

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Implementación de una Bomba de Ariete para el Abastecimiento
de Agua en la Estación Científica de la USFQ en Tandayapa**

David Sebastián Macías Villarreal

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 15 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Implementación de una Bomba de Ariete para el Abastecimiento de Agua
en la Estación Científica de la USFQ en Tandayapa**

David Sebastián Macías Villarreal

Nombre del profesor, Título académico

Sixto Durán-Ballén Ochoa, PhD.

Quito, 15 de mayo de 2025

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: David Sebastián Macías Villarreal

Código: 00322382

Cédula de identidad: 1727037283

Lugar y fecha: Quito, 15 de Mayo del 2025

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

El presente proyecto analiza la implementación de una bomba de ariete para abastecer de agua a la Estación Científica USFQ Tandayapa. Esta tecnología aprovecha la energía de un flujo constante de agua con diferencia de altura para bombear el líquido sin necesidad de electricidad ni combustibles fósiles. Dada la ubicación de la estación en una zona remota, la bomba de ariete se plantea como una solución eficiente y sostenible para garantizar el suministro hídrico. Se estudian factores como el caudal disponible, la altura de elevación requerida y la eficiencia del sistema, además de desarrollar los diseños en AutoCAD y Google Earth Pro. Este análisis busca demostrar la viabilidad de esta tecnología y su posible aplicación en otras regiones con condiciones similares.

Palabras clave: Bomba de ariete, suministro de agua, energía hidráulica, zona remota, eficiencia, sostenibilidad, diseño hidráulico.

ABSTRACT

This project analyzes the implementation of a hydraulic ram pump to supply water to the USFQ Tandayapa Scientific Station. This technology harnesses the energy of a constant water flow with a height difference to pump water without the need for electricity or fossil fuels. Given the station's remote location, the hydraulic ram pump is considered an efficient and sustainable solution to ensure a reliable water supply. Factors such as available flow, required elevation height, and system efficiency are studied, along with the development of designs in AutoCAD and Google Earth Pro. This analysis aims to demonstrate the feasibility of this technology and its potential application in similar regions.

Keywords: Hydraulic ram pump, water supply, hydraulic energy, remote area, efficiency, sustainability, hydraulic design.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	10
1.1. Problemática.....	11
1.2. Objetivos.....	14
2. Desarrollo	15
2.1. Metodología.....	15
2.2. Oferta hídrica.....	18
2.3. Solución: bomba de ariete.....	20
2.4. Diseño del Sistema de Captación y Bombeo	22
2.5. Presupuesto referencial.....	27
3. Conclusión.....	28
3.1. Recomendaciones.....	30
4. Referencias bibliográficas.....	32
5. ANEXOS	33
5.1. Diseño de flujo sistema de captación (Riachuelo).....	33
5.2. Diseño de flujo sistema de captación (Ojo de agua).	33
5.3. Conexiones bomba de ariete	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costo material para sistema Riachuelo-Cisterna	28
Tabla 2: Costo material sistema Ojo de Agua-Cisterna.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación de distancias entre la ciudad y la Estación Científica Tandayapa.....	12
Figura 2: Terreno de la Estacion Científica Tandayapa.....	12
Figura 3: Ubicación de las fuentes hídrica en la Estación Científica Tandayapa.	16
Figura 4: Medicion caudal del riachuelo.	17
Figura 5: Medicion caudal del Ojo de agua.	17
Figura 6: Comparación mensual de la precipitación (mm) registrada en 2024 con la media histórica del período 2021–2023. Se observa una reducción significativa en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, indicando una época de sequía durante la cual se realizaron las mediciones de caudal.....	19
Figura 7: Esquema sistema de bombeo mediante el uso de la bomba de ariete.	20
Figura 8: Tanque IBC de 1000L.	23
Figura 9: Tanque conico estándar de 500L y 250L.	24
Figura 10: Esquema conexión tanque de captación (Vertedero) y tanque de distribucion a la bomba de ariete (Tanque 2).....	26
Figura 11: Esquema de conducción Riachuelo-Cisterna.	26
Figura 12: Esquema de conducción Ojo de Agua-Cisterna.	27
Figura 13: Sistema de captación (Riachuelo).	33
Figura 14: Sistema de captación (Ojo de agua).	33
Figura 15: Bomba de ariete.....	34

1. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable en zonas remotas representa un desafío importante, especialmente cuando no se dispone de una fuente de energía confiable para sistemas de bombeo convencionales. En Ecuador, muchas comunidades rurales enfrentan dificultades para garantizar un suministro hídrico constante debido a la falta de infraestructura adecuada y a la dependencia de fuentes de agua irregulares (Villavicencio, 2019, p. 45). La Estación Científica USFQ Tandayapa, ubicada en un área de difícil acceso en la región andina ecuatoriana, no es la excepción y requiere soluciones eficientes y sostenibles para asegurar su abastecimiento hídrico. Se trata de un ecosistema frágil y no se quiere intervenir por impacto ambiental.

En este contexto, la bomba de ariete hidráulico se presenta como una alternativa viable, ya que utiliza la energía de un flujo constante de agua con diferencia de altura para bombear el líquido sin necesidad de electricidad ni combustibles. Esta tecnología, desarrollada en el siglo XVIII, ha sido empleada en múltiples aplicaciones rurales debido a su bajo mantenimiento, su operación continua y su impacto ambiental reducido (Gutiérrez & López, 2020, p. 112). En Ecuador, se han realizado estudios sobre el diseño y la construcción de bombas de ariete, demostrando su eficiencia en zonas rurales con acceso limitado a fuentes energéticas convencionales (Mendoza et al., 2021, p. 76). Su implementación podría mejorar significativamente la gestión del agua en comunidades de difícil acceso, promoviendo soluciones autosostenibles y resilientes.

El presente trabajo estudia la implementación de esta tecnología para la Estación Científica USFQ Tandayapa. Se analizarán parámetros clave como el caudal disponible, la altura de elevación requerida y la eficiencia del sistema. Para el diseño y planificación del sistema, se han utilizado herramientas como AutoCAD y Google Earth Pro, permitiendo una visualización precisa de la infraestructura.

En los siguientes apartados, se explorará el funcionamiento de la bomba de ariete, los factores que influyen en su rendimiento y su aplicabilidad en el contexto ecuatoriano. Posteriormente, se detallará la metodología empleada, los resultados obtenidos y su análisis, concluyendo con una discusión sobre la viabilidad de esta tecnología y sus posibles aplicaciones en otras regiones del país.

1.1. Problemática

El abastecimiento de agua en la Estación Científica USFQ Tandayapa presenta diversas dificultades debido a su ubicación y a la falta de una fuente de suministro confiable. La dependencia de terceros para la provisión del recurso genera incertidumbre y costos elevados, lo que hace necesario buscar una solución sostenible y autosuficiente.

Ubicación remota

La Estación Científica USFQ Tandayapa se encuentra en una zona geográficamente aislada, lo que dificulta el acceso a infraestructura básica para el suministro de agua. La falta de redes de distribución obliga a depender de alternativas como la recolección de agua lluvia o la compra de agua transportada en tanqueros. Esta condición también limita la posibilidad de implementar sistemas de bombeo convencionales, ya que muchos requieren una fuente de energía eléctrica constante, la cual no está disponible en el área.

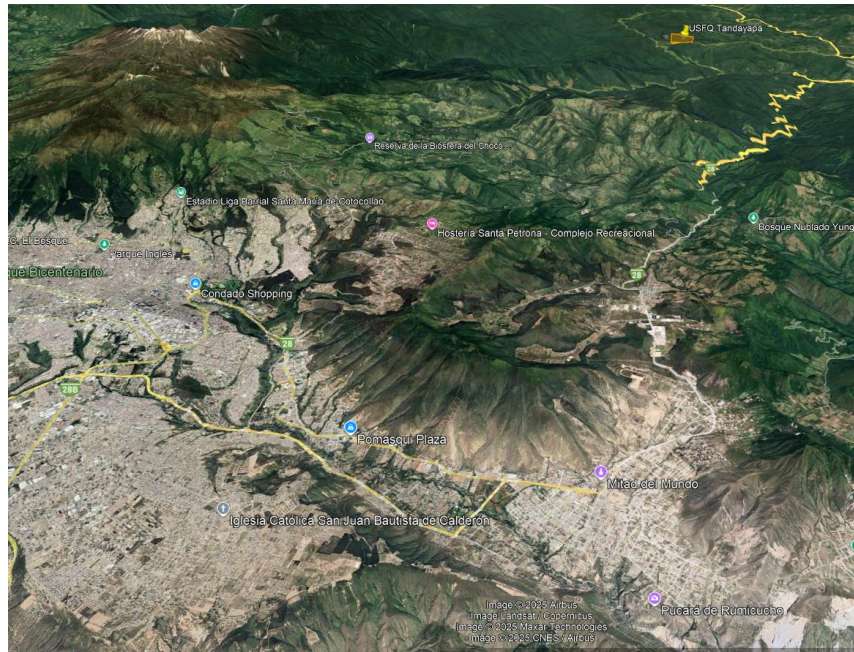


Figura 1: Relación de distancias entre la ciudad y la Estación Científica Tandayapa.



Figura 2: Terreno de la Estacion Científica Tandayapa.

Agua de mala calidad

El agua que actualmente llega a la estación proviene de tanqueros que suministran agua cruda, es decir, sin tratamiento previo. Esto representa un problema para las actividades de investigación y el bienestar del personal, ya que el consumo de agua sin tratamiento adecuado puede generar problemas de salud. Además, la calidad del agua no está garantizada, lo que dificulta su uso en ciertas aplicaciones dentro de la estación. De acuerdo con el análisis realizado por AQUABIOLAB (2023), el agua almacenada en la cisterna presenta una alcalinidad baja de 13,3 mg/L, lo que puede comprometer la estabilidad del pH y aumentar el riesgo de corrosividad en la infraestructura. La demanda química de oxígeno (DQO) fue de 22,5 mg/L, lo cual indica una presencia significativa de materia orgánica. Si bien parámetros como el pH (6,65) y los sólidos disueltos totales (50,7 mg/L) están dentro del rango permitido por la NTE INEN 1108:2020, la combinación de una alta carga orgánica, sólidos suspendidos (48 mg/L) y una baja mineralización general reflejada en la conductividad eléctrica (6,97 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sugiere un agua con baja capacidad tampón y posiblemente inestable. Estos resultados evidencian que, aunque el agua no presente niveles críticos en todos los parámetros, no es apta para el consumo humano sin un tratamiento adecuado.

Dependencia de proveedores externos

La estación depende totalmente de proveedores externos para su abastecimiento de agua, lo que la hace vulnerable a la disponibilidad y a las decisiones comerciales de estos. En épocas de sequía, los proveedores suelen priorizar la venta de agua a la ciudad, dejando en segundo plano a sectores rurales o estaciones científicas como la de Tandayapa. Esta dependencia genera incertidumbre y limita la capacidad operativa de la estación.

Altos costos

El costo del suministro de agua mediante tanqueros es elevado, llegando hasta los \$400 por entrega. Dado que el acceso a la estación es complicado, el transporte del agua encarece aún más el servicio. Estos costos representan una carga financiera significativa y refuerzan la necesidad de una solución alternativa que permita reducir la dependencia de proveedores externos y disminuir los gastos operativos.

1.2. Objetivos

El presente proyecto busca desarrollar una solución eficiente para el abastecimiento de agua en la Estación Científica USFQ Tandayapa, considerando criterios de sostenibilidad, viabilidad técnica y reducción de costos.

Objetivo general

Proveer una solución sostenible y ecológica para el abastecimiento de agua en la Estación Científica USFQ Tandayapa, aprovechando la energía hidráulica disponible en el entorno.

Objetivos específicos

- Evaluar alternativas de fuentes hídricas disponibles en la zona para determinar la mejor opción en términos de caudal, calidad y accesibilidad.
- Diseñar e implementar un sistema de bombeo mediante una bomba de ariete que garantice un suministro de agua eficiente y autónomo.
- Reducir los costos asociados al abastecimiento de agua mediante la eliminación de la dependencia de tanqueros y proveedores externos.

2. DESARROLLO

2.1. Metodología

El desarrollo de este estudio requirió la recopilación y análisis de información geográfica e hidráulica para evaluar la viabilidad de implementar una bomba de ariete en la Estación Científica USFQ Tandayapa. Para ello, se realizaron procesos de georreferenciación de las fuentes de captación, medición del caudal disponible y análisis de la oferta hídrica.

Levantamiento de información y georreferenciación

Para ubicar y caracterizar las fuentes hídricas potenciales, se llevó a cabo un proceso de georreferenciación utilizando ArcGIS Survey123, lo que permitió obtener coordenadas precisas de los puntos de captación. Posteriormente, los datos fueron complementados con el uso de Google Earth Pro, herramienta que facilitó el análisis topográfico del área de estudio y el trazado de rutas preliminares para la conducción del agua. Esto permitió identificar posibles dificultades en la infraestructura y evaluar distancias y pendientes del terreno.

Las coordenadas geográficas obtenidas fueron las siguientes:

- **Riachuelo:** 0°0'43" S, 78°41'22" W – Elevación: 2202 m s.n.m.
- **Ojo de agua:** 0°0'54" S, 78°41'14" W – Elevación: 2270 m s.n.m.

Estas coordenadas corresponden al sistema geográfico de latitud y longitud en grados, minutos y segundos (GMS), y serán utilizadas para ubicar los puntos en Google Earth, lo que permitirá una mejor representación espacial del terreno y facilitará la toma de decisiones técnicas en la implementación de la bomba de ariete.

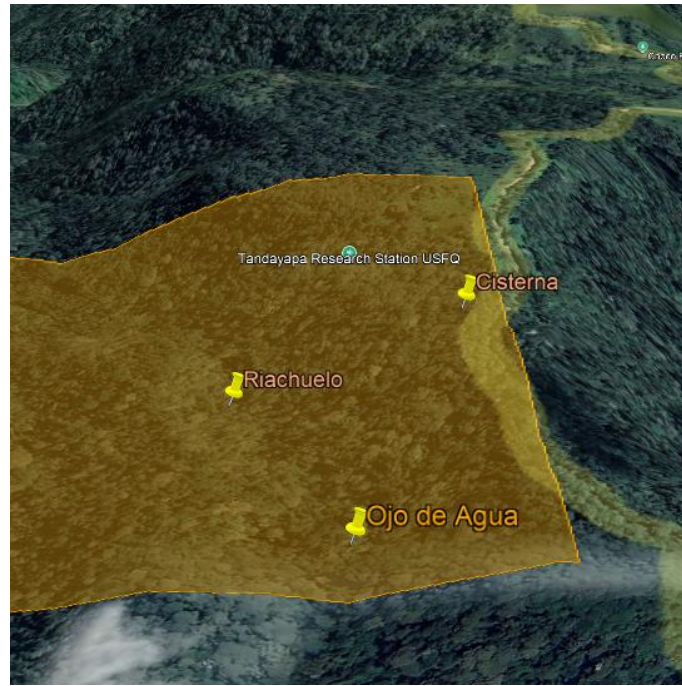


Figura 3: Ubicación de las fuentes hídrica en la Estación Científica Tandayapa.

Medición del caudal de las fuentes hídricas

Para determinar la disponibilidad de agua en la zona, se realizó la medición del caudal en dos fuentes naturales: un riachuelo y un ojo de agua. Dependiendo de las características de cada fuente, se utilizaron métodos distintos:

Riachuelo: Se empleó el método de aforo puntual, el cual consiste en dividir la sección transversal del cauce en celdas y medir la velocidad del flujo en cada una con un molinete hidrométrico. Posteriormente, se calculó el caudal total en función de la velocidad media y el área de la sección.



Figura 4: Medicion caudal del riachuelo.

Ojo de agua: Se utilizó el método volumétrico, midiendo el tiempo necesario para llenar un recipiente de volumen conocido y, con ello, determinar el flujo en litros por segundo (L/s).



Figura 5: Medicion caudal del Ojo de agua.

2.2. *Oferta hídrica*

El análisis de las fuentes hídricas disponibles es fundamental para determinar la viabilidad de implementar un sistema de bombeo de ariete que proporcione un abastecimiento constante y sostenible para la Estación Científica USFQ Tandayapa. En el área de estudio, se identificaron dos fuentes hídricas: un riachuelo y un ojo de agua. A continuación, se detallan las características de ambas fuentes:

Riachuelo: El riachuelo ofrece un caudal de $272 \text{ m}^3/\text{día}$, lo que representa una fuente de agua significativa para el abastecimiento de la estación. Esta fuente se encuentra ubicada a una elevación aproximadamente **120 metros por debajo** de la cisterna principal, lo que indica una diferencia altimétrica importante que podría ser aprovechada en sistemas hidráulicos. Es relevante destacar que esta elevación corresponde únicamente a la diferencia topográfica entre el punto de captación y la cisterna, sin considerar aún los criterios específicos de diseño de una bomba de ariete.

Ojo de agua: El ojo de agua presenta un caudal mucho menor, de $3.5 \text{ m}^3/\text{día}$, por lo que podría ser considerado para cubrir necesidades complementarias o en situaciones de menor demanda. Este se encuentra ubicado a una elevación de **40 metros por debajo** de la cisterna principal. Si bien su caudal es limitado en comparación con el riachuelo, la diferencia de altura sigue siendo un recurso potencialmente aprovechable.

Estos dos recursos hídricos, aunque de distinta magnitud, representan opciones válidas para abastecer a la estación. La elección final de la fuente de captación se basará en un análisis más detallado de la cantidad de agua requerida, la eficiencia del sistema de bombeo y la disponibilidad constante de las fuentes durante todo el año. De acuerdo con el estudio realizado por Camila Sánchez (2024), la demanda hídrica de la estación puede alcanzar los **$7.1 \text{ m}^3/\text{día}$**

en temporadas de alta afluencia de visitantes, lo cual es un factor clave para determinar la viabilidad de cada fuente.

Es importante destacar que las mediciones de caudal se realizaron durante una época de sequía, entre los meses de agosto y noviembre de 2024. Tal como se observa en la figura a continuación, los niveles de precipitación registrados durante estos meses fueron considerablemente más bajos en comparación con la media histórica de los años 2021 a 2023. Esta disminución en la cantidad de lluvia implica que los caudales observados en el riachuelo y el ojo de agua corresponden a condiciones mínimas. Por lo tanto, cualquier sistema diseñado en base a estos datos estaría preparado para operar adecuadamente incluso en los periodos más secos del año.

Precipitación (mm)

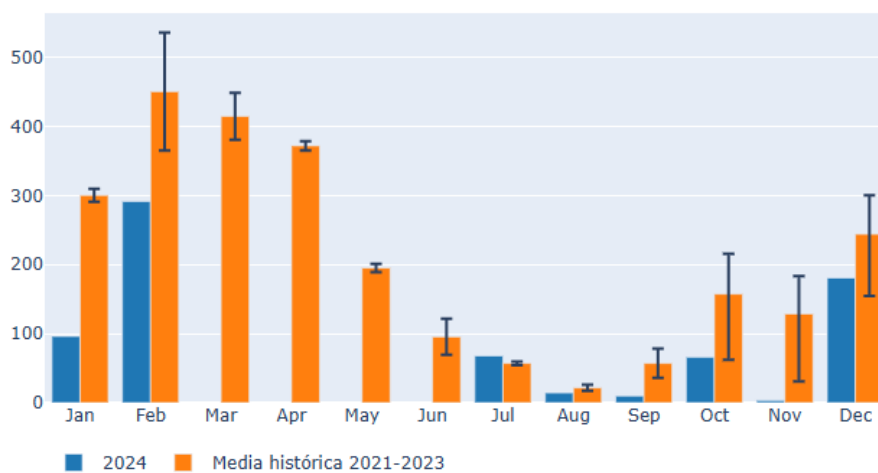


Figura 6: Comparación mensual de la precipitación (mm) registrada en 2024 con la media histórica del periodo 2021–2023. Se observa una reducción significativa en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, indicando una época de sequía durante la cual se realizaron las mediciones de caudal.

2.3. Solución: bomba de ariete

La bomba de ariete es una tecnología simple pero altamente eficiente y ecológica que se presenta como la solución más adecuada para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua de la Estación Científica USFQ Tandayapa. Esta bomba es ideal para condiciones como las que enfrenta la estación, ya que funciona de manera autónoma, sin necesidad de energía eléctrica, y tiene un bajo impacto ambiental. A continuación, se describen sus características principales que la hacen una opción viable para el proyecto:

Sistema sostenible y eficiente

El funcionamiento de la bomba de ariete se basa en un principio físico conocido como el golpe de ariete. Este fenómeno se produce cuando el agua fluye a través de las tuberías y se detiene repentinamente, creando una presión que impulsa el agua hacia arriba, hacia la cisterna de almacenamiento. En este proceso, la energía potencial del agua, derivada de la diferencia de altura entre la fuente y el punto de captura, se convierte en energía cinética durante el flujo. Cuando el golpe de ariete ocurre, esta energía se transforma en energía piezométrica, lo que permite elevar el agua a alturas mucho mayores sin la necesidad de energía externa, como electricidad o combustible.

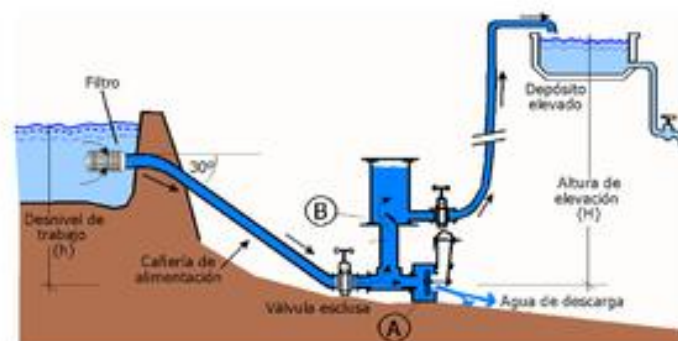


Figura 7: Esquema sistema de bombeo mediante el uso de la bomba de ariete.

Capacidad de elevación

Una de las principales ventajas de la bomba de ariete es su capacidad de elevación. Esta bomba puede elevar el agua hasta diez veces más que la altura de la fuente de captación, lo que es especialmente útil para proyectos ubicados en áreas con importantes desniveles, como es el caso de la Estación Científica USFQ Tandayapa, donde la diferencia de altura entre las fuentes hídricas y la cisterna es significativa. Este sistema permite transportar el agua a lugares elevados sin complicadas instalaciones eléctricas o mecánicas, lo que simplifica la infraestructura del proyecto.

Reducción de costos

La bomba de ariete es una solución económica debido a su bajo costo de operación. Al no depender de fuentes de energía externas como electricidad o combustibles fósiles, se elimina la necesidad de costosos suministros de energía. Esto se traduce en una disminución significativa de los costos operativos a lo largo del tiempo, haciendo que la inversión inicial sea rápidamente rentable. Este ahorro es crucial para proyectos que buscan ser sostenibles en el largo plazo y que operan en áreas con recursos limitados.

Larga durabilidad y bajo mantenimiento

La bomba de ariete es conocida por su robustez y durabilidad. Su diseño simple y la ausencia de partes eléctricas o mecánicas complejas contribuyen a que requiera un mantenimiento mínimo. Con un mantenimiento adecuado, esta bomba puede funcionar de manera eficiente durante muchos años, lo que la convierte en una solución confiable y de largo plazo para el abastecimiento de agua. Este factor es especialmente importante para las estaciones ubicadas en áreas remotas, donde el acceso para reparaciones o reemplazos es limitado.

2.4. Diseño del Sistema de Captación y Bombeo

El sistema de abastecimiento de agua para la Estación Científica USFQ Tandayapa ha sido diseñado para garantizar un suministro eficiente y sostenible mediante la implementación de una bomba de ariete. Este sistema permite transportar el agua desde dos fuentes naturales, un riachuelo y un ojo de agua, hasta la cisterna principal de la estación. Dado que estas fuentes presentan características hidráulicas distintas, el diseño del sistema de captación y conducción del agua se ha adaptado a cada caso específico.

Sistema de Captación

El proceso de captación tiene como objetivo regular el caudal de entrada y reducir la carga de sedimentos en el sistema. Para ello, se han dispuesto estructuras de captación adecuadas a las condiciones de cada fuente.

Riachuelo

En el caso del riachuelo, se ha implementado un sistema de almacenamiento mediante un tanque IBC de 1000 litros, el cual se encuentra parcialmente enterrado en el cauce. Este tanque actúa como un vertedero que permite estabilizar el caudal y evitar la entrada de sólidos

suspendidos. El agua captada se dirige posteriormente a un tanque de carga cerrado de igual capacidad, el cual cumple una doble función:

Regular el flujo de agua que se envía hacia la bomba de ariete.

Permitir la evacuación del excedente de agua hacia el riachuelo para evitar sobrecargas en el sistema.

El tanque de carga está configurado con tres conexiones estratégicas: una entrada proveniente del vertedero, una salida de excedente hacia el riachuelo y una conducción hacia la bomba de ariete. Este diseño garantiza una alimentación estable y controlada del sistema de bombeo.



Figura 8: Tanque IBC de 1000L.

Ojo de agua

Para el caso del ojo de agua, la captación sigue el mismo principio de almacenamiento, pero con tanques de menor capacidad debido al caudal reducido de la fuente. Este sistema evita

fluctuaciones en el suministro y permite un control eficiente del flujo antes de su ingreso a la bomba de ariete.



Figura 9: Tanque conico estándar de 500L y 250L.

Conducción y Transporte del Agua

La conexión entre el tanque de carga del riachuelo y la bomba de ariete se ha diseñado utilizando una tubería de alta presión de una pulgada de diámetro. Esta tubería está dimensionada para soportar las variaciones de presión generadas por el golpe de ariete y minimizar las pérdidas de carga.

El transporte del agua desde la bomba de ariete hasta la cisterna principal de la estación se realiza mediante tuberías de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro. La reducción del diámetro en este tramo permite optimizar la velocidad del flujo y mejorar la eficiencia del sistema de bombeo.

En el caso del ojo de agua, las presiones generadas son menores, por lo que la conducción del agua no requiere tuberías de alta resistencia. Se han seleccionado tuberías adecuadas a las condiciones del flujo para garantizar la eficiencia hidráulica del sistema sin incurrir en sobrecostos innecesarios.

Control y Regulación del Sistema

Para optimizar el funcionamiento del sistema de bombeo, se han instalado válvulas de control en puntos estratégicos, tanto en la entrada como en la salida de la bomba de ariete. Estas

válvulas permiten regular la presión y el caudal en el sistema, evitando fluctuaciones que puedan afectar el rendimiento del bombeo.

Adicionalmente, se han considerado filtros en los puntos de captación para minimizar la acumulación de sedimentos en las tuberías y la bomba. El sistema también cuenta con mecanismos de drenaje que facilitan su mantenimiento y garantizan su operatividad en distintas condiciones climáticas.

Optimización Hidráulica del Sistema

El diseño del sistema de captación y bombeo ha sido optimizado para minimizar pérdidas de carga y maximizar la eficiencia en la conducción del agua. Se ha realizado un análisis detallado de la topografía del sitio para definir la disposición óptima de las tuberías y evitar cambios bruscos de dirección que puedan generar turbulencias o reducciones en el rendimiento del sistema.

Los materiales seleccionados para las conducciones presentan baja rugosidad interna, lo que reduce la fricción y mejora la eficiencia del transporte del agua. Además, el trazado del sistema ha sido diseñado para aprovechar al máximo la energía disponible en cada fuente, asegurando que el bombeo sea efectivo sin requerir intervenciones adicionales.

Este diseño integral garantiza un sistema de abastecimiento confiable, sostenible y de bajo costo operativo, alineado con los principios de aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos y la conservación ambiental.

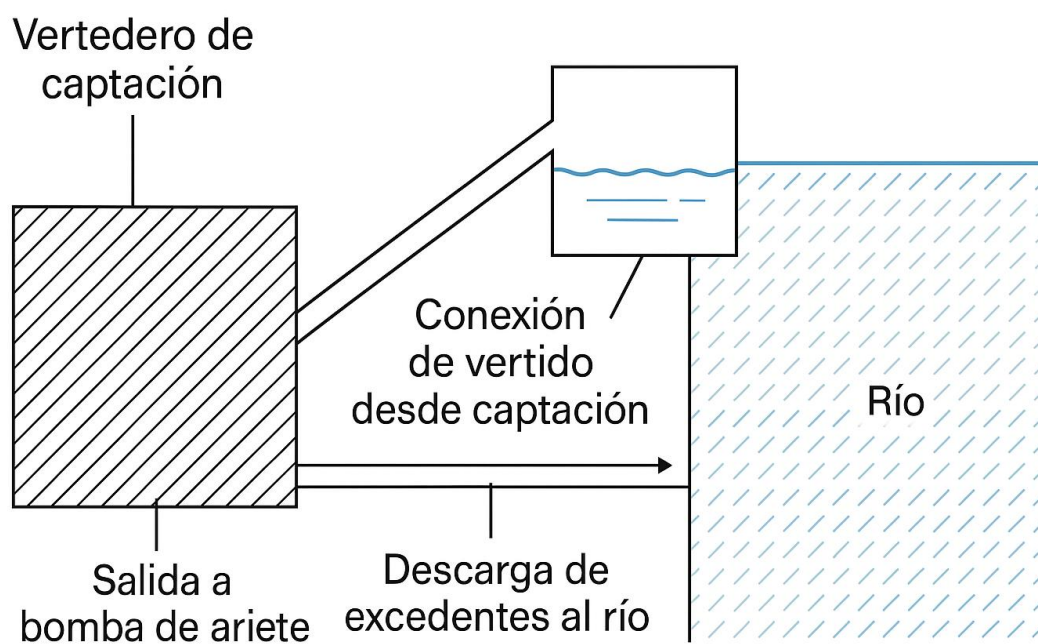


Figura 10: Esquema conexión tanque de captación (Vertedero) y tanque de distribución a la bomba de ariete (Tanque 2).

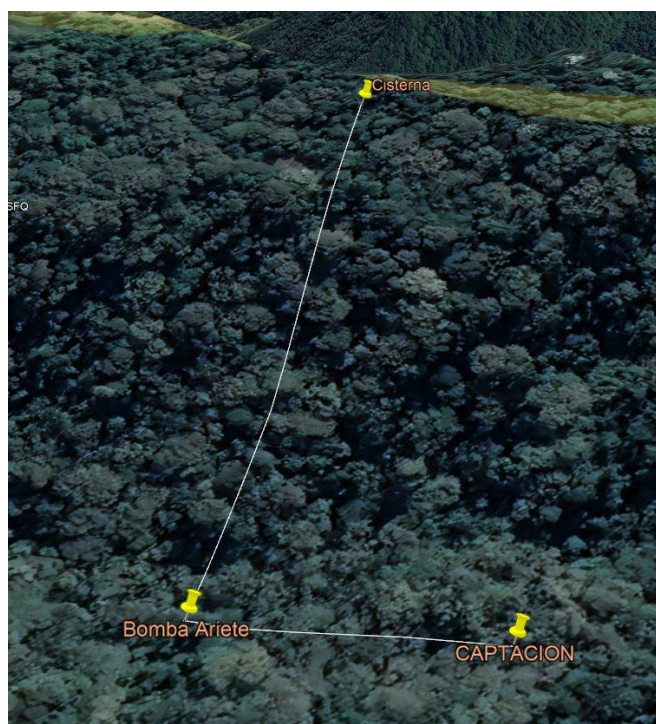


Figura 11: Esquema de conducción Riachuelo-Cisterna.

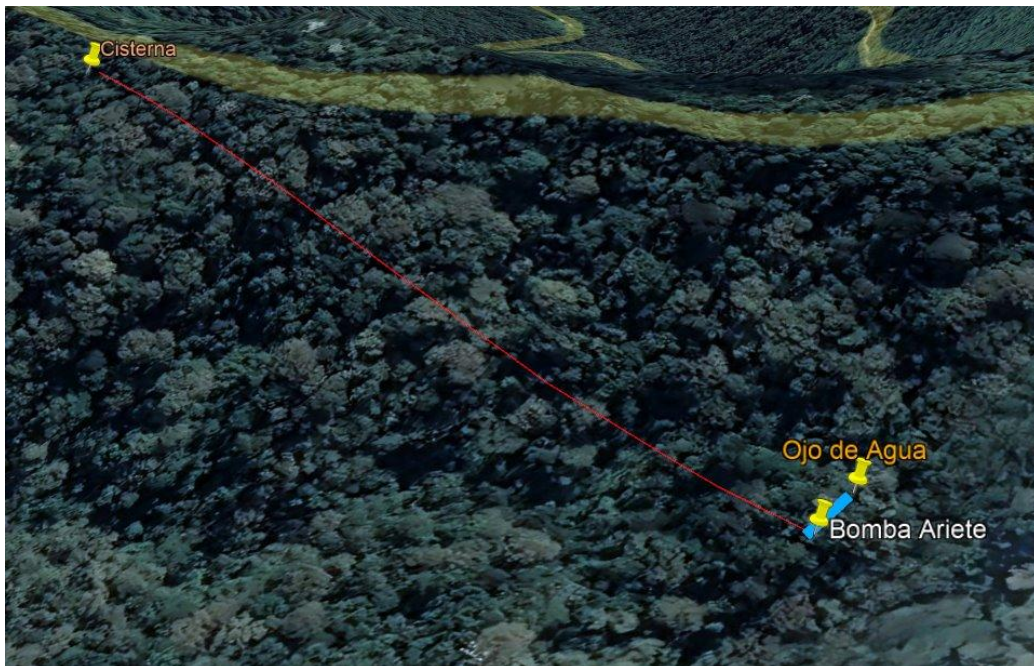


Figura 12: Esquema de conducción Ojo de Agua-Cisterna.

2.5. Presupuesto referencial

Para la implementación del sistema de abastecimiento de agua mediante la bomba de ariete, se realizó una estimación de costos considerando los materiales e insumos necesarios para la captación y distribución del agua desde el riachuelo y el ojo de agua. Este presupuesto incluye tuberías, válvulas, tanques de almacenamiento, conectores y otros elementos esenciales para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. La selección de los materiales se realizó con base en criterios técnicos, priorizando la durabilidad, resistencia a la presión y eficiencia en la conducción del agua.

A continuación, se presentan los costos estimados para los componentes del sistema de captación y bombeo de ambas fuentes hídricas:

Tabla 1: Costo material para sistema Riachuelo-Cisterna

RIACHUELO	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo total (\$)
Manguera azul, presión 1.25 MPa, 25mm (1')	rollo (100m)	1	123.35	123.35
Manguera azul 1.25 MPa 20 mm (3/4')	rollo (100m)	3	88.66	265.98
Bomba de ariete de acero al carbono de 1"	u	1	395	395
Val. Compuerta 1" Red-White Pesada	u	1	36.54	36.54
Val. Compuerta 3/4" Red-White Pesada	u	1	25.83	25.83
Conectores 1"	u	10	0.97	9.7
Conectores 3/4" macho y hembra de latón sólido para manguera	u	10	3.12	31.2
Tanque blanco IBC 1000L	u	2	125	250
Adaptador para tanque blanco 2" (Esp) x 1 1/2"	u	2	5.5	11
Malla filtro	u	2	5.6	11.2
			TOTAL	1159.8 \$
			Captación	8 m3/día

Tabla 2: Costo material sistema Ojo de Agua-Cisterna

OJO DE AGUA	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Manguera lisa 25 mm 100 metros	rollo (100m)	1	45	45
Manguera lisa 20 mm 100 metros	rollo (100m)	5	33	165
Bomba de ariete de acero al carbono de 1"	u	1	395	395
Val. Compuerta 1" Red-White Pesada	u	1	36.54	36.54
Val. Compuerta 3/4" Red-White Pesada	u	1	25.83	25.83
Conectores 1"	u	10	0.97	9.7
Conectores 3/4" macho y hembra de latón sólido para manguera	u	10	3.12	31.2
Tanque Conico Standar Kit 1/2" 250Lt Plasti	u	1	63.04	63.04
Tanque Conico Standar Kit 1/2" 500Lt Plasti	u	1	110.54	110.54
Adaptador para tanque blanco 2" (Esp) x 1 1/2"	u	4	5.5	22
Malla filtro	u	1	5.6	5.6
			TOTAL	909.45 \$
			Captación	3 m3/día

3. CONCLUSIÓN

El presente estudio ha evaluado dos fuentes de captación de agua para la estación científica, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales. A partir de los análisis realizados, se concluye que la captación desde el riachuelo representa la alternativa más viable y sostenible, a pesar de su mayor costo inicial en comparación con el sistema basado en el ojo de agua. Esta inversión adicional se justifica en función de la eficiencia operativa, la capacidad de suministro y la sostenibilidad a largo plazo del sistema.

Desde una perspectiva de relación costo-beneficio, el sistema de captación desde el riachuelo tiene un costo total aproximado de \$1,159.8, en comparación con los \$909.45 del sistema basado en el ojo de agua. No obstante, esta diferencia de costos se compensa con una mayor capacidad de captación, alcanzando hasta 8 m³/día, frente a los 3 m³/día del ojo de agua. Esta

diferencia de caudal es crítica para la operación de la estación, ya que permite cubrir tanto las necesidades actuales como futuras sin comprometer la disponibilidad del recurso. Además, el diseño del sistema basado en el riachuelo presenta menores riesgos operacionales, debido a la mayor estabilidad del caudal en comparación con el ojo de agua, que podría presentar variaciones significativas en períodos de estiaje.

En términos de proyección de la demanda hídrica, el análisis realizado en base a la investigación (Sanchez, 2024) confirma que el sistema basado en el riachuelo no solo cubre las necesidades hídricas presentes de la estación, sino que también ofrece un margen suficiente para futuras expansiones o incrementos en la demanda. Actualmente, el consumo promedio de agua en la estación es de aproximadamente $5 \text{ m}^3/\text{día}$, lo que significa que el sistema del ojo de agua apenas cubre el requerimiento básico, mientras que el del riachuelo ofrece un margen adicional de $3 \text{ m}^3/\text{día}$ para cubrir aumentos de personal, actividades de investigación o turismo científico. La estabilidad del caudal del riachuelo garantiza una fuente confiable a largo plazo, lo que reduce la necesidad de intervenciones adicionales y refuerza la sostenibilidad del proyecto. En contraste, el sistema del ojo de agua, debido a su capacidad limitada, requeriría modificaciones en un período relativamente corto, generando costos adicionales en infraestructura y mantenimiento.

Desde la perspectiva de impacto ambiental, la captación desde el riachuelo representa una intervención de bajo impacto, ya que solo reducirá un 3 % del caudal disponible, lo cual es ambientalmente sostenible y no compromete significativamente el ecosistema del área. En cambio, la captación desde el ojo de agua representaría una reducción de hasta el 90 % de su flujo, generando un impacto severo en el equilibrio hidrológico del ecosistema. La disminución del caudal en un porcentaje tan elevado podría derivar en alteraciones en la flora y fauna local, afectando la estabilidad ecológica del entorno. Por lo tanto, la elección del riachuelo como

fuelle de captación minimiza las afectaciones ambientales y se alinea con principios de conservación del recurso hídrico.

Considerando estos factores, se recomienda la implementación del sistema basado en el riachuelo como la alternativa más eficiente desde los ámbitos técnico, económico y ambiental. Esta elección garantiza un suministro de agua estable, con capacidad de expansión a futuro y un impacto ambiental mínimo. La inversión inicial adicional se ve compensada por la reducción de costos de mantenimiento, la confiabilidad operativa y la sostenibilidad del recurso, asegurando que la estación científica cuente con un sistema de abastecimiento eficiente y duradero en el tiempo.

Adicionalmente, si se compara el costo de implementar la bomba de ariete con el gasto mensual en tanqueros de agua, la diferencia resulta aún más significativa. Actualmente, el suministro mediante tanqueros representa un gasto promedio de \$300 mensuales, es decir, \$3,600 al año. Frente a esto, la inversión única de \$1,159.8 en el sistema del riachuelo se amortiza en menos de cuatro meses, eliminando la dependencia de transporte externo y generando un ahorro sustancial a mediano y largo plazo. Esta comparación refuerza aún más la viabilidad económica del sistema propuesto, consolidándolo como una solución eficiente, autosostenible y financieramente responsable.

3.1. Recomendaciones

Con base en el desarrollo del proyecto, se proponen tres recomendaciones clave para garantizar su sostenibilidad y correcto funcionamiento: en primer lugar, se sugiere seleccionar un riachuelo como fuente de agua con el fin de evitar impactos negativos en el ecosistema local; en segundo lugar, se recomienda implementar un plan de mantenimiento periódico para asegurar la eficiencia operativa del sistema; y finalmente, es importante establecer un

monitoreo constante del caudal y la calidad del agua para preservar tanto el equipo como el entorno natural.

Selección del riachuelo como fuente de agua

Escoger un riachuelo cercano permite aprovechar el flujo constante de agua sin generar intervenciones agresivas en el ambiente. Esta decisión busca preservar la biodiversidad del entorno y minimizar el impacto ecológico, cumpliendo con los principios de sostenibilidad que guían las actividades en la estación científica de Tandayapa.

Mantenimiento periódico del sistema

Para garantizar la durabilidad y correcto funcionamiento de la bomba de ariete, se recomienda establecer un cronograma de mantenimiento preventivo. Esto incluye la revisión periódica de válvulas, conexiones y tuberías, así como la limpieza de posibles obstrucciones en el sistema, evitando fallos inesperados.

Monitoreo del caudal y la calidad del agua

Se debe implementar un control continuo sobre el caudal del riachuelo y la calidad del agua utilizada. Este monitoreo permitirá identificar posibles variaciones estacionales o contaminaciones que puedan afectar el rendimiento del sistema o la seguridad del agua suministrada, permitiendo tomar acciones correctivas a tiempo.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FAO. (2003). Manual sobre bombas de ariete hidráulicas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fondo para la Protección del Agua (FONAG). (2023). Datos pluviométricos de la estación Tandayapa. Quito, Ecuador.
- García, J., & Rodríguez, M. (2015). Diseño e implementación de una bomba de ariete hidráulico para zonas rurales. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 33(2), 123–132.
- Instituto Nacional de Biodiversidad del Ecuador (INABIO). (2021). Ecosistemas y conservación en la región de Tandayapa.
- Martínez, L. A. (2019). Tecnologías apropiadas para el desarrollo sostenible en comunidades rurales: aplicación de bombas hidráulicas. Editorial Ecoingeniería.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Asamblea General de las Naciones Unidas.
- Pacheco, F., & Torres, D. (2020). Evaluación del impacto ambiental por captación de agua en ecosistemas de montaña. *Revista Ciencias Ambientales*, 45(1), 45–60.
- Rueda, C., & Salazar, P. (2018). Monitoreo de caudales en fuentes hídricas naturales: técnicas y recomendaciones para su implementación en campo. *Revista Técnica de Recursos Naturales*, 22(3), 78–90.
- Sánchez Medina, C. S. (2024). Diagnóstico y diseño de sistemas sostenibles de agua para consumo humano y saneamiento en la Estación Científica USFQ de Tandayapa.

5. ANEXOS

5.1. Diseño de flujo sistema de captación (Riachuelo).

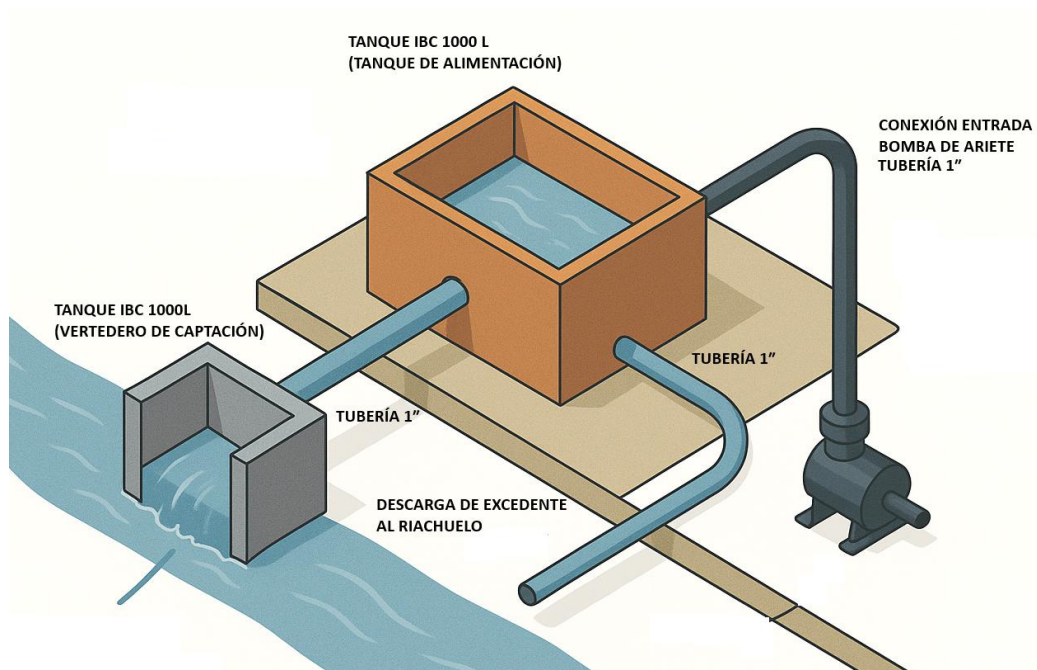


Figura 13: Sistema de captación (Riachuelo).

5.2. Diseño de flujo sistema de captación (Ojo de agua).

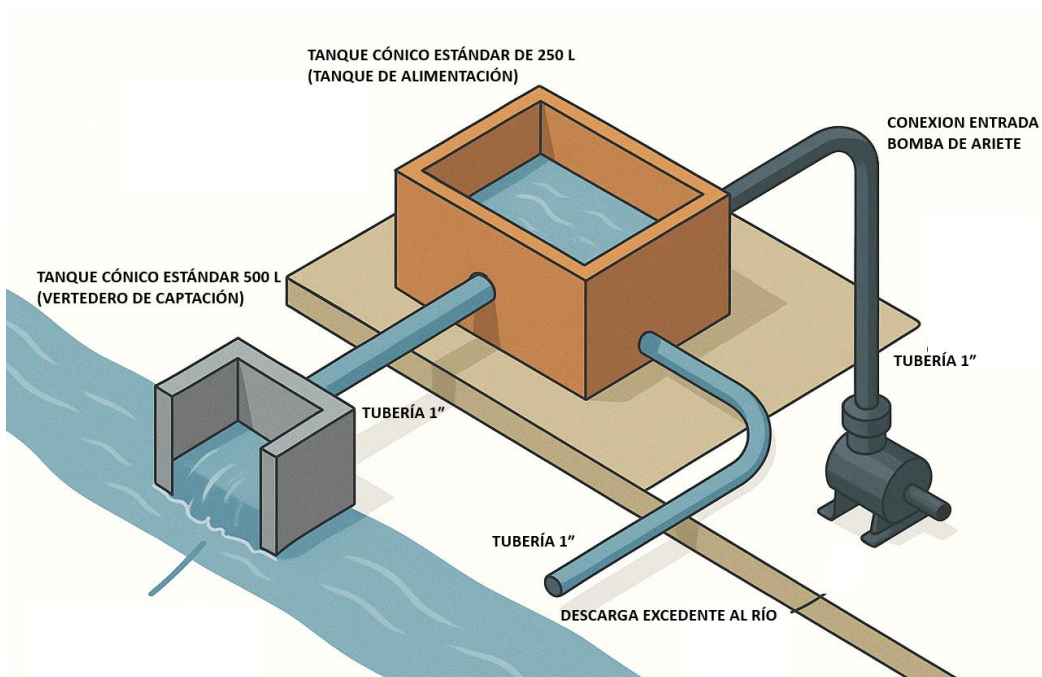


Figura 14: Sistema de captación (Ojo de agua).

5.3. Conexiones bomba de ariete

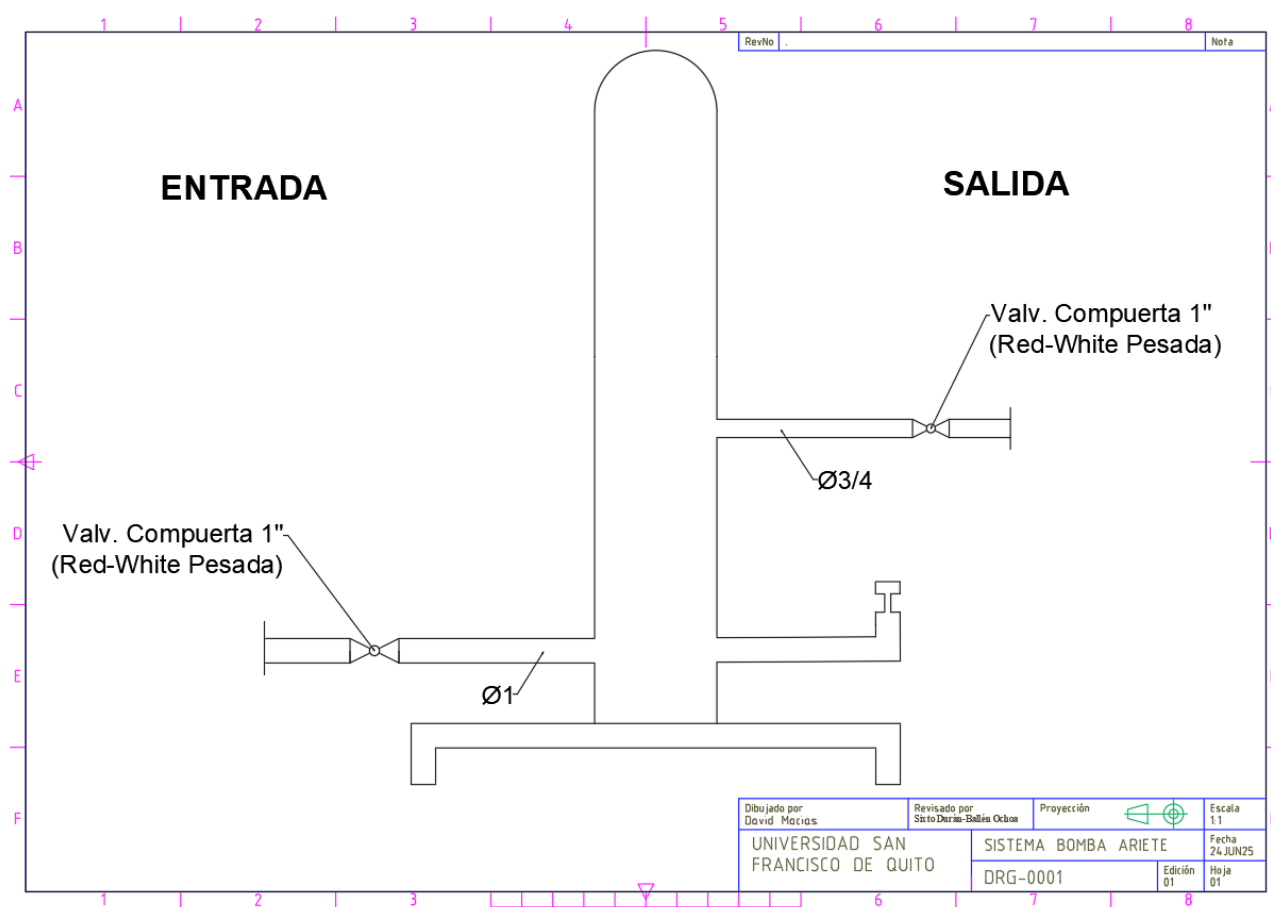


Figura 15: Bomba de ariete