2.4. Funcionamiento del sifón invertido

Se realizó la extracción de agua de lluvia que se está almacenado en un tanque de 30 m³ lleno a su máxima capacidad. Para que el sifón empiece a funcionar, primero se hace el llenado con agua al dispositivo de carga, luego se procedió a abrir la válvula de control que va a la tubería de succión hasta llenarlo y no haya aire en su interior, después se procedió a llenar la tubería de descarga, una vez igualado los flujos, el agua pueda fluir constantemente por acción de la gravedad y el desnivel (ΔH). Para que el sifón invertido trabaje de manera constante debe que existir un ΔH mínima de un m entre la tubería de succión y la tubería de descarga. Después, se realizó las mediciones de caudal en los cuatro puntos de descarga a 16 m, 20 m, 24 m y 28 m. para lo cual, se utilizó un cronómetro y un recipiente graduado (Figura 5). Cada uno de los experimentos se repitió 10 veces para mejor sustento estadístico.

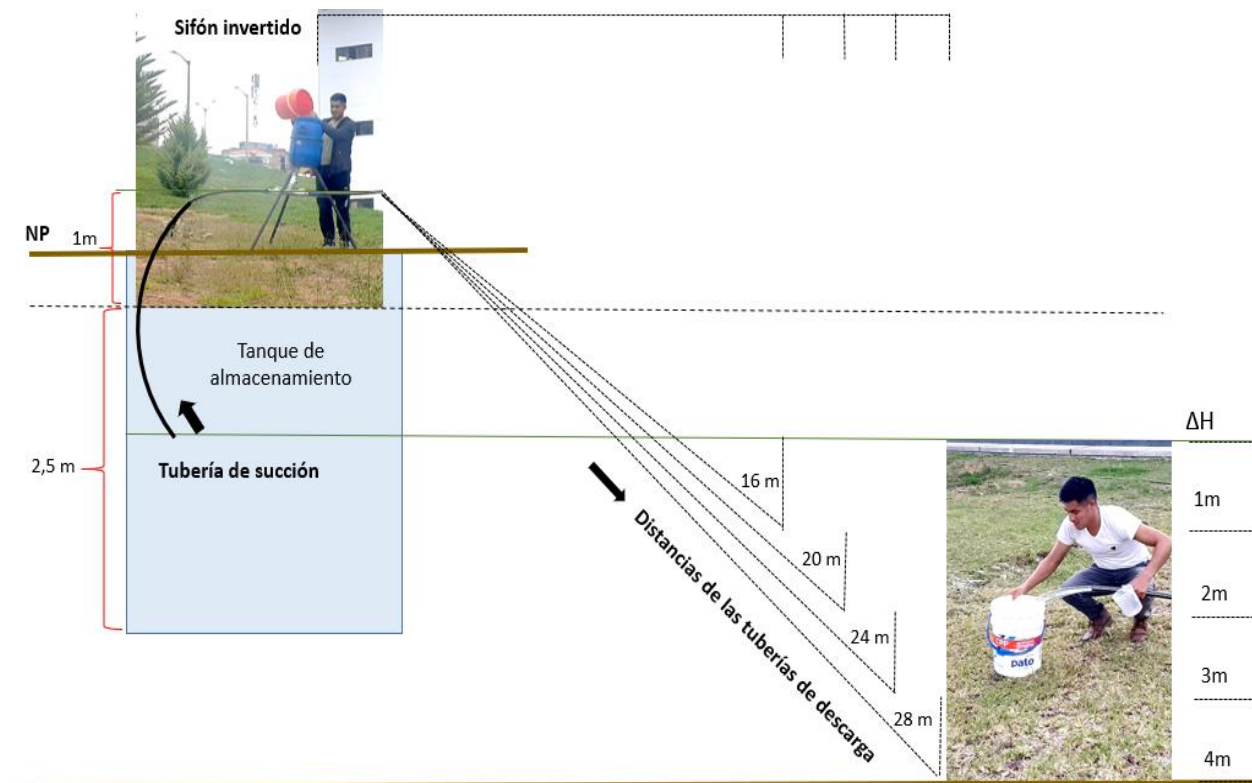


Figura 5. Medición de caudal que extrae el sifón invertido

2.3. Implementación de la bomba de ariete hidráulico

2.3.1. Tanque de almacenamiento

Para poder alimentar a la bomba de ariete hidráulico, primero se construyó el tanque de alimentación. Para ello, se utilizó un cilindro de polietileno de 200 litros donde ingresa el agua que viene desde el sifón invertido, y en la parte inferior del tanque se instaló la salida que va hacia la bomba de ariete. Se utilizó una válvula de una pulgada, Niple una pulgada, teflón y adaptador de tubería a manguera de una pulgada. La bomba de ariete hidráulico fue colocada en tres alturas diferentes (ΔH): tres, cinco y 10 metros con 30 m, 35 m, y 40 m respectivamente de distancia de tubería (Figura 6). La descripción de la bomba de ariete hidráulico de una pulgada se encuentra en el apartado 2.3.2.

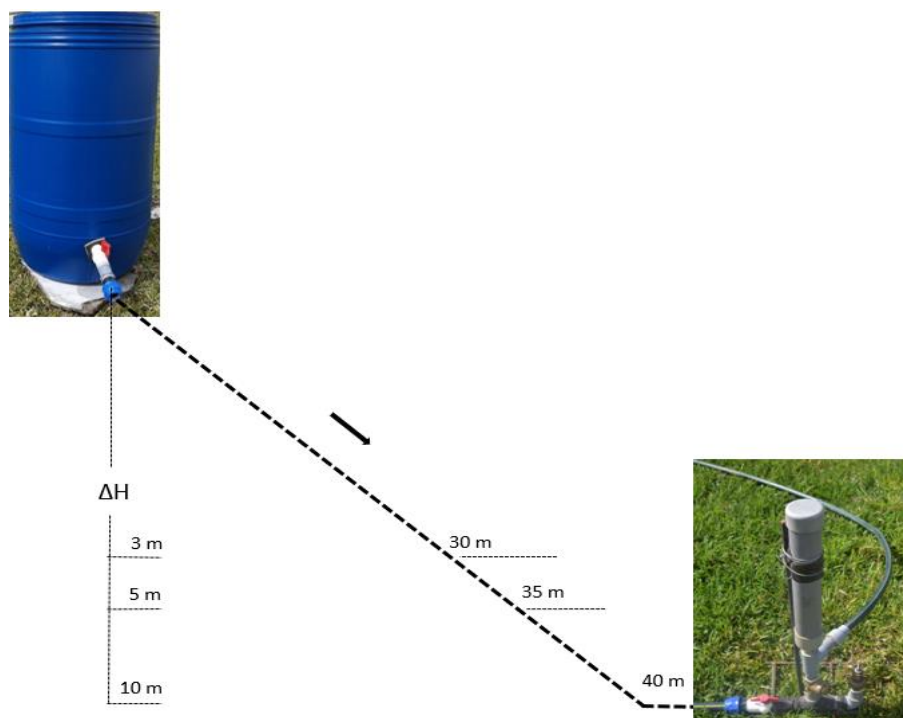


Figura 6. Alimentación a la bomba de ariete

2.3.2. Bomba de ariete hidráulico de una pulgada

La Figura 7 muestra la bomba de ariete hidráulica de 1'' que fue construido con anterioridad por el Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón investigador de la UNTRM, para lo cual utilizó una llave de paso de una pulgada, uniones de una pulgada, Tee de una pulgada, codo de una pulgada, Válvula de retención de una pulgada, Válvula de impulso de una pulgada, reducción de dos pulgadas a una pulgada y para cámara de aire un tubo de dos pulgadas de 60 cm de largo, este dispositivo fue la que se utilizó para impulsar el agua hacia la parte superior. Este es un mecanismo que utiliza la energía potencial y cinética del agua para impulsarlo hacia arriba, mediante la fuerza que generan los golpes de ariete, pasando por la válvula de retención y la cámara de aire.

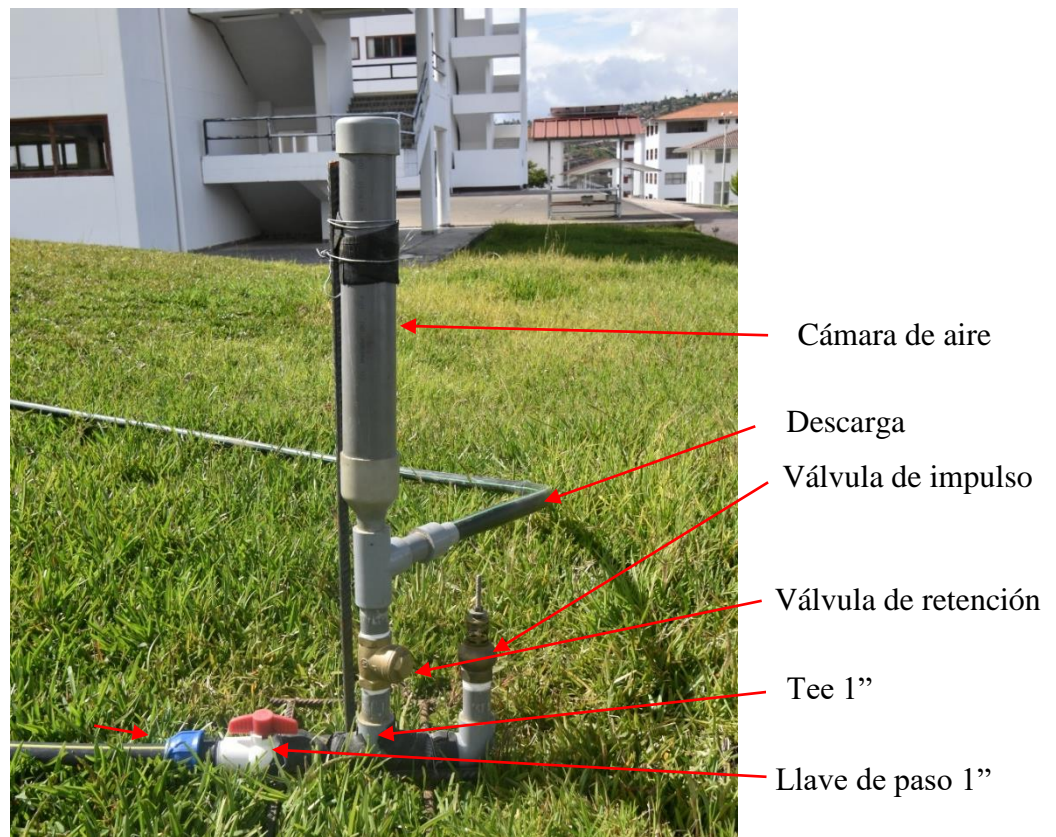


Figura 7. Diseño de la bomba de ariete hidráulico de 1''

2.3.3. Toma de datos del caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico

La toma de datos del caudal elevado se realizó en los 4 niveles de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, por cada uno de los desniveles que fueron a tres, cinco y 10 metros. La distancia a la que la bomba de ariete elevó con tres metros de desnivel fue desde los 12, 15, 18 y 21 metros, con desnivel de cinco metros, la altura de agua elevada fue desde 14, 17, 20 y 23 metros y con desnivel de 10 metros se midió el agua elevada desde 19, 22, 25 y 28 metros como lo indica la Figura 8. Se realizó 10 repeticiones por cada uno de los niveles de entrega del agua y fueron registrados en la tabla (Anexo 1).

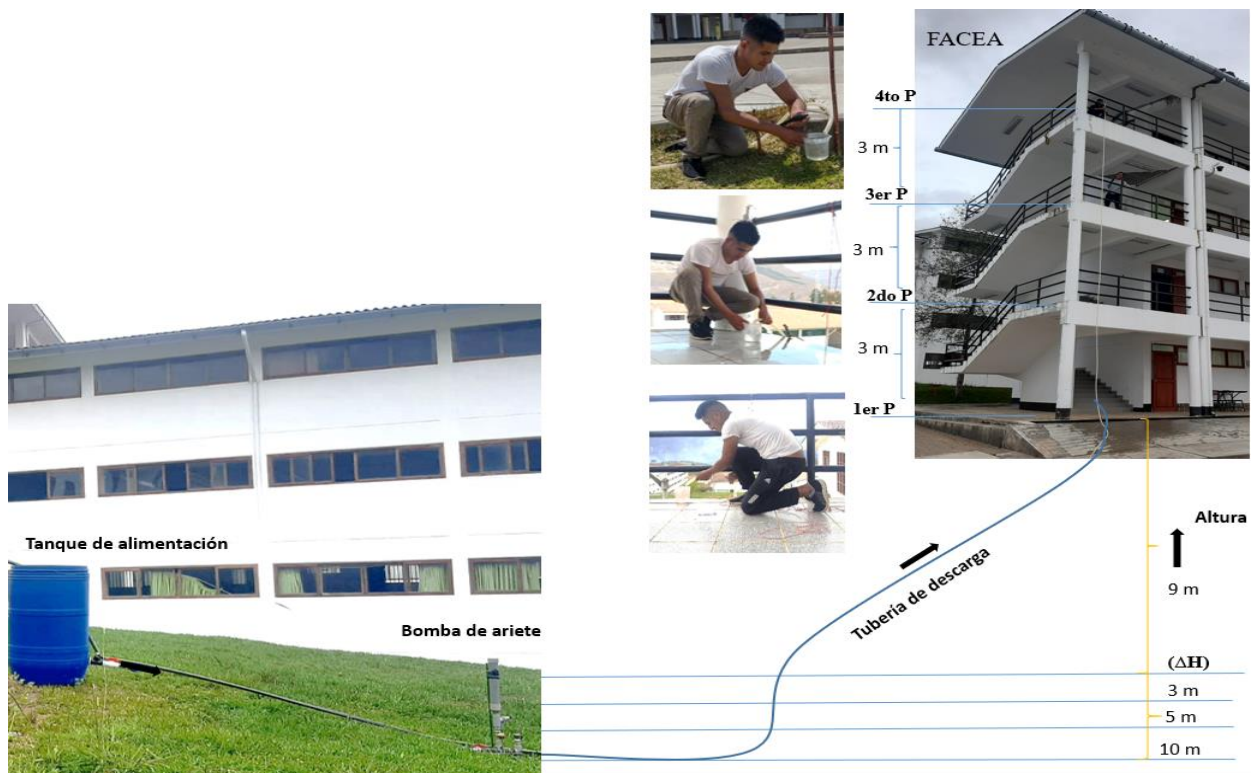


Figura 8. Medición de caudal de acuerdo a las alturas elevadas

2.4. Eficiencia del sifón invertido con la bomba de ariete hidráulico

La eficiencia (η) de la bomba de ariete hidráulico es el cociente entre el caudal elevado (Qe) y el caudal de alimentación (Qa) (ecuación 1). El valor de Qa es la suma del caudal desechado (Qd) por los golpes de ariete más el más el caudal elevado Qe ; se calcula con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Qe}{Qa} \quad (1)$$

Fuente: Mori y López, (2011).

Donde:

η : eficiencia de la bomba de ariete hidráulico.

Qe : caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico.

Qa : caudal de alimentación de la bomba ($Qa = Qd + Qe$)

Qd : caudal que se pierde por los golpes de ariete al impulsar el agua

Qe : caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico

2.5. Análisis estadístico del caudal elevado por la bomba de ariete.

Los datos recolectados de caudal elevado por la bomba de ariete de acuerdo al desnivel de alimentación (tres, cinco y 10 metros), se analizaron las diferencias para caudal según la altura elevada, al tener diferencias significativas entre los filtros, se hace una prueba post hoc para ver cómo se diferencian las alturas elevadas o grupos. Después se aplicó la prueba estadística de Kruskal-Wallis siendo esta un parámetro estadístico no paramétrico.

III. RESULTADOS

3.1. Sistema de sifón invertido con la bomba de ariete hidráulico

La Figura 9 muestra el funcionamiento completo desde la succión de agua con el sifón invertido hasta el tanque de alimentación pasando luego a la bomba de ariete. La bomba de ariete condujo el agua en una manguera hacia la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas (FACEA), por cada nivel fue medido la cantidad de caudal entregado.

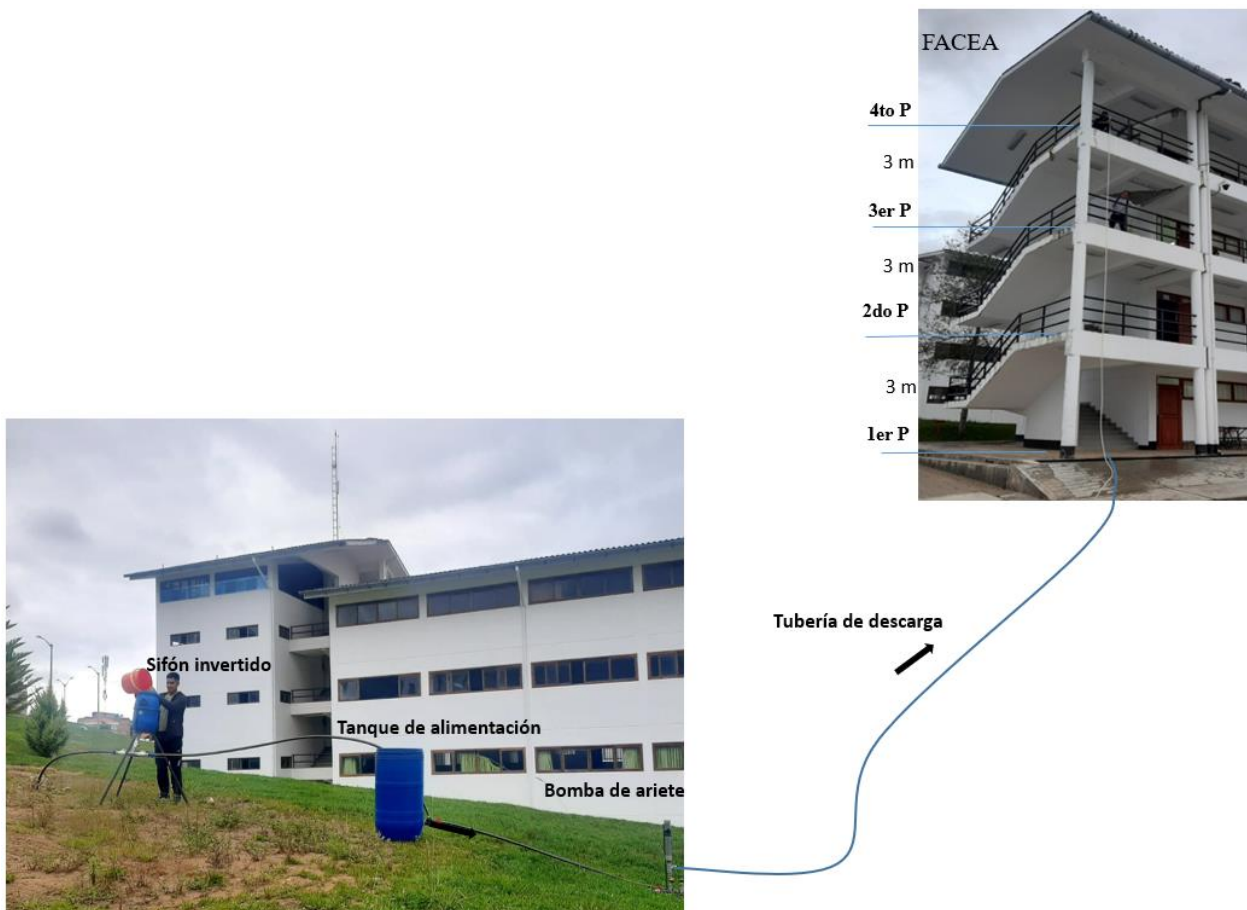


Figura 9. Sistema de sifón invertido con bomba de ariete hidráulico

3.2. Conducción de agua con el sistema de sifón invertido y bomba de ariete hidráulico

3.2.1. Caudal extraído por el sifón invertido

En la Figura 10 se muestra la tasa de descarga respecto a la longitud de tubería de cada prueba realizada al sifón con desniveles de uno, dos, tres y cuatro metros en cual se ha conducido agua con un caudal 15.92 l/min, 25.83 l/min, 37.75 l/min y 59.06 l/min, respectivamente (Anexo 2). De la cual se puede decir, que a mayor desnivel se tendrá mayor tasa de descarga. Podemos decir que, con desnivel de 1 metro en 66 minutos se puede llenar un tanque de 1 m³ y con desnivel de cuatro metros se puede llenar en 16 minutos.

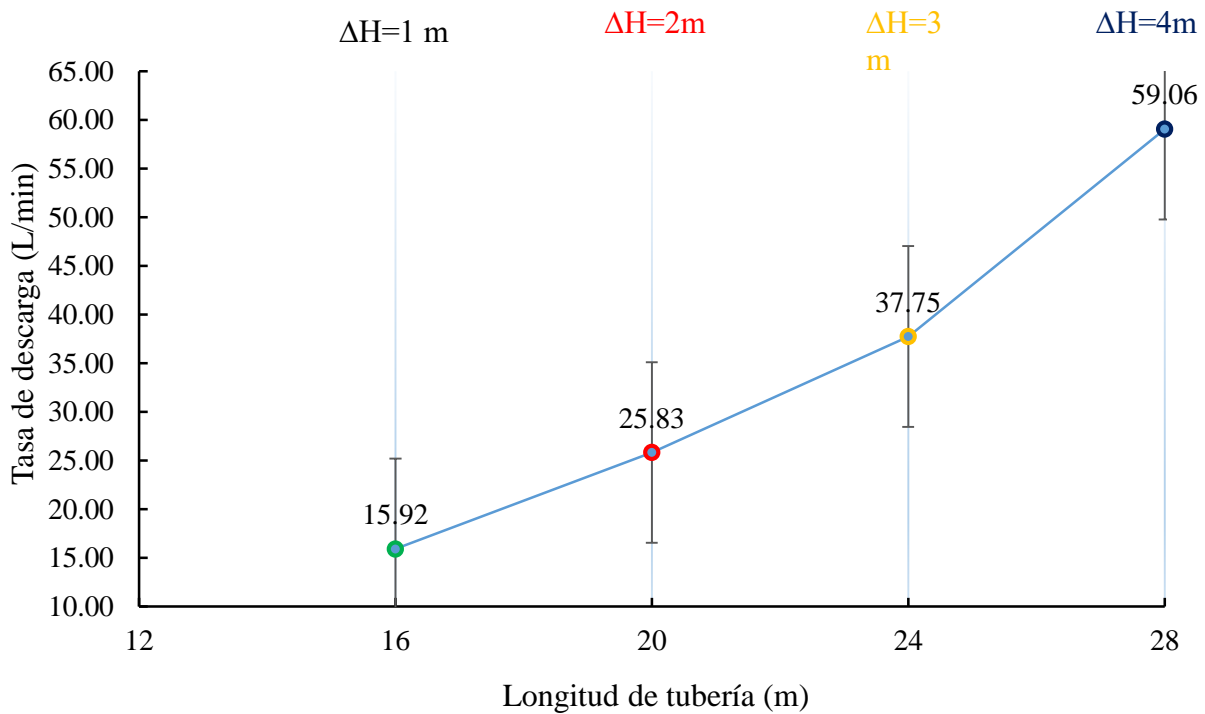


Figura 10. Cantidad de agua extraída según el desnivel

3.2.2. Caudal de alimentación a la bomba de ariete

En la Tabla 2, los resultados nos muestran que a tres metros de desnivel entre el tanque de alimentación y la bomba de ariete nos da un volumen de 52,96 l/min, a cinco metros 61,98 L/min y a 10 metros 80 l/min. Como vemos a cuanto mayor desnivel mayor es la cantidad de agua obtenida que llega a la bomba. Esto significa, que en 18,8 minutos podemos llenar un tanque de 1 m³ con el primero, con el segundo en 15,2 minutos y con el tercero en 12,5 minutos.

Tabla 2

Caudal de alimentación a la bomba de ariete hidráulica

Altura de alimentación	Caudal (L/min)
3	52,96
5	61,98
10	79,79

3.3. Caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico

3.3.1. Caudal elevado con desnivel de 3 metros

La Figura 11 muestra el caudal elevado en relación con la altura de elevación. A 12 metros de altura de elevación se obtuvo un caudal de agua de 2,79 L/min. A 15 metros un caudal elevado de 1,41 l/min, a 18 metros un caudal elevado de 0,75 l/min y a 21 metros 0,49 l/min. Además, que conforme se incrementa la altura de entrega disminuye la cantidad de agua recibida. También se determinó la ecuación cúbica que modela el comportamiento de los valores de caudal y altura.

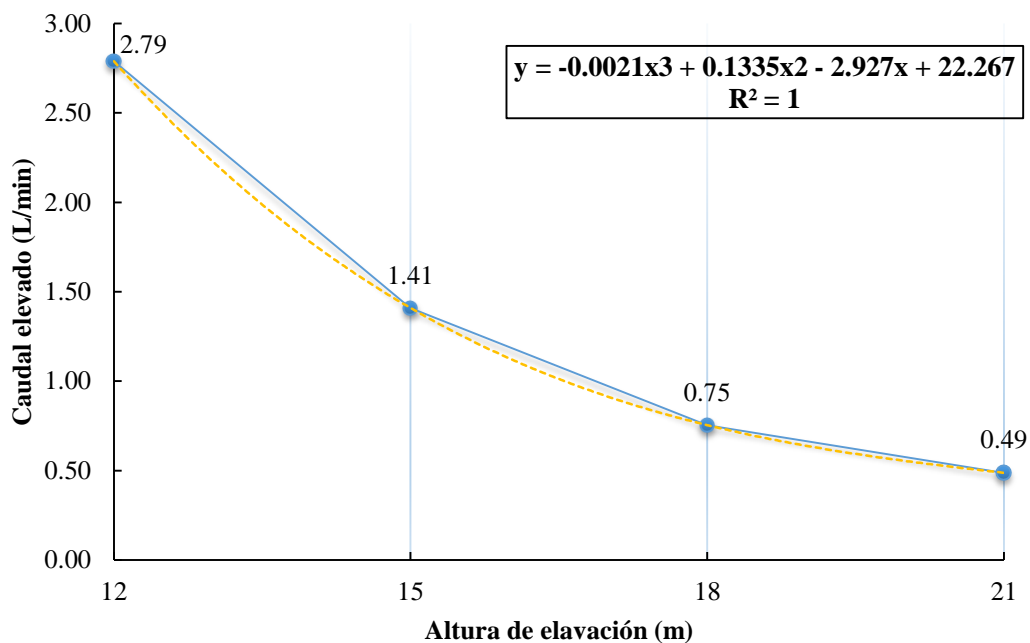


Figura 11. Caudal elevado por la bomba de ariete

También, se determinó si existe diferencias para el caudal de acuerdo a la altura elevada ($X^2=36.596$, $PVALOR = 5.603e-08$) por la bomba de ariete, esto se realizó mediante el Análisis estadístico de Kruskal-Wallis como se ve en la Tabla 3 y el Anexo 3.

Tabla 3

Diferencias para el caudal según la altura elevada con 3 metros de desnivel

Alturas	Mediana	n	Sig. Grupo *
12 m	2,798	10	a
15 m	1,405	10	b
18 m	0,755	10	c
21 m	0,488	10	d

* Letras distintas indican diferencias significativas $Pr(>|q|) < 0,05$.

3.3.2. Caudal elevado con desnivel de 5 metros

La Figura 12 muestra la cantidad de caudal en relación con la altura de elevación. A 14 metros de altura de elevación se obtuvo un caudal de agua de 3,29 l/min. A 17 metros un caudal elevado de 2,10 l/min, a 20 metros un caudal elevado de 1,52 l/min y a 23 metros 1,06 l/min. Estos datos, nos muestran que conforme se incrementa la altura de entrega disminuye la cantidad de agua recibida. También se determinó la ecuación cúbica que modela el comportamiento de los valores de caudal y altura.

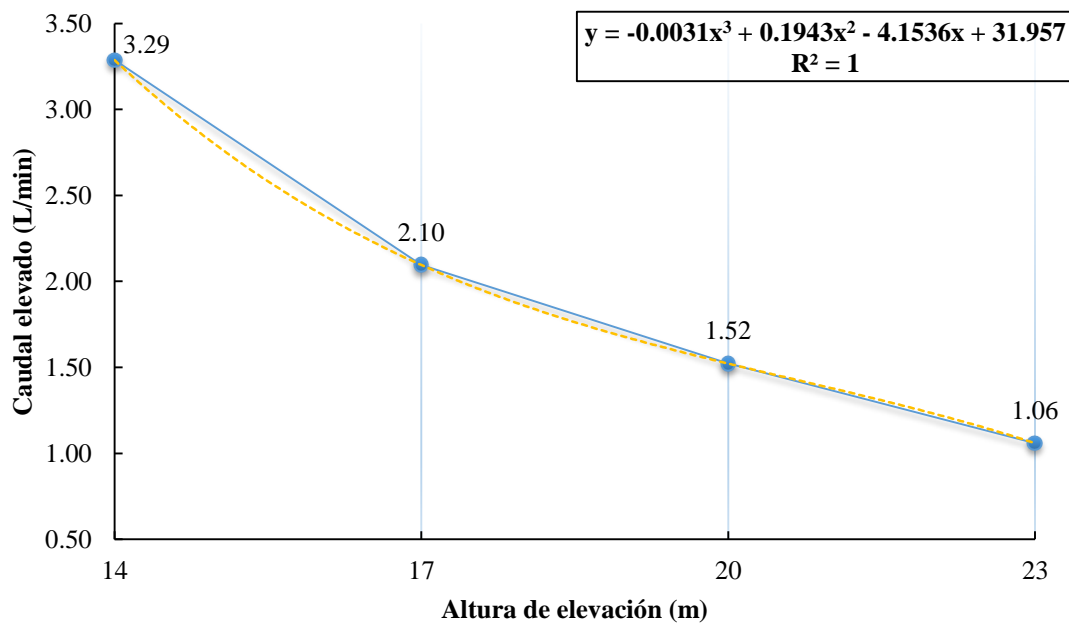


Figura 12. Caudal según la altura de elevación por la bomba de ariete

También, se determinó si hay diferencias para el caudal según la altura elevada ($X^2=36.589$, $PVALOR = 5.622e-08$) por la bomba de ariete, esto se realizó mediante el Análisis estadístico de Kruskal-Wallis como se ve en la Tabla 4 y el Anexo 3.

Tabla 4

Diferencias para el caudal según la altura elevada con 5 metros de desnivel

Caudales	Mediana	n	Sig. Grupo *
15 m	3,289	10	a
18 m	2,095	10	b
21 m	1,522	10	c
23 m	1,058	10	d

* Letras distintas indican diferencias significativas $Pr(>|q|) < 0,05$

3.3.3. Caudal elevado con desnivel de 10 metros

La Figura 13 muestra la cantidad de caudal en relación con la altura de elevación. A 19 metros de altura de elevación se obtuvo un caudal de agua de 6,01 l/min. A 22 metros un caudal elevado de 5,41 l/min, a 25 metros un caudal elevado de 4,26 l/min y a 28 metros 3,33 l/min. También se determinó la ecuación cúbica que modela el comportamiento de los valores de caudal y altura.

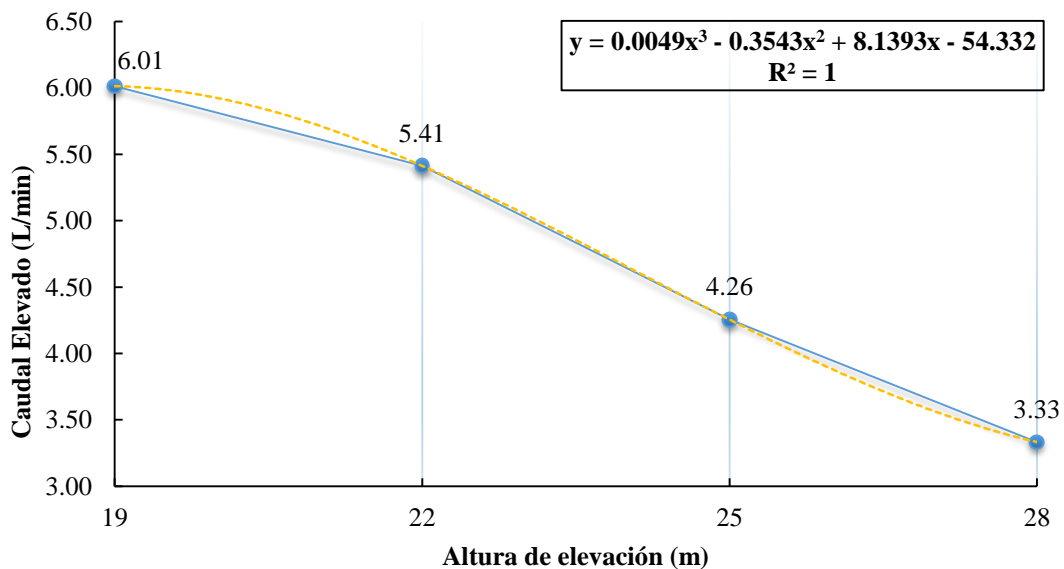


Figura 13. Caudal elevado por la bomba de ariete en función de la altura

Así mismo, se determinó si existe diferencias para el caudal según la altura elevada ($X^2=36.846$, $PVALOR = 1.937e-07$) por la bomba de ariete, esto se realizó mediante el Análisis Estadístico de Kruskal-Wallis como se ve en la Tabla 5 y el Anexo 3.

Tabla 5

Diferencias para el caudal según la altura elevada con 10 metros de desnivel

Caudales	Mediana	n	Sig. grupo *
19 m	6,003	10	a
22 m	5,592	10	b
25 m	4,310	10	c
28 m	3,334	10	d

* **Letras distintas indican diferencias significativas $Pr(>|q|) < 0,05$**

3.4. Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico

Se determinó la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico con las tres alturas de alimentación (3, 5 y 10 m). Primero se tuvo en cuenta el caudal de alimentación para cada una de ellas, el agua desechada por la bomba y la cantidad de agua elevada.

3.4.1. Eficiencia de la bomba de ariete con altura de alimentación de 3 metros

La eficiencia de la bomba de ariete hidráulico, con una altura de alimentación de tres metros, fue de 5,27 %, 2,66 %, 1,42 % y 0,92 %. La altura de elevación fue de 12, 15, 18 y 21 metros. Por cada uno de ellos, se elevó 2,79 l/min, 1,41 l/min, 0,75 l/min y 0,49 l/min (Anexo 4). Lo que significa, que conforme se incrementa la altura, disminuye le eficiencia y la cantidad de agua elevada, esto podemos ver en la Figura 14, donde también estos resultados permitieron determinar la ecuación cúbica.

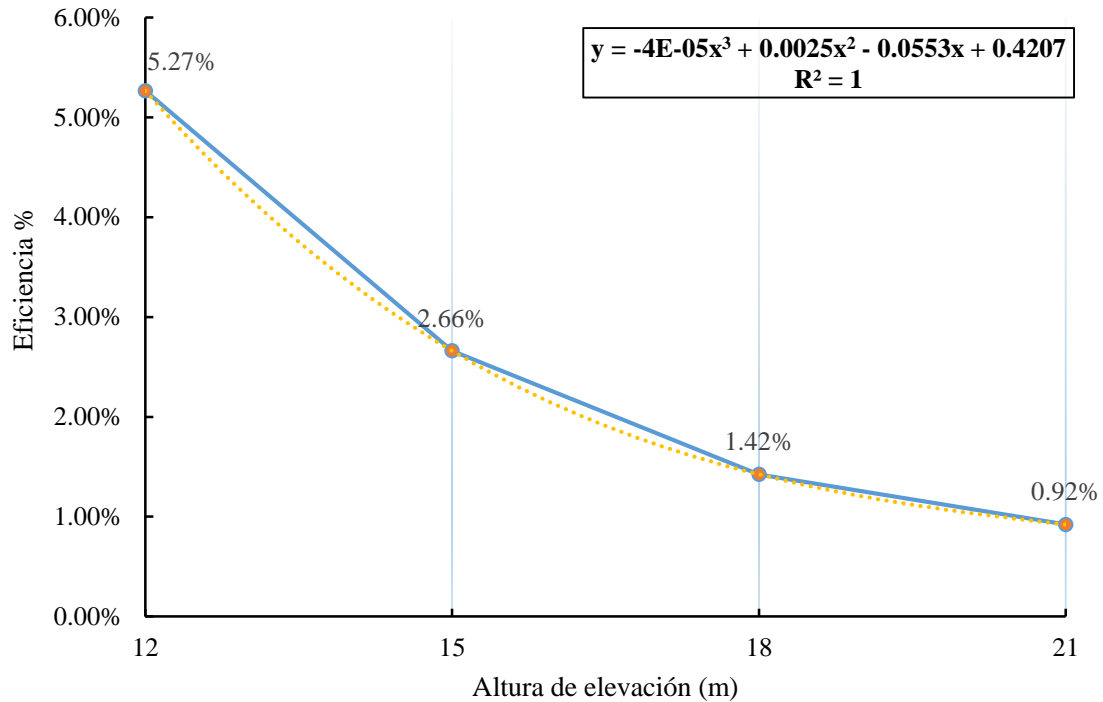


Figura 14. Eficiencia de la bomba de ariete con 3 metros de desnivel

3.4.2. Eficiencia de la bomba de ariete con altura de alimentación de 5 metros

La eficiencia de la bomba de ariete hidráulico, con altura de alimentación de diez metros, fue de 5,01%, 3,20%, 2,32% y 1,62%, de acuerdo a la altura de elevación que son 14, 17, 20 y 23 metros respectivamente. Por cada uno de ellos, se elevó 5,01 l/min, 3,20 l/min, 2,32 l/min y 1,62 l/min (Anexo 4). Lo que significa que conforme se incrementa la altura disminuye la eficiencia de la bomba, así como, la cantidad de agua elevada, lo que permitió encontrar la ecuación cúbica (Figura 15).

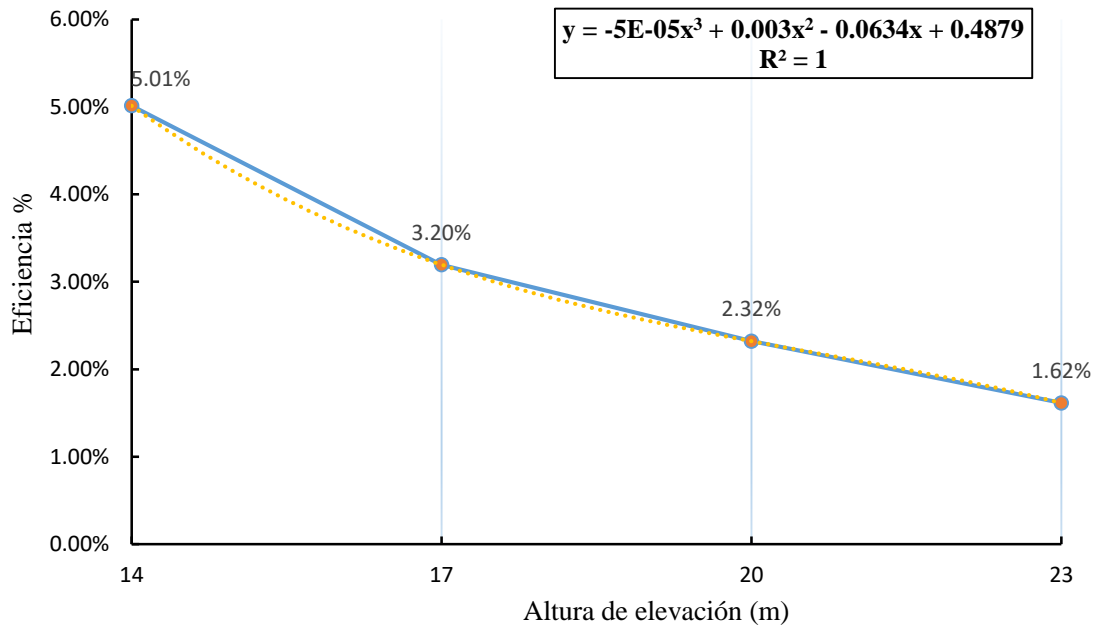


Figura 15. Eficiencia de la bomba de ariete con 5 metros de desnivel

3.4.3. Eficiencia de la bomba de ariete con altura de alimentación de 10 metros

La eficiencia de la bomba de ariete hidráulico, con altura de alimentación de diez metros, fue de 7,54%, 6,76%, 5,33% y 4,18%, de acuerdo a la altura de elevación que son 19, 22, 25 y 28 metros respectivamente. Por cada uno de ellos, se elevó 6,01 l/min, 5,40 l/min, 4,25 l/min y 3,33 l/min (Anexo 4). Lo que significa que conforme se incrementa la altura de elevación disminuye la eficiencia de la bomba, así como, la cantidad de agua (Figura 16).

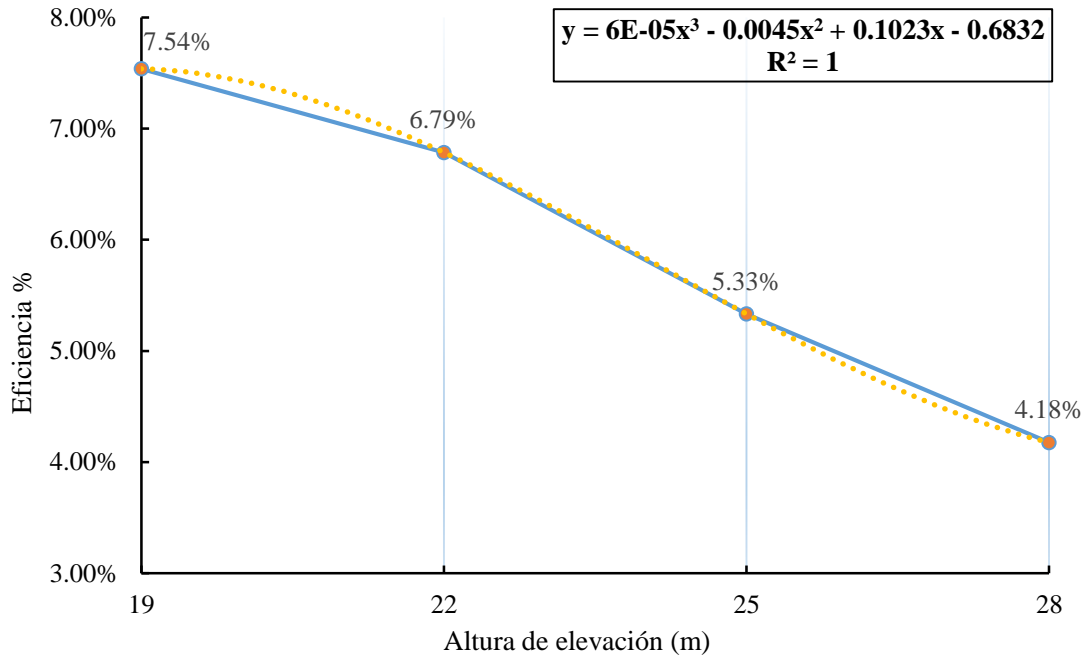


Figura 16. Eficiencia de la bomba de ariete con 10 metros de desnivel

IV. DISCUSIÓN

Se han reportado diferentes materiales para la construcción del sifón invertido, con piedras (Kessener, 1999), concreto (Xiangzan, 2014). Pero también con tuberías (Rizzuan et al., 2021) y mangueras (Yenphayab, 2019). Estos dos últimos se diferencian de las anteriores porque se pueden acoplar a cualquier topografía y por la presencia del dispositivo de carga. Con respecto al dispositivo de carga Yenphayab (2019), utilizó un barril de aluminio en posición horizontal y en la presente investigación fue utilizado un tanque tipo tambor de plástico colocado de manera vertical y descubierto para evitar la acción de la presión atmosférica. Fue construido, con materiales accesibles que se pueda transportar y utilizar de acuerdo a la topografía del terreno, lo que cumple con lo exigido por Hatipoğlu et al. (2018), debido a que es un sistema versátil.

El mecanismo de funcionamiento sigue en discusión (Binder y Richert, 2011). Algunos afirman que el agua es extraída por la presión atmosférica (Öziş, 2015; Planinšič y Sliško, 2010). Otros por la gravedad (Hughes, 2010; Zulfan y Ginting, 2022), y otros por la combinación de ambas fuerzas, la acción gravitatoria en el tramo descendente y la acción de la presión en el tramo ascendente (Binder y Richert, 2011; Ramette y Ramette, 2011). De acuerdo al funcionamiento del sistema se demuestra que la gravedad tiene mayor preponderancia que la presión al usar un recipiente abierto como dispositivo de carga, entonces a mayor desnivel mayor caudal, lo que coincide con lo encontrado por Yenphayab (2019) donde el sifón empieza a funcionar con desnivel de 0,5 metros; mientras que para Fu et al. (2015), el nivel mínimo de funcionamiento es de 1,09 metros, algo que se aproxima a la investigación desarrollada donde el nivel mínimo de operaciones fue de 1 metro.

De acuerdo a las evaluaciones de sistema sifón, con tubería de una pulgada y 16 metros de longitud de manguera se puede extraer 15,92 l/min, lo cual cuyo resultado se aproxima a lo

encontrado por Hughes, Beard, y Platten (2021), que logro extraer 16.8 l/min. En ese contexto, el sistema el sifón que permite transportar agua sin uso de electricidad y significa la disminución de los costos en la operación de sistema respecto a otros sistemas comerciales (Yan et al., 2022).

El agua extraída por el sifón invertido sirvió para alimentar a la bomba de ariete hidráulica que impulsa el agua usando solo la energía potencial o cinética del mismo, por ende es un mecanismo sostenible lo cual está en relación con lo dicho por Mahmud y Rahman, (2020) y Kumar (2022). Por lo general, la bomba impulsa 11 % de agua según Bosa et al. (2019), y solo el 10 % según Inthachot et al. (2015), cuyo porcentaje está en relación al tamaño y altura de elevación que se relaciona con lo dicho por Radiyan et al. (2019), pero agrega el caudal de ingreso. Por su parte, Hussin et al. (2017), logró una eficiencia del 15 %, pero explica que se debe incrementar la altura de alimentación y disminuir el tamaño de la cámara de aire.

Teóricamente el agua impulsada por las bombas de ariete está comprendida desde cuatro hasta seis veces en relación con la altura de alimentación (Diwan et al., 2020). En la investigación, se realizó la prueba en tres, cinco y 10 metros de altura de alimentación hacia la bomba de ariete hidráulico de una pulgada. Con una diferencia de altura de tres metros, se elevó el agua hasta los 21 metros, recogiendo 0,49 l/min con una eficiencia de 0,93% del sistema. Con una diferencia de altura de cinco metros, se elevó el agua hasta los 23 metros obteniendo una eficiencia de 1,62 % y finalmente con una diferencia de altura de alimentación de 10 metros se elevó a 28 metros de altura obteniendo una eficiencia de 4,18 %. Con respecto a la altura de alimentación de 5 metros de desnivel Erkinjonovich y Mamadaliyevich, (2021) obtuvieron una eficiencia de 1,81% a 23 metros de altura, pero en este caso el autor agregó un sistema de resortes a la válvula de impulso, esto hizo que aumentara la presión, por ende, mayor eficiencia y cantidad de agua elevada.

Por otra parte, Delgado y Guerrero (2021) elevaron el agua a una altura máxima de 20 metros, con altura de alimentación de tres metros obtuvieron una eficiencia de 3,31 %, en la presente investigación a altura de entrega se obtuvo 2,32 % de eficiencia, con la diferencia que la altura de alimentación fue de cinco metros y el tamaño de la bomba menor, además considerando que a mayor tamaño mayor impulso (Diwan et al., 2020) . Sarip et al. (2019), elevaron 7000 l/día (4,86 l/min) de agua a una altura de 20 m obteniendo una eficiencia del 22 % en una bomba de ariete hidráulico de tres pulgadas y en la presente investigación le logró elevar 4,26 l/min a 19 metros de altura, de entrega se obtuvo una eficiencia de 7,54 % con una bomba tres veces menor.

Con respecto al caudal elevado, la bomba de ariete hidráulico conforme se incrementa la altura de la tubería de descarga va reduciendo la cantidad de agua entregada, por ejemplo a un altura de 12 metros la cantidad de agua entregada fue de 2,79 l/min y a los 21 metros de 0,49 l/min con una altura de alimentación de tres metros, y cuando se incrementó la altura de alimentación a cinco metros, también se incrementó la altura de descarga pasando ya a ser 14 metros y un caudal de 3,29 l/min, y a los 23 metros fue de 1,06 l/min. Y finalmente al elevarse a 10 metros la altura de alimentación el caudal entregado llegó a ser de 3,33 l/min hasta 6,01 L/min. El procesamiento de todos estos datos permitió determinar la tendencia de caudal por ende de la eficiencia mediante la ecuación cúbica

Por lo tanto, el uso de estos mecanismos puede ayudar a reducir los impactos negativos en el medio ambiente, ofreciendo una nueva forma de succionar e impulsar el agua sin la necesidad de utilizar energía o combustibles fósiles (Januddi et al., 2018). Lo cual, ha sido demostrado en nuestra investigación cuyo sistema será apto en cualquier contexto rural o urbano siempre cuando se tenga en consideración los desniveles para el funcionamiento del sifón y las alturas de conducción de agua para el funcionamiento de la bomba de ariete.

V. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un sistema de sifón invertido con bomba de ariete para extraer y elevar agua de fuentes lenticas. El sifón invertido está constituido por un trípode de fierro, depósito de carga de 50 litros, línea de succión y descarga. Este sistema condujo el agua a un tanque de 200 litros, que sirvió para alimentar a la bomba de ariete hidráulico.
- Se realizó las pruebas de funcionamiento del sifón con desniveles de uno, dos, tres y cuatro metros, con longitud de tubería de 16 metros, 20 metros, 24 metros y 28 metros respectivamente. Para un metro de desnivel se extrae 15,92 l/min y con cuatro metros de desnivel se extrae 59,06 l/min. Por lo que, a mayor desnivel mayor cantidad de agua extraída por el sifón invertido, pero depende del diámetro de tubería que se utiliza.
- El caudal de elevación y la eficiencia de la bomba de ariete de una pulgada estuvo en relación al desnivel de alimentación de tres, cinco y diez metros. A desnivel de tres metros, se logró elevar el agua desde 12 hasta 21 metros llegando a obtener un caudal de 2,79 hasta 0,49 l/min y una eficiencia de 5,29% a 0,92 %. A desnivel de cinco metros, se logró elevar desde 14 hasta 23 metros obteniendo un caudal de 3,29 hasta 1,06 l/min con una eficiencia de 5,01% a 1,62%, y con diez metros de desnivel se logró elevar el agua desde 19 hasta 28 metros, obteniendo un caudal 6,01 hasta 3,33 L/min con una eficiencia de 7,54% a 4,18%. Según los resultados conforme se incrementa la altura disminuye el caudal elevado por ende la eficiencia de la bomba, pero, con el sistema planteado se logró la succión y la elevación del agua sin el uso de combustibles convencionales.

VI. RECOMENDACIONES

- Buscar nuevos mecanismos de extracción e impulsión de agua a diferentes alturas sin la necesidad de utilizar la energía eléctrica o combustibles.
- Mejorar el mecanismo de cierre de válvula de la bomba de ariete, para reducir la cantidad de agua desechada que se produce por los golpes de ariete, y consecuentemente mejorar la eficiencia del sistema.
- Impulsar el uso de sistemas sostenibles económicamente y ambientalmente para la conducción de agua que no utilizan energías convencionales,
- Proponer que el sistema de sifón invertido sea utilizado en grandes proyectos de abastecimiento de agua, regadío y control de inundaciones no solo para nuestro país sino también para el exterior que deseen hacer uso de este dispositivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achore, M., & Bisung, E. (2022). Experiences of inequalities in access to safe water and psycho-emotional distress in Ghana. *Social Science and Medicine*, 301(April), 114970. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.114970>
- Ahmad, R., Sarip, S., Hashim, K. A. B., & Suhot, M. A. (2021). Design and development of a hydraulic ram pump for the rural communities. *2020 IEEE 8th R10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*.
- Binder, P. M., & Richert, A. (2011). The explicit siphon. *Physics Education*, 46(6), 710–711. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/46/6/009>
- Bosa, I. R., Monaco, P. A. V. Lo, Haddade, I. R., Barth, H. T., Roldi, V., Vieira, G. H. S., & Neto, A. C. (2019). Efficiency of Hydraulic Ram Pumps Made with Alternative Materials. *Journal of Experimental Agriculture International*, February, 1–7. <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v31i430076>
- Cooley, H., Phurisamban, R., & Gleick, P. (2019). The cost of alternative urban water supply and efficiency options in California. *Environmental Research Communications*, 1(4), 042001.
- Dana, S., & Gah, A. M. (2021). Solar water pump as a solution for clean water distribution in Nunleu village , Amanatun Selatan District , Timor Tengah Selatan-NTT. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (Vol. 686, No. 1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/686/1/012037>
- Delgado, S. R., & Guerrero, J. V. (2021). *Eficiencia de Bomba de Ariete Hidráulico de 2” para abastecer un Sistema de Riego Tecnificado en el Caserio Nueva Victoria, Distrito la Peca, Provincia de Bagua, región Amazonas*.
- Diwan, P., Patel, A., & Sahu, L. (2020). Design and Fabrication of Hydraulic Ram with Methods of Improving Efficiency. *Tecnical Research Organisation India*, 11(6), 83–89.
- Erkinjonovich, A. Z., & Mamadaliyevich, M. M. (2021). Water Consumption Control Calculation in Hydraulic Ram Device. *E-Conference Globe*, May, 119–122.
- Fu, H., Guo, X., Kashani, A. H., & Wu, P. (2020). Experimental study of real ice accumulation

- on channel hydraulics upstream of inverted siphons. *Cold Regions Science and Technology*, 176, 103087. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103087>
- Fu, H., Yang, K. L., Guo, X. L., Guo, Y. X., & Wang, T. (2015). Safe operation of inverted siphon during ice period. *Journal of Hydrodynamics*, 27(2), 204–209. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(15\)60473-5](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(15)60473-5)
- Guo, X., Li, J., Yang, K., Fu, H., Wang, T., Gou, Y., Xia, Q., & Huang, W. (2018). Optimal design and performance analysis of hydraulic ram pump system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 232(7), 841–855. <https://doi.org/10.1177/0957650918756761>
- Hatipoğlu, T., Nakay, İ., Köksal, E., & Fıçlalı, A. (2018). Feasibility analysis of a hydraulic ram pump investment project. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1–4. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3491-9>
- Hughes, S., Beard, L., & Platten, B. (2021). *Using a siphon to supply spring water to a remote.*
- Hughes, S. W. (2010). A practical example of a siphon atwork. *Physics Education*, 45(2), 162–166. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/45/2/006>
- Hussin, N. S. M., Gamil, S. A., Amin, N. A. M., Safar, M. J. A., Majid, M. S. A., Kazim, M. N. F. M., & Nasir, N. F. M. (2017). Design and analysis of hydraulic ram water pumping system. *Journal of Physics: Conference Series*, 908(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/908/1/012052>
- Inthachot, M., Saehaeng, S., Max, J. F. J., Müller, J., & Spreer, W. (2015). Hydraulic ram pumps for irrigation in Northern Thailand. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 5, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.015>
- Jafri, M., Bale, J. S., & Thei, A. R. (2020). Experimental Study of Waste Valves and Delivery Valves Diameter Effect on the Efficiency of 3-Inch Hydraulic Ram Pumps. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 13(3), 615–622.
- Januddi, F. S., Huzni, M. M., Effendy, M. S., Bakri, A., Mohammad, Z., & Ismail, Z. (2018). Development and Testing of Hydraulic Ram Pump (Hydrum): Experiments and Simulations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 440(1), 012032.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/440/1/012032>

Karayel, D., Ozkan, S. S., Atali, G., Ceylan, N., & Kilic, R. (2017). Proposal of a Cost-Saving and Risk Prevention Mechatronic System for Water Consumption Systems of Buildings.

Acta Physica Pol A, 132(3), 604–607. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.604>

Kessener, P. (2005). The Triple Siphon at Aspendos and its Bridges. *Archäologie Der Brücken*, 77–83.

Koech, R. K., Smith, R. J., & Gillies, M. H. (2010). *Furrow irrigation in the Australian cotton industry : alternative water delivery systems and their potential for automation*.

Kumar, H. D. (2022). Pollution Free Design and Manufacturing of Hydraulic Ram Pump for Villages in Hill Areas. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2(2), 15.

http://www.ijmert.net/ijmertadmin/upload/IJASVM_573c1a82e00a9.pdf

Lee, M. D., Lee, P. S., Ling, J., & Ngu, H. J. (2020). Design and Development of Renewable Energy Water Pump. In *Proceedings of International Conference of Aerospace and Mechanical Engineering 2019*, 329–340. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-4756-0>

Lee, S. H., Yoon, H., Kim, D. H., Shin, E., Kim, Y., Ko, K. S., & Ha, K. (2016). Evaluation of Field Feasibility and Efficiency of Hydraulic Ram Pump. *Economic and Environmental Geology*, 49(3), 243–248.

Mahmud, M. S., & Rahman, A. (2020). Design, Fabrication and Performance Testing of a Hydraulic Ram Pump System. *Journal of Mechanics and Machines*, 2(1), 1–8.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3903078>

Maw, Y. Y., & Htet, Z. M. (2014). Design of 15 meter Head Hydraulic Ram Pump. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 03(10), 2177–2181.

Messakh, J. J., & Punuf, D. A. (2020). Study on the accessibility of water sources to meet the water needs of rural communities in semi-arid regions of Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (Vol. 426, No. 1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012043>

- Mishra, N., Bhagat, E. I. B., & Jyoti, Y. K. (2018). Effect of Water Hammering Action on Performance of Hydraulic Ram Pump. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 8(12), 396–399. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.8.12.2018.p8453>
- Mori, C., & López, M. (2011). *Implementación de un sistema de riego tecnificado abastecido con bomba de doble ariete en el distrito de Molinopampa, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez.*
- Öziş, Ü. (2015). Water Works Through Four Millenia in Turkey. *Environmental Processes*, 2(3), 559–573. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0085-3>
- Planinšič, G., & Sliško, J. (2010). The pulley analogy does not work for every siphon. *Physics Education*, 45(4), 356–361. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/45/4/005>
- Radiyan, M. F., Wibowo, B. S., & Sakti, F. T. (2019). The Performance and Efficiency Rating Evaluation of a Hydraulic Ram Pump Prototype With Height Variations. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 7(1), 47–53. <https://doi.org/10.33019/fropil.v7i1.1403>
- Ramette, J. J., & Ramette, R. W. (2011). Siphonic concepts examined: A carbon dioxide gas siphon and siphons in vacuum. *Physics Education*, 46(4), 412. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/46/4/006>
- Rizzuan, W. N., Zainol, M. R. R. M. A., Ab Wahab, M., Kang, C. W., & Setiawan, I. (2021). A review: Removal of sediment in water reservoir by using Siphon. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 646(No. 1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012040>
- Sarip, S., Radzi, A. Q. M., Hong, T. S., Mohammad, R., Yakub, M. F., Suhot, M. A., & Kaidi, H. M. (2019). Design , analysis and fabrication of UTM hydraulic ram pump for water supply in remote areas. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 17(1), 213–221. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v17.i1.pp213-221>
- Sun, X. P., Wang, X. L., Sun, R. R., & Zhang, A. L. (2013). Numerical Simulation for Water Conveyance of Inverted Siphon. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 259, 2435–2438. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.2435>

- Tang, C., Zhao, Y., Kang, C., He, J., Yang, Y., & Morgan, D. (2021). Creating tidal flow via siphon for better pollutants removal in a microbial fuel cell-constructed wetland. *Journal of Environmental Management*, 290, 112592. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112592>
- Tohari, A., Koizumi, K., Komatsu, M., Ferranie, S., & Subagja, K. (2021). Fundamental laboratory experiments of siphon drain for slope stabilization Fundamental. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 789(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/789/1/012055>
- Unesco. (2016). *The United Nations World Water Development Report 2016*.
- Vera, F., Rivera, R., Romero-maltrana, D., & Villanueva, J. (2016). Negative Pressures and the First Water Siphon Taller than 10 . 33 Meters. *PloS One*, 11(4), e0153055. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153055>
- Xiangzan, X. (2014). Structure analysis of reinforced concrete shaft-well inverted siphon. *International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering, MEIC 2014, Meic*, 1231–1233. <https://doi.org/10.2991/meic-14.2014.273>
- Yan, X., Zhan, W., Hu, Z., Wang, L., Yu, Y., & Xiao, D. (2022). Experimental study on the anti-clogging ability of siphon drainage and engineering application. *Soils and Foundations*, 62(6), 101221. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101221>
- Yenphayab, C. (2019). Study the engineering aspect of an advance siphon pump (Pha Ya Rangh Hai Nam) for a small farm irrigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (Vol. 301, No.1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/301/1/012001>
- Zulfan, J., & Ginting, B. M. (2022). Hydraulic Performance of Inverted Siphons for Irrigation Water Supply Using Physical Modeling. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(9), 204–214. <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.09.026>

ANEXOS

Anexo 1. Registro de datos de caudal elevado por la bomba de ariete

Posición del sistema	Desnivel de alimentación	Altura elevada	Caudal Q (L/min)				
			L/min	L/min	L/min	L/min
Tanque de almacenamiento fijo y Bomba de ariete móvil	3 m	12 m					
		15 m					
		18 m					
		21 m					
	5 m	14 m					
		17 m					
		20 m					
		23 m					
	10 m	19 m					
		22 m					
		25 m					
		28 m					

Anexo 2. Análisis estadístico del sistema sifón

N°	$\Delta H=1$ m	$\Delta H=2$ m	$\Delta H=3$ m	$\Delta H=4$ m
	L/min			
1	15.83	25.86	37.74	59.41
2	15.92	25.75	39.22	58.25
3	15.87	25.64	38.46	60.00
4	16.00	25.75	37.97	59.41
5	16.00	25.97	37.04	58.82
6	15.92	25.86	37.74	59.41
7	15.83	25.64	37.04	58.82
8	16.04	25.97	36.81	59.41
9	15.87	25.86	37.27	58.25
10	15.96	25.97	38.22	58.82
PROMEDIO	15.92 ± 0.0741	25.83 ± 0.1288	37.75 ± 0.7496	59.06 ± 0.5612

prom	DS	ERROR
15.924	0.0741	0.023
25.829	0.1288	0.041
37.749	0.7496	0.237
59.060	0.5612	0.177

Anexo 3. Análisis estadístico de la bomba de ariete

```
data3 = read.xlsx("DATA.xlsx", sheet = 1)
data5 = read.xlsx("DATA.xlsx", sheet = 2)
data10 = read.xlsx("DATA.xlsx", sheet = 3)

data3$ALTURA_E = as.factor(data3$ALTURA_E)
data5$ALTURA_E = as.factor(data5$ALTURA_E)
data10$ALTURA_E = as.factor(data10$ALTURA_E)

# NORMALIDAD
# SHAPIRO WILLK (OBS < a 50)
# H0 = SI HAY NORMALIDAD (PVALOR > 0.05)
# H1 = NO HAY NORMALIDAD (PVALOR < 0.05)
shapiro.test(data3$Q)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: data3$Q
## W = 0.80055, p-value = 6.956e-06

shapiro.test(data5$Q)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: data5$Q
## W = 0.83284, p-value = 3.54e-05

shapiro.test(data10$Q)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: data10$Q
## W = 0.85166, p-value = 9.873e-05
```

ALTURA 3M

H0 = NO HAY DIFERENCIAS ENTRE LOS CAUDALES SEGUN LA ALTURA ELEVADA (PVALOR > 0.05)

H1 = SI HAY DIFERENCIAS ENTRE LOS CAUDALES SEGUN LA ALTURA ELEVADA (PVALOR < 0.05)

```
KW3 = kruskal.test(data5$Q~data5$ALTURA_E)
```

```
KW3
```

```
##
```

```
## Kruskal-Wallis rank sum test
```

```
##
```

```
## data: data5$Q by data5$ALTURA_E
```

```
## Kruskal-Wallis chi-squared = 36.589, df = 3, p-value = 5.622e-08
```

SI HAY DIFERENCIAS PARA EL CAUDAL, SEGUN LA ALTURA ELEVADA (X2=36.595, PVALOR = 5.603e-08), LAS DIFERENCIAS SON SIGNIFICATIVIAS

AL TENER DIFERENCIAS SIGNIFICATIVIAS ENTRE FILTROS, SE HARA UNA PRUEBA A POST HOC, PARA VER COMO SE DIFERENCIAN LAS ALTURAS ELEVADAS

PH3 = kwAllPairsConoverTest(data3\$Q~data3\$ALTURA_E) #Conover es una prueba POST HOC no parametrica, es la mas eficiente

```
## Warning in kwAllPairsConoverTest.default(c(2.74599542334096, 2.74223034734918, :
```

```
## Ties are present. Quantiles were corrected for ties.
```

```
PH3
```

```
##
```

```
## Pairwise comparisons using Conover's all-pairs test
```

```
## data: data3$Q by data3$ALTURA_E
```

```
##      12M      15M      18 M
```

```
## 15M 5.8e-08 - -
```

```
## 18 M < 2e-16 5.8e-08 -
```

```
## 21 M < 2e-16 < 2e-16 5.8e-08
```

```
##
```

```
## P value adjustment method: single-step
```

```
summaryGroup(PH3)
```

```
##
```

```
## Pairwise comparisons using Conover's all-pairs test
```

```
## data: data3$Q by data3$ALTURA_E
```

```
## P value adjustment method: single-step
```

```
## Different letters indicate significant differences Pr(>|q|) < 0.05
```

```
##      median   Q25   Q75   n Sig. group
```

```
## 12M   2.798 2.743 2.856 10      a
```

```
## 15M   1.405 1.393 1.436 10      b
```

```
## 18 M   0.755 0.734 0.769 10      c
```

```
## 21 M   0.488 0.470 0.504 10      d
```

ALTURA 5M

H0 = NO HAY DIFERENCIAS ENTRE LOS CAUDALES SEGUN LA ALTURA ELEVADA (PVALOR > 0.05)

H1 = SI HAY DIFERENCIAS ENTRE LOS CAUDALES SEGUN LA ALTURA ELEVADA (PVALOR < 0.05)

```
KW5 = kruskal.test(data5$Q~data5$ALTURA_E)
```

```
KW5
```

```
##
```

```
## Kruskal-Wallis rank sum test
```

```
##
```

```
## data: data5$Q by data5$ALTURA_E
```

```
## Kruskal-Wallis chi-squared = 36.589, df = 3, p-value = 5.622e-08
```

SI HAY DIFERENCIAS PARA EL CAUDAL, SEGUN LA ALTURA ELEVADA (X2=36.589, PVALOR = 5.622e-08), LAS DIFERENCIAS SON SIGNIFICATIVIAS

AL TENER DIFERENCIAS SIGNIFICATIVIAS ENTRE FILTROS, SE HARA UNA PRUEBA A POST HOC, PARA VER COMO SE DIFERENCIAN LAS ALTURAS ELEVADAS

PH5 = kwAllPairsConoverTest(data5\$Q~data5\$ALTURA_E) #Conover es una prueba POST HOC no parametrica, es La mas eficiente

```
## Warning in kwAllPairsConoverTest.default(c(3.24851109907959, 3.29489291598023, :
```

```
## Ties are present. Quantiles were corrected for ties.
```

```
PH5
```

```
##
```

```
## Pairwise comparisons using Conover's all-pairs test
```

```
## data: data5$Q by data5$ALTURA_E
```

```
##      14 M    17 M    20 M
```

```
## 17 M 6e-08 - -
```

```
## 20 M <2e-16 6e-08 -
```

```
## 23 M <2e-16 <2e-16 6e-08
```

```
##
```

```
## P value adjustment method: single-step
```

```
summaryGroup(PH5)
```

```
##
```

```
## Pairwise comparisons using Conover's all-pairs test
```

```
## data: data5$Q by data5$ALTURA_E
```

```
## P value adjustment method: single-step
```

Different letters indicate significant differences $Pr(>|q|) < 0.05$

```
##      median  Q25  Q75  n  Sig.  group
```

```
## 14 M  3.289 3.270 3.303 10      a
```

```
## 17 M  2.095 2.081 2.107 10      b
```

```
## 20 M  1.522 1.502 1.541 10      c
```

```
## 23 M  1.058 1.052 1.072 10      d
```

ALTURA 10M

H0 = NO HAY DIFERENCIAS ENTRE LOS CAUDALES SEGUN LA ALTURA ELEVADA (PVALOR > 0.05)

H1 = SI HAY DIFERENCIAS ENTRE LOS CAUDALES SEGUN LA ALTURA ELEVADA (PVALOR < 0.05)

KW10 = kruskal.test(data10\$Q~data10\$ALTURA_E)

KW10

##

Kruskal-Wallis rank sum test

##

data: data10\$Q by data10\$ALTURA_E

Kruskal-Wallis chi-squared = 36.623, df = 3, p-value = 5.529e-08

SI HAY DIFERENCIAS PARA EL CAUDAL, SEGUN LA ALTURA ELEVADA (X2=36.846, PVALOR = 1.937e-07), LAS DIFERENCIAS SON SIGNIFICATIVIAS

AL TENER DIFERENCIAS SIGNIFICATIVIAS ENTRE FILTROS, SE HARA UNA PRUEBA POST HOC, PARA VER COMO SE DIFERENCIAN LAS ALTURAS ELEVADAS

PH10 = kwAllPairsConoverTest(data10\$Q~data10\$ALTURA_E) #Conover es una prueba POST HOC no parametrica, es la mas eficiente

Warning in kwAllPairsConoverTest.default(c(5.98802395209581, 6.03015075376884, :
, :

Ties are present. Quantiles were corrected for ties.

PH10

##

Pairwise comparisons using Conover's all-pairs test

data: data10\$Q by data10\$ALTURA_E

19 M 22 M 25 M

22 M 5.1e-08 - -

25 M < 2e-16 5.1e-08 -

28 M < 2e-16 < 2e-16 5.1e-08

##

P value adjustment method: single-step

summaryGroup(PH10)

##

Pairwise comparisons using Conover's all-pairs test

data: data10\$Q by data10\$ALTURA_E

P value adjustment method: single-step

Different letters indicate significant differences $\Pr(>|q|) < 0.05$

median Q25 Q75 n Sig. group

19 M 6.003 5.990 6.029 10 a

22 M 5.592 5.238 5.626 10 b

25 M 4.310 4.277 4.324 10 c

28 M 3.334 3.329 3.337 10 d

Anexo 4. Datos de caudal y eficiencia de la bomba de ariete

Altura de elevación (m)	Altura de alimentación (m)	Q de alimentación (L/min)	Q elevado (L/min)	Q perdido (L/min)	Eficiencia (n%)
12	3	52.96	2.79	50.17	5.27%
15			1.41	51.55	2.66%
18			0.75	52.2	1.42%
21			0.49	52.47	0.92%
Altura de elevación (m)	Altura de alimentación (m)	Q de alimentación (L/min)	Q elevado (L/min)	Q perdido (L/min)	Eficiencia (n%)
14	5	65.57	3.29	58.70	5.01%
17			2.10	59.89	3.20%
20			1.52	60.46	2.32%
23			1.06	60.92	1.62%
Altura de elevación (m)	Altura de alimentación (m)	Q de alimentación (L/min)	Q elevado (L/min)	Q perdido (L/min)	Eficiencia (n%)
19	10	79.79	6.01	73.77	7.54%
22			5.41	74.37	6.79%
25			4.26	75.53	5.33%
28			3.33	76.45	4.18%