

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DE SERVICIO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE  
DE LA CIUDAD DE JOSÉ GÁLVEZ, CELENDIN, CAJAMARCA, 2023”**

Tesis para optar título profesional de:

**INGENIERO SANITARIO**

Presentado por:

**KIARA PAMELA SÁNCHEZ ALIAGA**

Asesorado por:

**Dr. Ing. AGUSTÍN EMERSON MEDINA CHÁVEZ**

**CELENDÍN – PERÚ**

**2024**

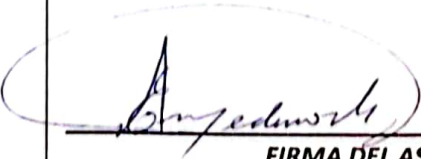
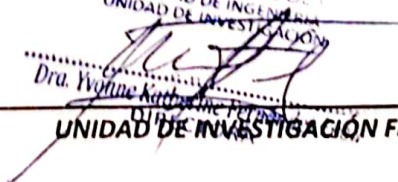


## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Kiara Pamela Sánchez Aliaga  
DNI: 72872789  
Escuela Profesional: Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria
2. Asesor: Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez  
Facultad: Ingeniería
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller  Título profesional  Segunda especialidad  
 Maestro  Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis  Trabajo de investigación  Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
"EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DE SERVICIO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE JOSÉ GÁLVEZ, CELENDIN, CAJAMARCA, 2023"
6. Fecha de evaluación: 16 de octubre 2024
7. Software antiplagio:  TURNITIN  URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 20%
9. Código Documento: oid: 3117:393596684
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO  PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 16 de octubre 2024

 <b>FIRMA DEL ASESOR</b> Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez DNI: 27040564	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Dra. Ivonne Kuroki UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la fortaleza y la sabiduría que me ha brindado a lo largo de este camino. A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios que han hecho posible la realización de este sueño. A mi asesor, por su orientación, paciencia y valiosos consejos que han sido fundamentales para la culminación de este trabajo. Finalmente, al comité de la calidad y jurado, por su tiempo, dedicación y contribuciones para mejorar la calidad de esta tesis.

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios, cuya infinita sabiduría y amor han sido mi guía y fortaleza en todo momento. Su presencia me ha dado la paz y la determinación necesarias para enfrentar cada desafío.

A mis padres, mi más sincero agradecimiento por su amor incondicional y sacrificio. Gracias por creer en mis sueños y por brindarme el apoyo necesario para alcanzarlos, por enseñarme el valor del trabajo duro y por siempre creer en mí, incluso en los momentos en que yo misma dudaba.

A mi hermana, por su amor, aliento y anhelo de verme crecer, espero ser su guía y apoyo incondicional siempre.

A mi enamorado, por su apoyo, amor y soporte constante. Su confianza en mí y sus palabras de aliento han sido un pilar fundamental en este proceso.

A mis padrinos, tíos y demás familiares, quienes, con su cariño y ayuda, lograron ser mi fuente de motivación. Su fe en mis capacidades ha sido esencial para mi crecimiento.

Finalmente, a la comunidad, su generosidad y solidaridad me han enseñado el verdadero valor de la colaboración y el apoyo mutuo. Gracias por ser una parte fundamental de este logro.

**CONTENIDO:**

AGRADECIMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
ÍNDICE DE TABLAS: .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS: .....	vii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS: .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT:.....	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.    Planteamiento del problema .....	1
1.1.1.    Contextualización.....	1
1.1.2.    Descripción del problema.....	2
1.1.3.    Formulación del problema .....	3
1.2.    Justificación e importancia .....	3
1.2.1.    Justificación científica.....	3
1.2.2.    Justificación técnica-práctica .....	3
1.2.3.    Justificación institucional y personal .....	3
1.3.    Delimitación de la investigación .....	4
1.4.    Limitaciones .....	4
1.5.    Objetivos.....	4
1.5.1.    Objetivo general .....	4
1.5.2.    Objetivos específicos.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1    Antecedentes de la investigación .....	5
2.1.1.    Antecedentes Internacionales .....	5

2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	6
2.1.3. Antecedentes Locales .....	7
2.2 Bases teóricas .....	8
2.2.1. Sistemas de abastecimiento de agua potable.....	8
2.2.2. Componentes hidráulicos de los sistemas de abastecimiento de agua potable ....	8
2.2.3. Parámetros de diseño de un sistema de agua potable .....	22
2.2.4. Modelamiento Hidráulico.....	28
2.2.5. Calibración de una red de distribución.....	32
2.2.6. Servicio de agua potable.....	32
2.3 Definición de términos básicos .....	34
2.3.1. Análisis hidráulico.....	34
2.3.2. Consumo de agua .....	34
2.3.3. Sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano: .....	34
2.3.4. Continuidad de servicio de agua .....	34
2.3.6. Calibración de sistema de agua .....	34
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1. Materiales.....	35
3.1.1. Instrumentos .....	35
3.1.2. Ubicación del Área de estudio.....	35
3.1.3. Características resaltantes de la zona de estudio .....	37
3.1.4. Población y muestra .....	40
3.2. Metodología y Procedimiento.....	40
3.2.1. Metodología.....	40
3.2.2. Procedimiento.....	40
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>

4.1. Presentación de resultados .....	45
4.1.1. Descripción del estado actual del sistema de agua potable: .....	45
4.1.2. Determinación de caudales de consumo .....	49
4.1.3. Evaluación del sistema de agua potable: .....	54
4.1.5. Administración, operación y mantenimiento .....	71
4.2. Discusión de resultados.....	72
4.2.1. Captación.....	72
4.2.2. Línea de aducción.....	72
4.2.3. Redes de Distribución .....	73
4.2.4. Administración, operación y mantenimiento .....	73
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1. CONCLUSIONES .....	74
5.2. RECOMENDACIONES .....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
PANEL FOTOGRÁFICO.....	97

## ÍNDICE DE TABLAS:

<b>Tabla 1</b> Dotación por número de habitantes. ....	24
<b>Tabla 2</b> Dotación por región .....	24
<b>Tabla 3</b> Clasificación de los operadores de los servicios de agua. ....	33
<b>Tabla 4</b> Ubicación de la investigación .....	36
<b>Tabla 5</b> Verificación del estado de las conexiones domiciliarias .....	48
<b>Tabla 6</b> Registro de consumos de la población en l/s .....	50
<b>Tabla 7</b> Resultados de caudales obtenidos .....	52
<b>Tabla 8</b> Cálculo de caudal de oferta de manantial por el método sección - pendiente ....	56
<b>Tabla 9</b> Cálculo de caudal de riego por el método sección - pendiente.....	59
<b>Tabla 10</b> Reporte de presiones estáticas obtenidas en los nodos .....	63
<b>Tabla 11</b> Reporte de resultados de caudales en la red de distribución.....	65
<b>Tabla 12</b> Presiones dinámicas registradas en campo .....	66
<b>Tabla 13</b> Presión en el nodo 1 con $C = 150$ .....	67
<b>Tabla 14</b> Presión en el nodo 1 con $C = 118$ .....	67
<b>Tabla 15</b> Reporte de la calibración en resultados de caudales .....	68
<b>Tabla 16</b> Presiones de la simulación hidráulica, calibración y en campo.....	69
<b>Tabla 17</b> Cálculo hidráulico con diámetros propuestos para la mejora de la velocidad en la red de agua .....	70
<b>Tabla 18</b> Leyenda de rangos de velocidades.....	71



**ÍNDICE DE FIGURAS:**

<b>Figura 1</b> Captación de ladera .....	10
<b>Figura 2</b> Pérdida de carga - disminución de presión de un fluido .....	12
<b>Figura 3</b> Distribución de los orificios de ingreso de agua a la cámara húmeda .....	14
<b>Figura 4</b> Esquema de una línea de conducción por gravedad. ....	19
<b>Figura 5</b> Coeficiente de variación diaria.....	25
<b>Figura 6</b> Coeficiente de variación horaria.....	26
<b>Figura 7</b> Mapa de clasificación de suelos del distrito de José Gálvez .....	39
<b>Figura 8</b> Captación de ladera La Pacchana .....	45
<b>Figura 9</b> Afloramiento del manantial de ladera .....	46
<b>Figura 10</b> Cámara húmeda.....	46
<b>Figura 11</b> Cámara seca.....	47
<b>Figura 12</b> Estado de conexiones domiciliarias .....	49
<b>Figura 13</b> Variación de caudales en el día de máximo consumo.....	50
<b>Figura 14</b> Consumos horario del día de máximo consumo .....	53
<b>Figura 15</b> Caudales máximos diarios vs caudal promedio .....	53
<b>Figura 16</b> Vista en corte y planta de la cámara húmeda .....	60

**ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS:**

<b>Fotografía 1</b> Levantamiento topográfico del área en estudio .....	97
<b>Fotografía 2</b> Visita a la captación La Pacchana.....	97
<b>Fotografía 3</b> Manantial de ladera La Pacchana .....	98
<b>Fotografía 4</b> Medición de caudales de consumo con macromedidor de agua .....	98
<b>Fotografía 5</b> Manómetros instalados en los domicilios .....	99
<b>Fotografía 6</b> Medición en campo para cálculo de caudal – sección 1 .....	100
<b>Fotografía 7</b> Medición en campo para cálculo de caudal - sección 2.....	100

## RESUMEN

La presente investigación se centró en la evaluación del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez durante el año 2023, desde la perspectiva hidráulica y de servicio. Partiendo de la descripción del sistema, que incluye captación, línea de aducción y redes de distribución. Este sistema viene funcionando durante 20 años, ha alcanzado su vida útil, evidenciando un deterioro en la captación, que actualmente capta un caudal de 4.61 l/s, superior al requerimiento promedio de la población. Se llevaron a cabo cálculos de los caudales de consumo, obteniendo valores de:  $Q_m = 1.13$  l/s,  $Q_{md} = 1.34$  l/s y  $Q_{mh} = 2.36$  l/s, así como coeficientes de variación de consumo de:  $k_1 = 1.18$ ,  $k_2 = 1.77$  y  $k_3 = 2.09$ . La evaluación de la línea de aducción, con un diámetro de 4", indicó que debería estar en un rango de 1 ½" a 3", según los cálculos realizados. Además, se observó que las velocidades en la red de distribución son inferiores a 0.6 m/s, incumpliendo con las recomendaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones. Las presiones en la red superan los 10 m.c.a., lo que está dentro de la normativa. Se calculó el coeficiente de rugosidad para la calibración del sistema, ajustando las presiones medidas en campo con las simuladas en el software WaterGEMS, resultando en un valor de  $C = 118$ . En cuanto a la administración, operación y mantenimiento del sistema, la responsabilidad recae en la Municipalidad Distrital, a través del Área Técnica Municipal; sin embargo, se identificó una falta de personal capacitado y equipamiento apropiado, así como una inadecuada fijación de la cuota familiar para el pago del servicio, que no se basa en un cálculo técnico.

**Palabras Clave:** agua potable, vida útil, redes de distribución, calibración, operación y mantenimiento.

**ABSTRACT:**

This research focused on the evaluation of the potable water system of the city of José Gálvez during the year 2023, from a hydraulic and service perspective. Starting from the description of the system, which includes catchment, adduction line and distribution networks. This system has been operating for 20 years and has reached its useful life, evidencing a deterioration in the catchment, which currently captures a flow of 4.61 l/s, higher than the average requirement of the population. Calculations of the consumption flows were carried out, obtaining values of:  $Q_m = 1.13$  l/s,  $Q_{md} = 1.34$  l/s and  $Q_{mh} = 2.36$  l/s, as well as consumption variation coefficients of:  $k_1 = 1.18$ ,  $k_2 = 1.77$  and  $k_3 = 2.09$ . The evaluation of the adduction line, with a diameter of 4", indicated that it should be in a range of 1 ½" to 3", according to the calculations performed. In addition, it was observed that the velocities in the distribution network are less than 0.6 m/s, not complying with the recommendations of the National Building Regulations. The pressures in the network exceed 10 m.w.c.a., which is within the regulations. The roughness coefficient was calculated for system calibration, adjusting the pressures measured in the field with those simulated in the WaterGEMS software, resulting in a value of  $C = 118$ . As for the administration, operation and maintenance of the system, the responsibility falls on the District Municipality, through the Municipal Technical Area; however, a lack of trained personnel and appropriate equipment was identified, as well as an inadequate setting of the family fee for the payment of the service, which is not based on a technical calculation.

**Key words:** drinking water, service life, distribution networks, calibration, operation and maintenance.

**Palabras Clave:**

1. **Agua potable:** Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal (Ministerio de Salud, 2010).
2. **Vida útil:** Tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento (Lozano y Córdova, 2017).
3. **Redes de distribución:** Conjunto de tuberías principales y ramales distribuidores que permiten abastecer de agua para consumo humano a las viviendas (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2021).
4. **Calibración:** Parámetro para determinar las características físicas y operacionales de un sistema existente, que ingresados como datos al modelo computacional permitan obtener resultados realistas (Shamir y Howard, 1977).
5. **Operación y mantenimiento:** Correcta, regular o pésima operación y mantenimiento del servicio, en temas como manejo de accesorios, sectorizaciones, lavado de estructuras hidráulicas, esterilización y cloración del sistema, reparaciones, el contar con un operador, la accesibilidad de las herramientas, repuestos y equipamiento para poder realizar reparaciones o reemplazos (Ramos, 2021).

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

Un factor importante en el nivel de desarrollo económico y social de cualquier país es la cobertura de los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico, afectando aspectos importantes como la salud, la educación y el medio ambiente.

Sin embargo, en la actualidad 2000 millones de personas experimentan un alto nivel de estrés hídrico a nivel global, y se estima que esta cifra se duplicará para el 2050. De otro lado, 2400 millones de personas aún carecen de acceso a instalaciones de saneamiento, mientras que 663 millones no cuentan con acceso a agua potable en todo el mundo (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN], 2023).

La ausencia o deficiencia de los sistemas de agua potable afectan significativamente la salud de la población por el aumento de enfermedades intestinales o diarreicas agudas que generan altos costos para la sociedad en el cuidado de los enfermos y los desenlaces de fatalidad que generan a los niños menores de 5 años (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2022).

Los servicios de saneamiento constituyen prestaciones sociales básicas, pero también instrumentos útiles del Estado para asegurar la salud, economía y calidad de vida de las personas, lo que conmina a estudiar el estado de su provisión y los niveles de satisfacción de sus usuarios (Alvarado y Echaiz, 2020).

### **1.1. Planteamiento del problema**

#### **1.1.1. Contextualización**

El acceso a agua potable y saneamiento básico en el planeta es insuficiente e inadecuado, repercute en impactos negativos en la salud pública; los factores que limitan son: La capacidad financiera limitada de los organismos encargados de proveer estos servicios, la institucionalidad débil del sector y la poca visión de desarrollo sostenible y sustentable en función del agua (Flores, 2014).

Las enfermedades diarreicas agudas (EDA) en el Perú, son una de las tres primeras causas de morbilidad y mortalidad en niños menores de cinco años y están directamente relacionadas con la falta de acceso a los servicios de agua, saneamiento y a malas prácticas de higiene. Se estima

que los niños de zonas que no cuentan con agua y desagüe tienen entre 10 y 12 episodios de diarrea al año y 1 de cada 4 niños sufre de desnutrición crónica; por ello, es importante estudiar y evaluar los servicios de agua brindados en el país, para salvaguardar la salud en la población (Urgilés, 2019).

Por otro lado, el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (2023), informó que al 2030, el 58 % de la población peruana vivirá en zonas con escasez de agua, producto de la crisis global por el agua que se avecina en el futuro y que tendrá al Perú como uno de los países más afectados en América Latina y el Caribe. El problema se complejiza porque el crecimiento de la población y de la economía han incrementado, la demanda por alimentos y energía; lo que presiona aún más sobre los recursos hídricos disponibles y acelera la contaminación de las fuentes (Guevara y Nuño, 2018).

El agua potable es indispensable en el desarrollo de toda actividad humana a nivel mundial, y la problemática por su ineficiente uso es considerable. El servicio de agua y saneamiento en el Perú es débilmente atendido, evidenciando elevados índices de enfermedades de salud pública (Villegas, 2022).

En los distritos de la sierra del país no existe una buena administración, operación y mantenimiento de las estructuras (como captaciones, reservorios, líneas de conducción, líneas de distribución, cámaras rompe presión, etc.) del servicio de agua potable, que brindan y que repercute directamente en la calidad de agua potable para el consumo humano (Angulo, 2019); es por ello que la investigación contribuirá para conocer si los sistemas de agua potable cumplen con los parámetros de control obligatorio, según la normativa vigente en la ciudad de José Gálvez.

### **1.1.2. Descripción del problema**

La ciudad de José Gálvez, presenta dificultades en su sistema de agua potable; empezando por infraestructura que ya cumplió 20 años de vida de su funcionamiento desde el año 2004. Otro problema visible es que el sistema no recibe un adecuado mantenimiento, por lo que la infraestructura hidráulica se encuentra en estado de deterioro, que preocupa y causan incertidumbre y malestar en los usuarios.

En tal sentido, el presente estudio de investigación tiene como finalidad evaluar las condiciones hidráulicas y de servicio del sistema de agua potable de la ciudad, así conocer si el funcionamiento de la captación, aducción y redes es el adecuado para la prestación del servicio.

### **1.1.3. Formulación del problema**

El sistema de agua potable de la ciudad en estudio ha cumplido su tiempo de vida útil de funcionamiento por ello la presente investigación estudió cuál es el estado del funcionamiento hidráulico y de servicio del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez, Celendín, Cajamarca, 2023.

## **1.2. Justificación e importancia**

### **1.2.1. Justificación científica**

El estudio se enfoca en evaluar el sistema de agua, desde el punto de vista hidráulico, ya que es de mucha importancia llenar el vacío de incertidumbre y preocupación de la población vulnerable en cuanto al acceso a los servicios de agua para su consumo. Así, con las conclusiones y recomendaciones de la investigación, se plantea alternativas de solución para la ciudad.

### **1.2.2. Justificación técnica-práctica**

Evaluar un sistema de agua potable de una ciudad es crucial tanto desde una perspectiva técnica como práctica. Ya que con los estudios realizados se puede brindar información y datos necesarios para la toma de decisiones informadas en beneficio de la población; de esta manera, apoyar técnicamente al Área Técnica Municipalidad, encargada de la prestación del servicio.

### **1.2.3. Justificación institucional y personal**

Es de mucha importancia para la Universidad Nacional de Cajamarca y la Escuela de Ingeniería Sanitaria investigar temas relacionados con la salud poblacional y eficiencia de proyección social, cumpliendo con los objetivos y reglamentos institucionales. El presente tema de investigación se basa la evaluación hidráulica y de servicio del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez, investigación que servirá como antecedente para posteriores investigaciones referentes al tema, buscando que los estudiantes promuevan nuevas alternativas de solución para mejorar el abastecimiento de agua para consumo humano.



### **1.3. Delimitación de la investigación**

La presente investigación consiste en la evaluación desde el punto de vista hidráulico del sistema de abastecimiento de agua y las condiciones de servicio en su prestación. La investigación abarca estudios de la captación, línea de aducción, redes de distribución y conexiones domiciliarias del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez, en el año 2023. No se realizó evaluación estructural, debido a que no se obtuvo el permiso del Área Técnica Municipal para romper el concreto o hacer las pruebas pertinentes. Se contó con la participación de los usuarios de la ciudad, el responsable del ATM y el operador del sistema.

### **1.4. Limitaciones**

Falta de registros de micromedición de agua de los usuarios que están conectados a la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad de José Gálvez.

### **1.5. Objetivos**

#### **1.5.1. Objetivo general**

Realizar la evaluación hidráulica y de servicio del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez, Celendín, Cajamarca, 2023.

#### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Describir el sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez.
- Determinar los caudales: promedio, máximo diario y máximo horario.
- Evaluar hidráulicamente el sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez.
- Evaluar la administración, operación y mantenimiento del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

En esta investigación, se analizó la red de distribución de agua potable del Municipio del Castillo – Departamento del Meta. Para lo cual realizó un modelo de calidad de la red del municipio del Castillo para su posterior análisis y comprensión del comportamiento del cloro en el sistema dando como resultado un estudio a profundidad de la red de distribución. También, se obtuvo toda la información necesaria para obtener los datos acertados y reales de las redes hidráulicas por medio del modelo expuesto obteniendo resultados favorables que reflejan un buen comportamiento de la red, presentando falencias solamente en algunas áreas puntuales. A través del software EPANET realizó una alternativa de diseño apropiada acorde a las especificaciones presentadas por la red del municipio, logrando tener un análisis completo del sistema existente (Delgado, 2022).

En esta tesis se identificó y evaluó el manejo del sistema técnico operativo de la planta de agua del municipio del Castillo; para lo cual, realizó la recopilación, análisis y evaluación de los datos, concluyendo que el caudal mínimo suministrado por caño en Antioquia no es suficiente; se registraron altos valores de color y turbiedad que clasifican la fuente como deficiente. Con respecto a las captaciones existentes, se sugirió mejorar sus condiciones hidráulicas; para la conducción de agua tratada, se debió instalar válvulas de purga y ventosas y cambiar el tramo de tubería de 6” para reducir los niveles de vulnerabilidad del sistema. La red de distribución cuenta con tuberías de diámetros menores a 2”, las cuales deben ser remplazadas para cumplir con la normativa vigente para sistemas de distribución de agua potable, además es necesario implementar medidores que permitan la lectura del caudal (Ligardo, 2019).

En la comunidad de Moquegache Central, se evaluó la eficiencia hidráulica del sistema de abastecimiento de agua potable. Para determinar la eficiencia de un sector, se planteó un sistema de múltiple calificación basado en el riesgo de incumplir el nivel de servicio preestablecido por el gestor del abastecimiento; en este sentido, se analizó el comportamiento de cada sector con base en los tres principales aspectos que aseguran la calidad y eficiencia en la prestación del servicio que percibe el usuario final: continuidad del servicio, calidad del agua suministrada y régimen

adecuado de presiones. En cuanto al diagnóstico y operación de la infraestructura en el SAAP, concluyó que en el dimensionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable se observa que la mayoría sigue con los dimensionamientos adecuados; de acuerdo a la calificación, el autor puede interpretar que la gestión administrativa está en una situación de crisis, es decir se muestra deficiente todo el desempeño (Palli, 2022).

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

En el distrito de Chupaca, se analizó el comportamiento hidráulico en redes de distribución de agua potable mediante métodos convencionales computacionales. El investigador, calculó la incidencia en los resultados, usando WaterCad para el análisis del comportamiento hidráulico de las redes de distribución; para ello, realizó el cálculo de todos los parámetros hidráulicos, con los datos recogidos en campo, calculando el respectivo modelamiento; concluyendo que, el WaterCad permitió el análisis del comportamiento hidráulico; porque es un programa versátil, permite personalizar elementos que no se pueden editar en otros softwares, como es el agua u otro fluido que se pretenda modelar. El proceso de optimización, presentó como valor promedio de presiones es de 38.80 m.c.a. y la velocidad flujo promedio de 0.68 m/s lo cual demuestra que todo el nuevo sistema planteado, tiene la configuración tal, que cumple hidráulicamente con un buen funcionamiento (Vera, 2018).

En esta investigación, se tuvo como objetivo el diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable del Centro Poblado Santa María, donde analizó los datos haciendo uso de técnicas estadísticas descriptivas, lo que permite a través de indicadores cuantitativos y/o cualitativos la mejora del sistema de agua potable. La investigación concluyó que el sistema de abastecimiento de agua potable está en un estado regular, presentado falencias en cada componente. Con respecto a los elementos hidráulicos, el sistema de conducción y válvula de aire están en mal estado, la red de aducción se encuentra en buen estado, la red de distribución se encuentra en regular estado y finalmente las conexiones domiciliarias son deficientes en su funcionamiento. Con respecto a los elementos estructurales, la captación se encuentra deteriorados y el reservorio en un estado regular (Vicente, 2019).

La presente investigación evaluó la red de distribución de agua potable en la localidad de Paucartambo – Cusco; para lo cual, realizó la modelación hidráulica con el software WATERCAD

en escenarios de consumo de acuerdo al R.N.E. y al consumo real incluyendo ANF. Para conocer el comportamiento de la red y poder presentar propuestas de mejora, se recopiló datos en campo y aplicó la metodología del software WaterCAD, además realizó el análisis de estado del servicio hidráulico. Concluyendo que, en el modelamiento de una red de agua potable, ya sea para evaluación o control, se debe considerar la dotación real, ya que la dotación propuesta por el R.N.E. difiere de la realidad por la falta de mediciones y tarifas. De mantenerse las características actuales de la red, en términos de dotación, la nueva red de abastecimiento de agua, al basar su diseño en el R.N.E., quedaría insuficiente, considerando que la demanda de agua de la población de Paucartambo a lo largo del periodo de diseño, es muy superior a la cantidad de caudal que puede ser extraído de las fuentes de captación. También observó que, incluso si se lograra adecuar y financiar la estructura de la nueva red de acuerdo a la dotación actual, el agua no alcanzaría para lograr un adecuado funcionamiento de esta y atentaría de manera directa contra la fuente de captación y su entorno (Valenzuela y Orrillo, 2019).

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

Se evaluó los sistemas de agua potable de las localidades que conforman el centro poblado Chilimpampa Baja, distrito-provincia-departamento de Cajamarca; el investigador, propuso evaluar la infraestructura hidráulica, operación y mantenimiento y gestión administrativa; para lo cual realizó observación en campo, encuestas, entrevistas, modelamiento en EPANET, toma de presiones, instalación de micromedidores, tomó muestras de agua, midió cloro residual y pH; concluyendo que los sistemas de agua potable son funcionales, pero está en proceso de deterioro; gran parte de la infraestructura tiene una antigüedad de más de 18 años. En las captaciones, el 50% presenta fisuras, el 100% de sus dados de protección se encuentran deteriorados, el 83% de los cercos perimétricos se encuentran en mal estado, el 83% de las canastillas se encuentran en buen estado, el 92% de las tapas sanitarias de la cámara colectora se encuentra en mal estado, el 92% de las tuberías de rebose se encuentran funcionales y operativo. De la evaluación de la operación y mantenimiento se tiene una presión mínima de servicio es de 3.57 m.c.a y máxima es de 56.10 m.c.a.; respecto al cloro residual obtuvo un valor de 0.2, indicando que no se clora adecuadamente y un valor promedio de 6.68 de pH, que se encuentra dentro los parámetros permitidos por el Ministerio de Salud (Cieza, 2021).

En esta tesis, el autor evaluó el estado de los sistemas de agua potable en el distrito de Sucre, Celendín, para lo cual, mediante observación directa, encuestas y llenado del formato de cuestionarios propuesto por PROPILAS (2008) y a través de un recorrido por todo el sistema, se verificó y evaluó cada uno de los componentes hidráulicos, se obtuvo información sobre el estado actual de la infraestructura de los sistemas de agua; concluyendo que, los siete sistemas se encuentran en el rango de 3.1 a 3.46 puntos como índice de sostenibilidad, por lo que los sistemas se encuentran en proceso de deterioro. Los sistemas de agua evaluados presentan una administración de agua medianamente sostenibles. En cuanto a la operación y mantenimiento, hace falta instrumentos de gestión y herramientas de mantenimiento, además se observó la falta de conservación de las fuentes de agua (Vásquez, 2018).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1. Sistemas de abastecimiento de agua potable**

Un sistema de abastecimiento de agua potable es un conjunto de obras que permiten que una comunidad obtenga agua para usos domésticos, públicos, industriales y más. El agua debe proporcionarse en cantidades adecuadas y de la mejor calidad en términos de propiedades físicas, químicas y bacteriológicas (Rodríguez, 2001).

El sistema de abastecimiento de agua para consumo humano se compone del conjunto de componentes hidráulicos e instalaciones físicas que son accionadas por los procesos operativos, administrativos y equipos necesarios desde la captación hasta el suministro de agua, mediante conexión domiciliaria, para un abastecimiento convencional cuyos componentes cumplan la normativa vigente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2008).

En el mismo contexto, denominan al sistema de agua potable como “grupo de obras en el campo de la ingeniería que tienen como objetivo satisfacer las necesidades de una población o comunidad para poder usarlas para consumo doméstico, industrias o servicios públicos” (p.5). Además, para ser determinada como agua potable tiene que cumplir los parámetros exigentes físicos, químicos y bacteriológicos (Concha y Guillén, 2014).

### **2.2.2. Componentes hidráulicos de los sistemas de abastecimiento de agua potable**

Los componentes hidráulicos, se construyen para manejar y controlar el agua teniendo en cuenta sus características físicas, su comportamiento y los factores ambientales y socioeconómicos. El aprovechamiento sostenible del recurso hídrico y su uso en una variedad de

áreas, como la agricultura, la generación de energía, el suministro de agua potable y el control de inundaciones, requieren estas estructuras (Novak, 2008).

Asimismo, para emitir una opinión sobre el funcionamiento hidráulico de las redes de distribución es necesario determinar los parámetros hidráulicos como la presión, velocidad, pérdida de carga, caudal, entre otros. Y hacer la verificación si estos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos en la norma técnica del país pertinente (Bardales, 2022). En resumen, una red de agua potable con buen funcionamiento hidráulico se define como aquella en la que los parámetros hidráulicos como presión, velocidad, pérdida de carga y caudal cumplen con los valores establecidos por las normas técnicas del país.

Los principales componentes hidráulicos en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, de acuerdo al tipo de suministro, son los siguientes: estructuras de captación para aguas superficiales o subterráneas, pozos, reservorios, cámaras de bombeos y rebombeo, cámara rompe presión, planta de tratamiento, líneas de conducción, aducción y red de distribución, punto de suministro y otros (D. S. N° 031-2010-SA, p.24).

#### ***2.2.2.1. Captación de agua.***

Después de identificar la fuente de agua y establecerla como el primer punto del sistema de agua potable en el lugar del afloramiento, se construye una estructura de captación para recolectar el agua, que luego se transporta hacia el reservorio de almacenamiento a través de tuberías de conducción (Agüero, 2004).

El diseño y dimensionamiento de la captación hidráulica dependerán de la topografía del área, la textura del suelo y la clase del manantial. Se debe evitar alterar la calidad y la temperatura del agua, la corriente y el caudal natural del manantial, considerando que cualquier obstrucción puede tener consecuencias fatales, el agua puede crear otro cauce y desaparecer el manantial. Es fundamental incorporar características de diseño que permitan la creación de una estructura de captación que tenga en cuenta un control adecuado del agua, la posibilidad de sedimentación y la facilidad de inspección y operación (Cualla, 2003).

La captación de agua de manantiales se divide en dos categorías: captación de fondo y captación de ladera:

### A. Captación de fondo.

La captación en un manantial de fondo es una estructura de sección cuadrada que sirve para coleccionar al agua. Esta estructura recolectora estará situada directamente sobre el afloramiento. La captación consta de dos (2) partes: la primera, corresponde a una cámara húmeda que sirve para almacenar el agua y regular el gasto a utilizarse; y la segunda, a una cámara seca que sirve para proteger la válvula de salida (Agüero, 2004).

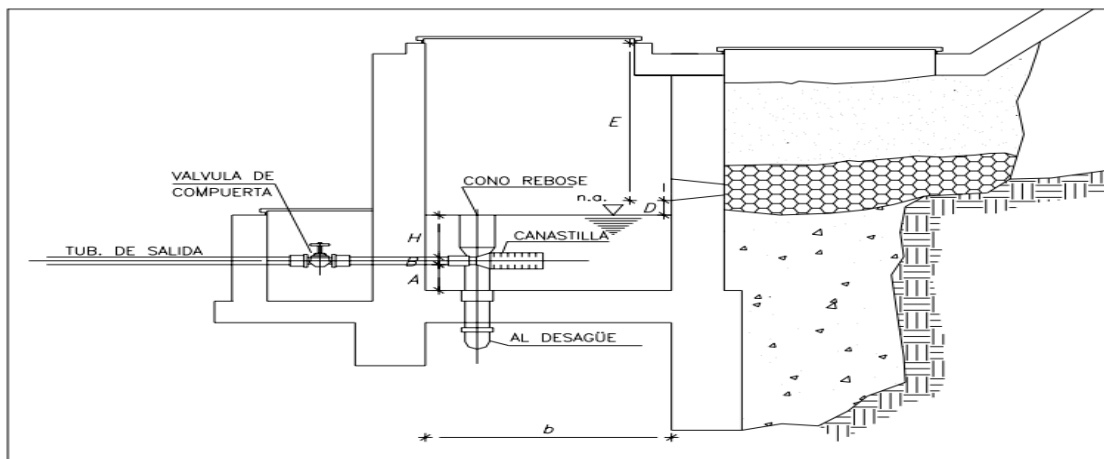
La inclinación de las rejillas (entre un 10% y un 20%), la separación entre los barrotes (entre 20 mm y 40 mm para ríos caracterizados por el transporte de grava fina), el ancho de la rejilla (que depende del ancho de la estructura de captación), la velocidad del flujo sobre la rejilla y el coeficiente de pérdidas menores de la rejilla son solo algunos de los factores que se toman en cuenta en el diseño (Cualla, 2003).

### B. Captación de ladera

El agua del manantial que fluye horizontalmente se puede recolectar mediante una estructura conocida como captación en manantial de ladera. Tres componentes componen la captación de un manantial de ladera y concentrado: La primera es la protección de afloramiento, la segunda es una cámara húmeda que almacena el agua y controla su uso, y la tercera es una cámara seca que protege la válvula de salida (Agüero, 2004).

## Figura 1

### Captación de ladera



Nota. Tomado de *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales*, (Agüero, 2004).

Para calcular el diseño hidráulico y dimensionamiento de la captación se tiene que conocer el caudal máximo, para poder aperturar y diseñar la cámara húmeda. Para ello se tiene que verificar el caudal de diseño de 3 a 5 minutos.

$$Q * t = \text{Vol} \quad (1)$$

Donde:

Q = caudal de diseño (lts.)

t = tiempo de verificación (segundos)

Vol. = Volumen que debe de tener la cámara húmeda

Cálculo de la distancia entre el afloramiento y la cámara húmeda, es necesario conocer la velocidad de pase y la pérdida de carga sobre el orificio de salida, según la ecuación de Bernoulli entre los puntos 0 y 1:

$$\frac{p_0}{\rho} + h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\rho} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \quad (2)$$

Al considerar los valores  $P_0$ ,  $V_0$ ,  $P_1$  y  $h_1$  igual a cero, se tiene:

$$h_0 = \frac{v_1^2}{2g}$$

Donde:

$h_0$  = Altura entre el afloramiento y el orificio de entrada (0.40-0.50m)

$V_1$  = Velocidad teórica en m/s

$g$  = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

Según la ecuación de continuidad se tiene:

$$Q_1 = Q_2$$

$$C_d * A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Siendo  $A_1 = A_2$

$$V_1 = V_2 / C_d \quad (3)$$



Donde:

$V_2$  = Velocidad de pase (valores menores o iguales a 0.6m/s)

$C_d$  = Coeficiente de descarga en el punto 1 (se asume 0,8).

Reemplazando  $V_1$  de la ecuación (b) en la ecuación (a), se tiene:

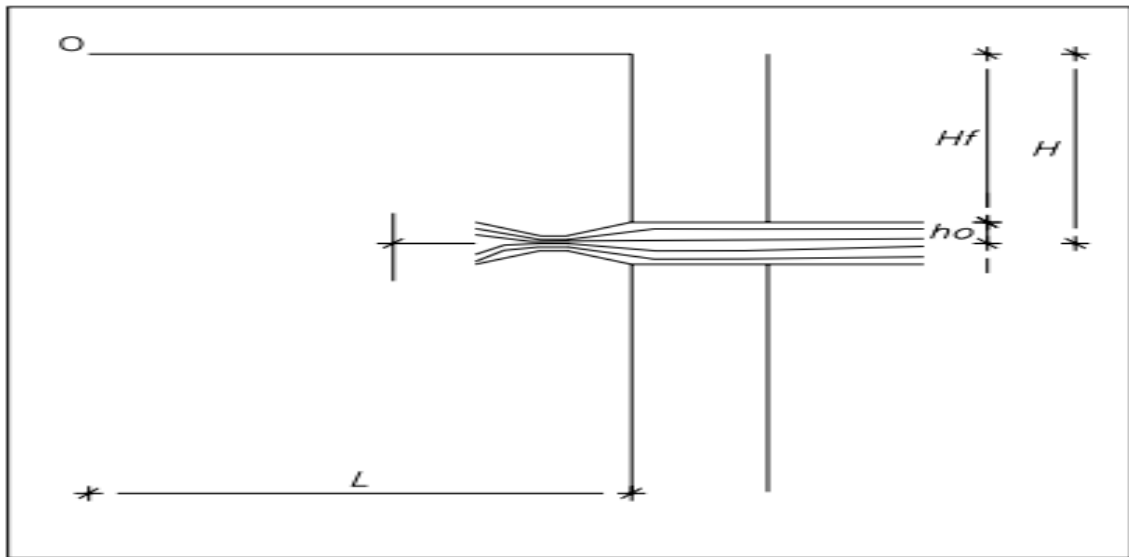
$$h_0 = 1.56 \frac{v^2_2}{c_d} \quad (4)$$

Donde:

$h_0$  es definida como la carga necesaria sobre el orificio de entrada que permite producir la velocidad de pase.

### Figura 2

*Pérdida de carga - disminución de presión de un fluido*



Nota. Tomado de *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales*, Agüero (2004).

$$H = H_f + h_0$$

Donde:

$H_f$  es la pérdida de carga que servirá para determinar la distancia entre el afloramiento y la caja de captación ( $L$ ).

$$H_f = H - h_0$$

$$H_f = 0.3 * L$$

$$L = \frac{H_f}{0.3} \quad (5)$$

Determinación del ancho de la pantalla. Para determinar el ancho de la pantalla se necesita conocer el diámetro y el número de orificios que permitirán fluir el agua desde el afloramiento hacia la cámara húmeda.

$$Q \text{ max.} = V * C_d * A$$

$$Q_{\text{máx.}} = A * C_d * (2gh)^{1/2}$$

Donde:

Q máx.: caudal máximo de la fuente (l/s)

A: Área de la tubería ( $m^2$ )

Cd: coeficiente de descarga (0.6 a 0.8)

g: aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

h: carga sobre el centro del orificio (valor entre 0.40m a 0.50m)

El área resulta:

$$A = \frac{Q_{\text{max}}}{V * C_d} \quad (6)$$

El diámetro quedaría:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (7)$$

- Cálculo de la velocidad de paso teórica (m/s).

$$V_{2t} = C_d * \sqrt{2gH} \quad (8)$$

La velocidad de paso se asume:  $V_2 = 0.60 \text{ m/s}$

$$A = \sqrt{2gH}$$

Donde:

D: diámetro de la tubería de ingreso (m)

- *Cálculo del número de orificio en la pantalla.*

$$N_{orif} = \frac{\text{Área del diámetro teórico}}{\text{Área del diámetro asumido}} + 1$$

$$N_{orif} = \left(\frac{D_t}{D_a}\right)^2 + 1 \quad (9)$$

Determinado el número de orificios y el diámetro de la tubería de entrada se calcula el ancho de la pantalla:

$$b = 2*(6D) + N_{orif} * D + 3D * (N_{orif} - 1) \quad (10)$$

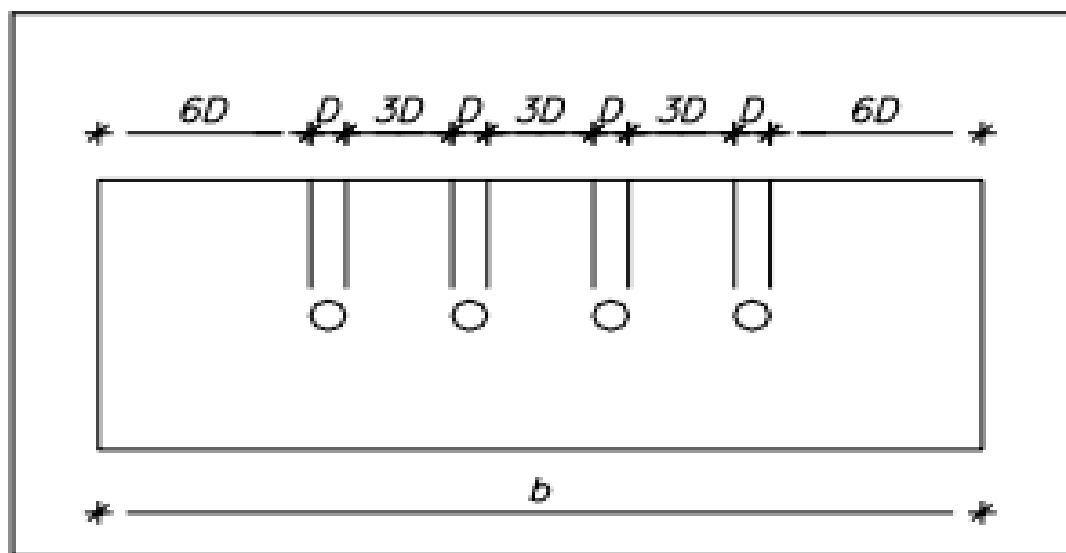
Donde:

b = ancho de pantalla

D = Diámetro del orificio

### Figura 3

*Distribución de los orificios de ingreso de agua a la cámara húmeda*



Nota. Tomado de *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales*. Tomado de: Agüero (2004).

- *Cálculo de la altura de la cámara húmeda.*

$$H_t = A + B + H + D + E \quad (11)$$

Donde:

A = Se considera una altura mínima de 10 cm. Que permite la sedimentación de la arena.

B = Se considera el diámetro de salida.

H = Altura de agua sobre la canastilla.

D = Desnivel mínimo entre el nivel de ingreso del agua del afloramiento y el nivel de agua de la cámara húmeda (mínimo 5 cm.).

E = Borde libre (mínimo 30 cm).

La carga requerida para que el caudal de salida de la captación pueda fluir por la tubería de conducción se calcula con la siguiente fórmula:

$$H = 1.56 \frac{v^2}{2g} \quad (12)$$

Donde:

H = Carga requerida (m)

V = Velocidad promedio en la salida de la tubería de la línea de conducción (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Se recomienda H = 30cm

- *Dimensionamiento de la canastilla.*

Para el dimensionamiento de la canastilla se considera la siguiente fórmula:

$$3D_c < L_a < 6D_c \quad (13)$$

Donde:

L<sub>a</sub> = Longitud de la canastilla

$D_c$  = Diámetro de la tubería de salida

El área total de las ranuras ( $A_t$ ) será:

$$A_t = 2A_c \quad (14)$$

Donde:

$A_c$ : Área de la tubería de salida.

El área del orificio se obtiene:

$$E_{uo} = l \times a \quad (15)$$

Donde:

$l$  = longitud del orificio

$a$  = ancho del orificio.

El área de la tubería de salida se calcula mediante la fórmula:

$$A_{tub.} = \frac{\pi \times L_c^2}{4} \quad (16)$$

El área total del orificio quedaría:

$$A_{to} = 2 \times A_{tub} \quad (17)$$

Finalmente, el número de ranuras se obtiene así:

$$N^\circ \text{ Ran.} = \frac{\text{Área total}}{\text{Área de ranuras}} \quad (18)$$

- *Tubería de rebose y limpieza*

Para el cálculo del diámetro de la tubería de rebose se dispone de la siguiente fórmula:

$$D = \frac{0.71 \times Q^{0.38}}{h_f^{0.21}} \quad (19)$$

Donde:

$Q$ : Caudal máximo de la fuente (l/s)

$D$ : Diámetro de la tubería de rebose (plg)

Hf: Pérdida de carga unitaria m/m, se recomienda que sea 0.015m/m

Para determinar el caudal de la captación se puede usar diversos métodos como: aforo volumétrico, método sección – pendiente, método de tintes penetrantes, etc.

### ***Método sección – pendiente***

Para el método de sección pendiente se utiliza el principio de la ecuación de continuidad, recordando este fundamento teórico se basa en que el caudal de agua que pasa por una sección transversal del canal es igual al caudal que sale de dicha sección. Este método permite calcular el perfil de velocidades en un canal, es decir, como varía la velocidad de agua en diversas secciones transversales (Silva, 2024).

El procedimiento de determinación de caudal es de la siguiente manera:

$$S = \frac{\text{cota final} - \text{cota inicial}}{\text{long. entre sección}} \times 100 \quad (20)$$

El coeficiente de conductividad se determina para cada sección, con la formula:

$$k_i = \frac{1}{n} A \times R h^{2/3} \quad (21)$$

Donde:

n: coeficiente de rugosidad

A: Área de la sección.

Rh: radio hidráulico.

El coeficiente de conductividad media resulta:

$$k = \sqrt{k_1 \times k_2} \quad (22)$$

El caudal se calcula con la siguiente ecuación (primera aproximación de caudal):

$$Q = k\sqrt{s} \quad (23)$$

Se calculan las alturas de velocidad en las secciones ( $\alpha_1 v_1^2/2g$  y  $\alpha_2 v_2^2/2g$ ), por lo tanto, la pendiente quedaría:

$$s = \frac{\Delta hf}{L} \quad (24)$$

Donde:

$$\Delta hf = F + k \left( \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (25)$$

Donde:

F:

k: factor de corrección.

V1: velocidad en el punto 1.

V2: velocidad en el punto 2.

El paso anterior se repite hasta que:

$$Q_{i+1} \approx Q_i \quad (26)$$

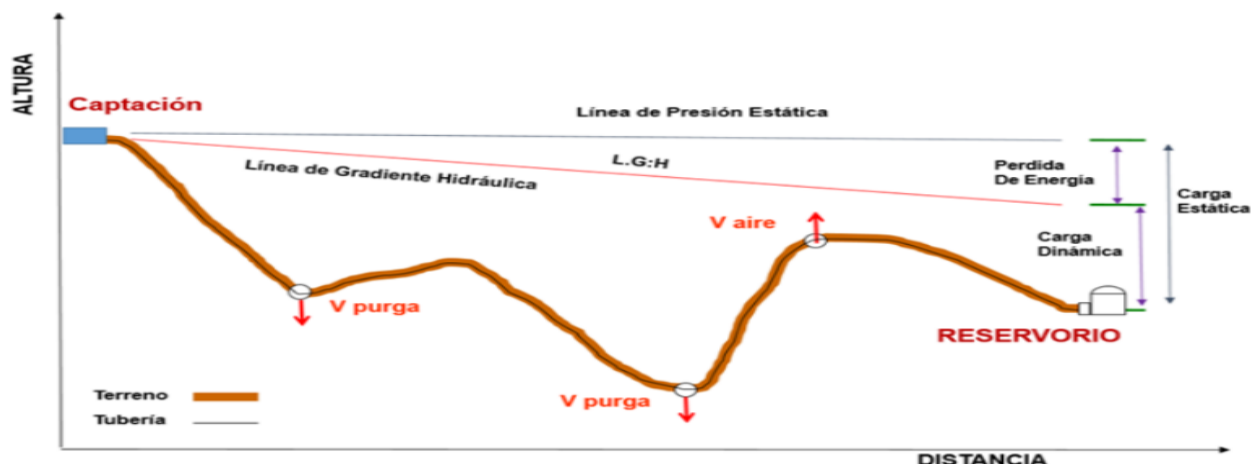
#### **2.2.2.2. Línea de Conducción.**

La parte del sistema de agua potable que transporta el agua desde el punto de captación hasta un tanque de regularización o planta de purificación se conoce como línea de conducción. Esta línea está compuesta por un conjunto de conductos, estructuras de operación, protección y especiales. Se clasifica en conducción por gravedad, conducción por bombeo y conducción mixta. (Jiménez, 2013).

Para determinar el tipo y calidad de la tubería para la conducción, se tendrá en cuenta la topografía, las características del suelo y el clima de la región. La velocidad en el flujo no debe superar el valor mínimo de 0.60 m/s, para evitar la sedimentación de partículas que arrastra el agua, y la velocidad máxima admisible es de 5 m/s para no provocar erosión ni daños en las paredes de la tubería (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2021).

**Figura 4**

Esquema de una línea de conducción por gravedad.



Nota. Línea de presión estática y gradiente hidráulica. Tomado de MVCS (2018).

### 2.2.2.3. Planta de Tratamiento.

El término “tratamiento” se refiere a todos los procesos físicos, mecánicos y químicos que harán que el agua sea apta para su consumo. Los tres objetivos principales de una planta potabilizadora son producir agua que sea: segura para consumo humano, estéticamente aceptable y económica. El diseño de una planta de potabilización requiere una comprensión de las propiedades físico-químicas y biológicas del agua, así como de los procedimientos necesarios para modificarla (Jiménez, 2013).

El RNE (2021), nos indica que para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable es necesario considerar lo siguiente:

- El tipo de planta de tratamiento a considerar dependerá de las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas como meta de calidad del efluente de la planta. El ingeniero proyectista deberá elegir el tratamiento más económico en función de los costos capitalizados de inversión, operación y mantenimiento. Se determinará el costo por metro cúbico de agua tratada y se evaluará cómo afectará la tarifa del servicio.
- Todas o algunas de las siguientes unidades de tratamiento pueden utilizarse para la eliminación de partículas por medios físicos: Desarenadores, sedimentadores, prefiltros de grava y filtros lentos.



- Para el tratamiento fisicoquímico de partículas, pueden utilizarse todas o algunas de las siguientes unidades de tratamiento: Desarenadores; mezcladores; acondicionadores de floculación; decantadores y filtros rápidos.
- La desinfección de las aguas debe ser considerada como el paso final en cualquier tipo de tratamiento.

#### **2.2.2.4. Reservorio de almacenamiento.**

Los reservorios elevados son estanques de almacenamiento de agua que están elevados por encima del nivel del suelo y están contruidos con paredes o columnas y pilotos. Desempeñan un papel importante en los sistemas de distribución de agua desde el punto de vista económico, así como del funcionamiento hidráulico del sistema y del mantenimiento de un servicio eficiente. (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2005).

Los reservorios “son componentes estructurales cruciales para la distribución adecuada del agua potable. Los reservorios elevados deben permanecer activos y operativos después de cualquier movimiento sísmico, ya que de ellos depende el funcionamiento adecuado y la distribución eficaz del agua” (Huaranga, 2015, p.1).

Los sistemas de almacenamiento deben proporcionar a las redes de distribución de agua para consumo humano con las presiones de servicio adecuadas y en la cantidad necesaria para compensar las variaciones de la demanda. En situaciones de emergencia, como un incendio, una interrupción temporal del suministro o una paralización parcial de la planta de tratamiento, también deberá contar con un volumen adicional para el suministro. Para calcular el volumen, se debe tener en cuenta el volumen del tanque, así como las variaciones en el consumo y el suministro de agua, la previsión de reservas para contingencias de distribución y emergencias en caso de incendio. La posición depende principalmente de la presión del sistema (RNE, 2021).

#### **2.2.2.5. Línea de aducción.**

En un sistema de abastecimiento de agua potable, una tubería o conducto utilizado para transportar el agua desde el reservorio o la estación de bombeo hasta la red de distribución se denomina línea de aducción. El objetivo de esta línea de aducción es garantizar un flujo constante y adecuado de agua a la red de distribución. (Davis, 2013)

Para el cálculo de diámetros máximos y mínimos, se aplica la fórmula de continuidad:

$$Q = v * A \quad (27)$$

Dónde:

Q: Caudal

V: Velocidad

A: área

A partir de esta fórmula se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*v}} \quad (28)$$

#### **2.2.2.6. Redes de distribución**

Es el conjunto de tuberías, componentes y estructuras que transportan el agua desde el tanque de regularización hasta la entrada de los predios de los usuarios. Sus dos componentes principales son la red de distribución y la línea de alimentación. El sistema de tuberías es responsable de proporcionar agua a los usuarios de sus hogares en cantidad adecuada y con la calidad necesaria para todas las zonas socioeconómicas de la localidad que se esté o pretenda abastecer de agua. El sistema incluye válvulas, tuberías, tomas domiciliarias, medidores y en caso de ser necesario equipos de bombeo (Jiménez, 2013).

El Reglamento Nacional de Edificaciones (2021) nos indica que:

- La red de distribución se calculará con la cifra que resulte mayor al comparar el gasto máximo horario con la suma del gasto máximo diario más el gasto contra incendios para el caso de habilitaciones en que se considere demanda contra incendio.
- En un principio, se prevé que las redes de distribución se diseñen como circuitos cerrados que forman una malla. Los cálculos hidráulicos se utilizarán para dimensionar la red para garantizar el caudal y la presión adecuados en cualquier punto de la red. Para el análisis hidráulico del sistema de distribución, podrá utilizar el método de Hardy Cross o cualquier otro método equivalente. Se utilizarán fórmulas racionales para calcular la hidráulica de las tuberías, se puede utilizar la fórmula de Hazen y Williams.

- El diámetro mínimo será de 75mm para uso de vivienda y de 150 mm de diámetro para uso industrial
- La velocidad máxima será de 3 m/s.
- En cualquier punto de la red, la presión estática no superará los 50 m. La presión dinámica debe ser superior a 10 m en condiciones de demanda horaria máxima. La presión mínima a la salida de una pileta será de 3,50 metros si se utiliza una pileta para abastecer agua.
- La red de distribución contará con válvulas de interrupción para aislar sectores de redes de menos de 500 metros. Para ampliaciones, se proyectarán válvulas de interrupción en todas las derivaciones. En general, las válvulas se colocarán a 4 metros de la esquina o de su proyección entre los límites de la calzada y la vereda.

### **2.2.3. Parámetros de diseño de un sistema de agua potable**

#### **2.2.3.1. Periodo de diseño**

Los períodos de diseño de los diferentes elementos del sistema se determinarán considerando los siguientes factores:

- ✓ Vida útil de las estructuras y equipos.
- ✓ Grado de dificultad para realizar la ampliación de la infraestructura.
- ✓ Crecimiento poblacional.
- ✓ Capacidad económica para la ejecución de obras.

El período de diseño recomendado para la infraestructura de agua y saneamiento para los centros poblados rurales es de 20 años, con excepción de equipos de bombeo que es de 10 años (Agüero, 2004).

Según los parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, los diferentes componentes del sistema se determinarán considerando los siguientes factores (RNE,2021):

- a) Vida útil de las estructuras y equipos.
- b) Grado de dificultad para realizar la ampliación de la infraestructura.
- c) Crecimiento poblacional
- d) Economía de escala.

Los periodos de diseño máximo recomendables son los siguientes:

- a) Capacidad de las fuentes de abastecimiento: 20 años
- b) Obras de captación: 20 años
- c) Pozos: 20 años
- d) Plantas de tratamiento de agua de consumo humano, reservorio: 20 años
- e) Tubería de conducción, impulsión, distribución: 20 años
- f) Equipos de bombeo: 10 años
- g) Caseta de bombeo: 20 años

### **2.2.3.2. Población futura**

El método más utilizado para el cálculo de la población futura en las zonas rurales es el analítico y con más frecuencia el de crecimiento aritmético. Este método se utiliza para el cálculo de poblaciones bajo la consideración de que estas van cambiando en la forma de una progresión aritmética y que se encuentran cerca del límite de saturación Agüero (2004).

La fórmula de crecimiento aritmético es:

$$Pf = Pa \left( 1 + \frac{r \cdot t}{1000} \right) \quad (29)$$

Donde:

Pf = Población futura.

Pa = Población actual.

r = Coeficiente de crecimiento anual por 1000 habitantes (En el caso de la región Cajamarca el coeficiente de crecimiento lineal = 25)

t = Tiempo en años

### **2.2.3.3. Densidad poblacional**

Es la relación entre la población total entre el número de viviendas habitadas por la población en estudio.

$$\text{Densidad poblacional} = \frac{\text{poblacion actual}}{\text{número de viviendas}} \quad (30)$$

### ***Demanda de dotación.***

Considerando los factores que determinan la variación de la demanda de consumo de agua en las diferentes localidades rurales; se asignan las dotaciones en base al número de habitantes y a las diferentes regiones del país. (Ministerio de Salud, 2010)

**Tabla 1**

*Dotación por número de habitantes.*

<b>Población (habitantes)</b>	<b>Dotación (L/hab./día)</b>
Hasta 500	60
500 – 1000	60 – 80
1000 – 2000	80 - 100

Nota. Obtenido de Ministerio de Salud (1962)

**Tabla 2**

*Dotación por región*

<b>REGIÓN</b>	<b>DOTACIÓN (l/hab./día)</b>
Selva	70
Costa	60
Sierra	50

Nota. Obtenido de Ministerio de Salud (1962)

### ***Variación de consumo.***

El consumo de agua a nivel mundial varía significativamente debido a las prácticas de consumo de cada población, el tipo de vivienda, la cantidad de habitantes, el estrato social y el área de la vivienda. Por lo tanto, es crucial para las empresas que prestan servicios de abastecimiento y distribución de agua potable conocer cómo exigen el servicio los usuarios, la distribución del tiempo, el caudal neural y las condiciones climáticas (Llanos, 2021).

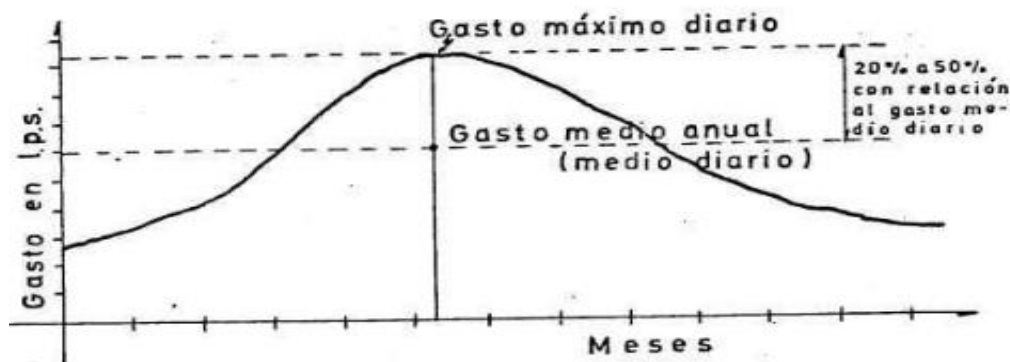
El consumo no permanece estable durante todo el año, ya que puede haber variaciones durante el día. Por lo tanto, es necesario establecer los gastos máximos diarios y horarios, para lo cual se requieren los Coeficientes de Variación diaria y horaria. Un sistema es eficiente cuando puede satisfacer la máxima demanda de una población. Las variaciones mensuales, diarias y horarias del consumo son necesarias para diseñar las diferentes partes de un sistema. Interesan las demandas máximas diarias, máximas horarias y medias (Rodríguez, 2001).

#### *Variación diaria.*

El coeficiente de variación diaria, cuyo valor se puede calcular estadísticamente, está relacionado con el cambio de la temperatura y la distribución de las lluvias en la región. El coeficiente de variación diaria se presenta como un coeficiente del gasto medio anual y se representa en el eje “x” con los meses del año y en el eje “y” con las demandas o gastos (Aguero, 2004).

### **Figura 5**

#### *Coefficiente de variación diaria*



Nota. Obtenido de Rodríguez, 2001.

Durante la formulación y planificación de proyectos de inversión pública en el ámbito de saneamiento urbano o rural en nuestro país, tienden a notarse dificultades o problemas durante el proceso de la elaboración del perfil y expediente técnico, por dicho motivo es necesario establecer el coeficiente de máxima duración diaria  $K_1$ , que se encuentra definido por:

$$k_1 = \frac{\text{Caudal máximo diario}}{\text{Caudal medio diario}} \quad (31)$$

El reglamento Nacional de Edificaciones recomienda el valor de  $K1=1.3$  para proyectos de agua y saneamiento.

#### *Variación horaria.*

“El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un periodo de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo horario  $K2$ ” (Rincón y Córdoba 2017, p. 17).

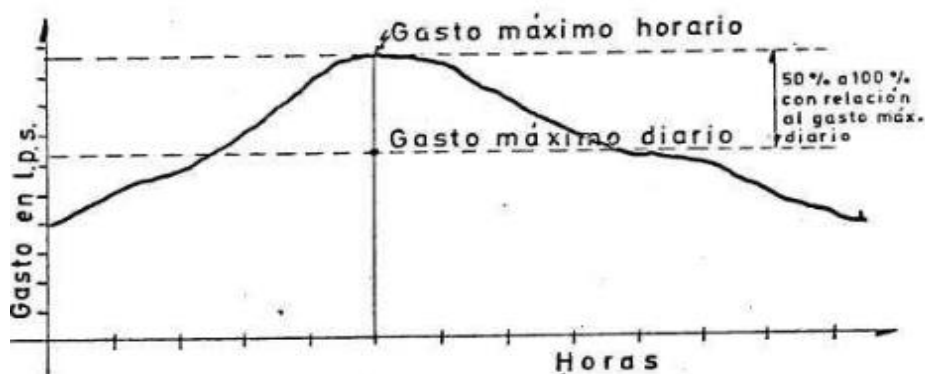
Rodríguez (2001) menciona que este tipo de variaciones son las más notorias en zonas pequeñas debido a que no presentan un consumo uniforme durante el día, así, por ejemplo, durante las cero horas hasta las cuatro horas del día, el consumo es mínimo, lo que no sucede entre las siete y doce horas.

$$k2 = \frac{\text{Caudal máximo horario (Qmh)}}{\text{Caudal medio horario (Qm)}} \quad (32)$$

El reglamento Nacional de Edificaciones recomienda el valor de  $K1=1.8 - 2.5$  para proyectos de agua y saneamiento.

#### **Figura 6**

*Coeficiente de variación horaria*



Nota. Obtenido de Rodríguez, 2001.

#### **Caudal medio**

Cantidad de agua requerida por un habitante en un día cualquiera del año de consumo promedio (Rodríguez, 2001).

$$Qm = \frac{Pd * Dot}{86400} \quad (33)$$

Donde:

$Q_m$ : Caudal medio diario L/s.

$P_d$ : Población de diseño en habitantes (hab)

$Dot$ : Dotación en l/hab/día

### ***Presiones en la red***

Las presiones en sistemas de distribución de agua potable varían de 15 a 30 mca (metros columna de agua) (150 a 300 kPa) en sectores residenciales con edificios de incluso cuatro pisos de altura, y hasta 40 a 50 mca (400 a 500 kPa) en sectores comerciales e industriales. En el caso de demanda alta de incendio, cuando se utilizan camiones de bomberos. Se puede permitir una caída en la presión no inferior a los 15 mca (150 kPa) en las zonas de la red de distribución en la vecindad del sitio del incendio (Saldarriga, 1998).

La OS.050 dice que la presión estática no deberá ser mayor de 50 m en cualquier punto de la red. En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 m (RNE, 2021).

### ***Velocidades***

La velocidad de flujo mínima es de 0.60 m/s, para evitar la sedimentación por poca velocidad de arrastre y la velocidad máxima debe limitarse a 3.00 m/s, para evitar erosión por velocidades excesivas (RNE, 2021)



## ***Válvulas***

✓ Válvulas reguladoras de presión: Este tipo de válvula reduce la presión máxima de la tubería para proteger las instalaciones aguas abajo del sistema. Se puede mantener y controlar una presión constante con ellos. Aunque tienen la misma función que las cámaras rompe presión, tienen la ventaja de requerir menos espacio de instalación. A pesar de su alto costo, hay una cierta preferencia por este tipo de válvulas (Care & Avina, 2012).

✓ Válvulas de aire o ventosas: Se utiliza en sistemas de tuberías y redes hidráulicas para permitir la liberación controlada de aire o gases atrapados en el sistema. Su función es evitar que el aire se acumule en las tuberías, lo que podría afectar el flujo de líquido y disminuir la eficiencia del sistema. Cuando el sistema está lleno de líquido, las válvulas de aire se abren automáticamente para liberar aire (Gupta, 2018).

✓ Válvulas de purga: Una válvula de purga es un dispositivo utilizado en sistemas de tuberías y redes hidráulicas para eliminar el aire o los gases acumulados en el sistema. Su función principal es evacuar el aire atrapado, lo que ayuda a mantener el flujo constante del líquido y evita la formación de bolsas de aire que podrían afectar el rendimiento y la eficiencia del sistema. Las válvulas de purga suelen estar ubicadas en lugares altos o estratégicos de la tubería donde es probable que se acumule aire (Rodríguez, 2012).

## ***Conexiones domiciliarias***

Instalación hidráulica conectada a la red de agua potable, que sirve para entregar el agua a los usuarios dentro del predio (Comisión Nacional del agua, citado por Bardales, 2022).

### **2.2.4. Modelamiento Hidráulico**

Existen diversos software's que ayudan a realizar el modelamiento hidráulico.

#### ***2.2.4.1. Software WaterGEMS***

WaterGEMS es un programa de cómputo que puede modelar sistemas de distribución y/o conducción de líquidos a presión para analizar su comportamiento hidráulico o realizar su dimensionamiento. Es ampliamente utilizado en la distribución de agua para consumo humano, la distribución de agua para riego, los sistemas contra incendios y la conducción de varios líquidos a presión. Es fundamental comprender las características de este programa, su sistema operativo y

entorno gráfico, los componentes utilizados para crear modelos hidráulicos, el tipo de análisis hidráulico y la calidad del agua (Valenzuela y Orrillo, 2019).

Este programa analiza diferentes variables durante un período de simulación específica y determina el caudal que circula por cada una de las tuberías, la velocidad de flujo, la pérdida de carga, el gradiente hidráulico, la presión en cada nodo y el nivel de agua en cada tanque a través de la red (Alayo y Espinoza, 2016).

Los aspectos que diferencian este software por sobre los demás se pueden dividir en 5 grupos: interfaz de usuario con plataformas externas, procesamiento de datos, análisis hidráulico extendido y elementos de modelación, herramientas de análisis, soporte técnico y asistencia comercial (Valenzuela y Orrillo, 2019).

#### **2.2.4.2. Análisis hidráulico Software WaterGEMS**

Para el análisis hidráulico, el software utiliza los conceptos básicos de hidráulica de tuberías teniendo en cuenta lo siguiente (Valenzuela y Orrillo, 2019):

- ✓ Libre dimensionamiento del tamaño de la red dado que no presenta límites en este aspecto.
- ✓ Para el cálculo de las pérdidas por fricción en las conducciones (tuberías), las calcula mediante las ecuaciones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy- Manning.
- ✓ Además de las pérdidas por fricción en las conducciones, también considera las pérdidas por elementos y accesorios, como es el caso de bombas, codos, acoplamientos.
- ✓ Cuenta con un amplio catálogo de accesorios y aparatos según se requiera.
- ✓ Permite el análisis de costo de energía y simulación de escenarios atípicos como situación de incendio, entre otros.
- ✓ Permite un manejo de forma más precisa y realista mediante la utilización de herramientas de controles de tiempo y sistemas de regulación programables.
- ✓ Proporciona formas de calibración y optimización de redes muy precisas tanto en modelación como en diseño de redes.

#### **2.2.4.3. Componentes de diseño del Software WaterGEMS**

##### ***Tanques.***

El volumen de agua almacenada en los nodos puede variar a lo largo del tiempo de simulación. Debido a que este es un punto crítico en la red, la altura y la calidad del agua no se

verán afectadas por las acciones del resto de la red. Dado que el software simula un tanque y un reservorio con volumen infinito y una altura de nivel de agua constante, el funcionamiento del tanque y del reservorio es el mismo en un período estático. Se tiene que considerar los siguientes datos de entrada (Valenzuela y Orillo, 2019):

- ✓ Elevación base (m): Es la cota más baja del tanque, suele coincidir con la cota de elevación del terreno.
- ✓ Elevación mínima (m): Es el mínimo nivel de agua que llegara el tanque durante el día. Este nivel es sin considerar el volumen de emergencias.
- ✓ Elevación inicial (m): Es el nivel de agua con el que “arranca” el tanque para su funcionamiento diario. Con este nivel se hace el diseño.
- ✓ Elevación máxima (m): Es el nivel máximo de agua que alcanza el tanque antes que sea necesario el uso de elementos de evacuación de agua.
- ✓ Elevación (m): Es la cota de terreno en la que se encuentra el tanque.

### ***Reservorios.***

Representan un volumen infinito de una fuente externa. Son utilizados para simular las conexiones entre lagos, ríos, pozas, acuíferos subterráneos y otros sistemas. La cota de elevación es el dato de entrada (Valenzuela y Orrillo, 2019).

Este software nos ofrece análisis hidráulico en periodo extático, cuasi estático o extendido, análisis de calidad de agua principalmente en función del rastreo de fuente, edad del agua o constituyente, análisis de costos, protección contra incendios, segmentos críticos, lavado de tuberías, protección contra roturas de tuberías y análisis de vulnerabilidad del sistema (Alayo y Espinoza, 2016).

### ***Bombas.***

Son líneas que elevan el fluido en altura piezométrica para proporcionar energía de impulsión. Una bomba atraviesa el caudal de manera unidireccional. El programa intentará desconectar la bomba si las condiciones del sistema la hacen funcionar fuera de sus posibilidades. La cota de elevación, la definición de la bomba (punto de diseño, características del motor y controles), el estado (activo o inactivo) son los datos de entrada. (Valenzuela y Orrillo, 2019).

### ***Válvulas.***

Se utilizan como herramientas de sectorización para controlar la presión y el caudal en puntos específicos de la red. Varios tipos de válvulas están disponibles en WaterGEMS, incluidas las válvulas reductoras de presión (VRP), sostenedoras de presión (VSP), controladoras de caudal (FCV) y válvulas de propósito general (GPV). Los datos de entrada incluyen: Cota de elevación, diámetro de la válvula (mm), presión de salida, estado (activo, inactivo, cerrado), dirección de flujo (Valenzuela y Orrillo, 2019).

Este análisis puede encontrar los enlaces débiles del sistema de agua, evaluar la capacidad de aislar partes del sistema, evaluar la atención de las válvulas en diferentes ubicaciones, adecuar las válvulas de aislamiento y usar el software WaterGEMS, que genera automáticamente segmentos de red a partir de los datos de las válvulas de aislamiento (Alayo y Espinoza, 2016).

### ***Nudos.***

Son los puntos de la red donde se conectan las tuberías a través de las cuales el agua entra o sale de la red. Pueden ser puntos de consumo o simplemente un punto de paso (funciona como accesorio). La cota de elevación (m), la demanda de consumo asignada y la coordenada de ubicación son los datos de entrada. Los resultados son: altura, presión y calidad del agua (Alayo y Espinoza, 2016).

### ***Tuberías***

Con el uso de las funciones integradas de la gestión de escenarios del programa para un seguimiento adecuado de las alternativas de diseño, el modelo hidráulico nos permite optimizar el diseño de los sistemas de distribución de agua. Además, WaterGEMS complementa la optimización con una red incorporada. Son responsables de transportar el agua de un punto de red a otro. Por defecto, WaterGEMS asume que la tubería está llena. El caudal fluye del punto con la mayor carga hidráulica hacia el punto con la menor. Las tuberías pueden abrirse o cerrarse en momentos específicos o cuando se producen condiciones específicas, como cuando el nivel del tanque cae o llega a un punto determinado, o cuando la presión en los nudos cae o llega a un valor determinado mediante el uso de los controles (Alayo y Espinoza, 2016).

- ✓ Datos de entrada: punto inicial y final, diámetro (mm), material de la tubería, fórmula base (en el proyecto se utilizó Hazen Williams) y longitud (m).
- ✓ Resultados obtenidos: caudales, factor de fricción, pérdida de carga, velocidad por tramo y calidad de agua.

### **2.2.5. Calibración de una red de distribución**

Una la calibración de una red de agua potable puede definirse como el proceso de ajuste de los parámetros que definen el comportamiento hidráulico del modelo, esto es con el fin de reflejar con mayor precisión posible el funcionamiento real de la red de distribución, tanto para un escenario estático como dinámico. (Briceño e Infantes, 2019, p. 51).

#### **2.2.5.1. Fuentes de error en los modelos hidráulicos**

Es poco probable que los resultados del modelo hidráulico y los datos medidos en campo coincidan al 100%, debido simplificaciones, aproximaciones, supuestos, imprecisiones y errores en los datos vinculados a la construcción y carga del modelo. Unos de los ejemplos de los factores expuestos pueden ser: la variabilidad inherente a la red de distribución, no inclusión de las pérdidas menores, no considerar la variabilidad estacional del consumo, uso del diámetro nominal en lugar del diámetro interno de las tuberías, redondeo de los valores de cota, errores de conectividad entre tuberías, desconocimiento de válvulas cerradas, inexactitud de medida de sensores, o manejo incorrecto de los datos medidos (AWWA, 2013).

### **2.2.6. Servicio de agua potable**

Un sistema de agua potable efectivo debe proporcionar agua de alta calidad y a la presión adecuada en todas las áreas de la ciudad en todo momento. Para estos fines, se llevan a cabo que actividades regulan el criterio del ingeniero con respecto al medio en el que operará. (Rodríguez, 2001).

Más de 16 millones de personas en 314 distritos del Perú reciben los servicios de una de las 50 EPS, lo que equivale al 88.5 % de la población urbana del país. Los 1,520 distritos restantes son atendidos por municipalidades, juntas administradoras de servicios de saneamiento u otros prestadores (Pastor, 2014).

A continuación, se observa la clasificación de los operadores de los servicios de agua y saneamiento en función a su ámbito de responsabilidad:

**Tabla 3**

*Clasificación de los operadores de los servicios de agua.*

<b>Población</b>	<b>Ámbito</b>	<b>Prestador</b>	<b>Regulador</b>
Hasta 2 000	Rural	Organizaciones comunales, juntas administradoras.	Auto regulación
2 001 a 15 000	Pequeña ciudad	Unidades de gestión operadores especializados.	GoL
15 001 a 40 000	Urbano	Pequeñas empresas de saneamiento (PES).	SUNASS
40 001 a 60 000	Urbano	EPS de menor tamaño	SUNASS
Mayor a 60 000	Urbano	EPS de mayor Tamaño.	SUNASS

Nota. Tomado de *Gerencia y de Supervisión y Fiscalización*. Obtenido de SUNASS (2012).

### **Gestión Administrativa**

Anzola (2013) afirma que la gestión administrativa consiste en todas las actividades que se emprenden para coordinar el esfuerzo de un grupo, es decir la manera en la cual se tratan de alcanzar las metas u objetivos con ayuda de las personas y las cosas mediante el desempeño de ciertas labores esenciales como son la planeación, organización, dirección y control.

Para Muñiz (2007) aporta que “la gestión a nivel administrativo consiste en brindar un soporte administrativo a los procesos empresariales de las diferentes áreas funcionales de una entidad, a fin de lograr resultados efectivos y con una gran ventaja competitiva revelada en los estados financieros” (p. 29). En la cual la intención es reforzar la planificación y control de las acciones de la empresa, la gestión del sistema de información y determinar las necesidades financieras y la indagación de fuentes de financiación que permitan satisfacer en forma eficiente sus necesidades. Además, realizar análisis permanente desde la administración para la toma de decisiones: inversiones, políticas, precios, presupuestos, etc.

## **2.3 Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Análisis hidráulico**

El estudio de cálculos hidráulicos para determinar el correcto diseño de un sistema de redes de distribución, que garanticen caudal y presión adecuada en cualquier punto (Saldirraga, 2007).

### **2.3.2. Consumo de agua**

La cantidad de agua que se asigna a cada habitante, que incluye el consumo de todos los servicios que se realiza en un día medio anual. Se fija en base a un estudio de consumos técnicamente justificado, sustentado en informaciones estadísticas comprobadas (RNE, 2021).

### **2.3.3. Sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano:**

Consiste en el conjunto de componentes hidráulicos e instalaciones físicas que son accionadas por procesos operativos, administrativos y equipos necesarios desde la captación hasta el suministro del agua (Ministerio de Salud, 2010).

### **2.3.4. Continuidad de servicio de agua**

Es el número de horas al día o la semana en las que los hogares cuentan con el servicio de agua por red pública (Carhuavilca, 2022).

### **2.3.6. Calibración de sistema de agua**

Consiste en comparar los resultados del modelo con mediciones obtenidos en campo, realizando ajustes al modelo y la revisión de los datos de campo hasta alcanzar la concordancia entre ambos (AWWA, 2013).

## **CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Materiales**

#### **3.1.1. Instrumentos**

Instrumentos para medir en campo:

- Estación total.
- GPS.
- Macromedidor.
- Manómetro.
- Wincha.
- Cámara fotográfica.

Instrumentos de procesamiento de datos:

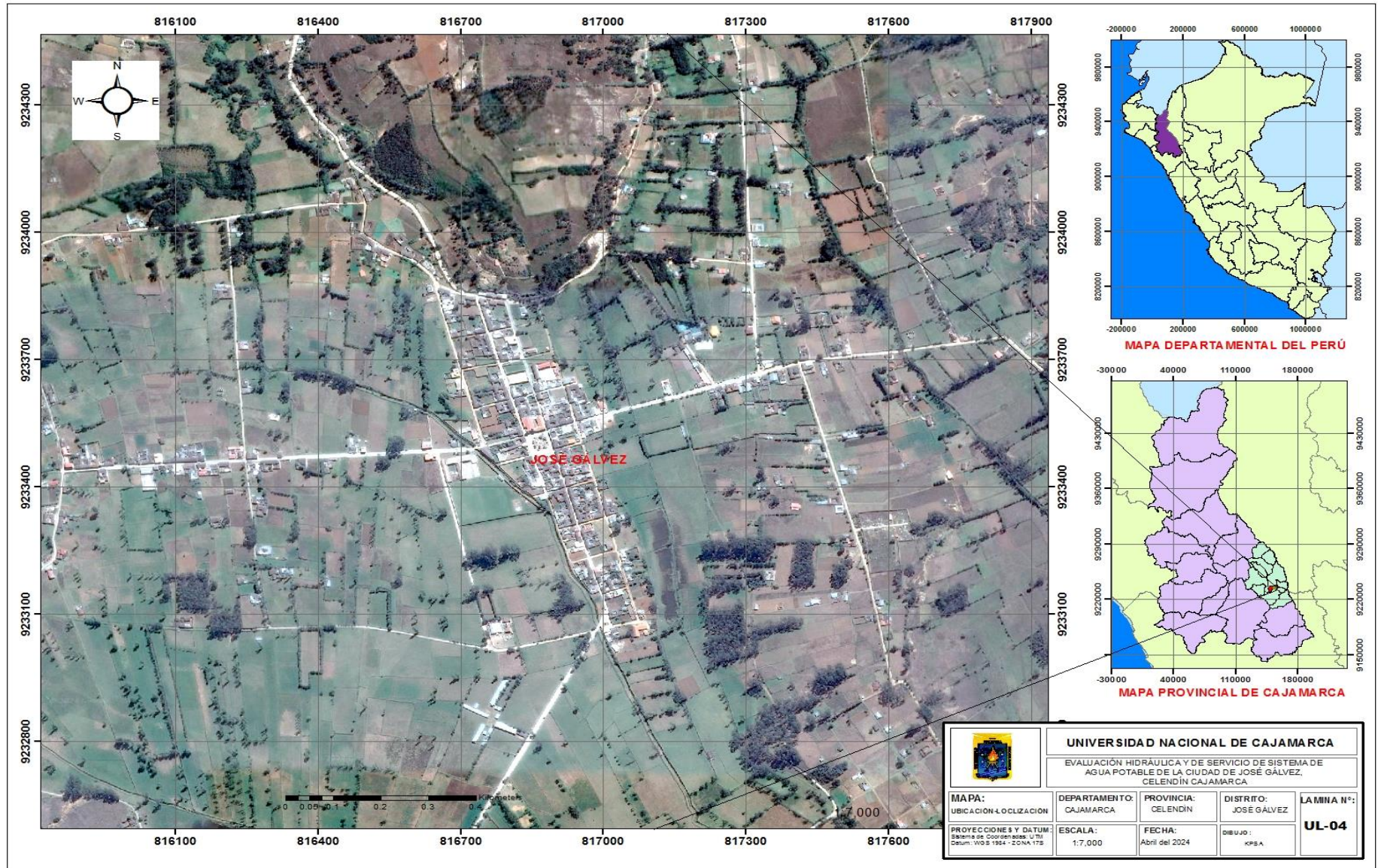
- AutoCAD Civil 3D – 2023.
- Microsoft Office 2019.
- Microsoft Excel 2016.
- ArcMap 10.8.
- WaterGEMS.

#### **3.1.2. Ubicación del Área de estudio**

La zona de estudio se realizará en la ciudad de José Gálvez, distrito de José Gálvez, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca; a una altitud de 2617.7 m.s.n.m., el distrito tiene una extensión territorial es de 58,01 km<sup>2</sup> y está conformado por 12 caseríos.



**Tabla 4**  
*Ubicación de la investigación*



### **3.1.3. Características resaltantes de la zona de estudio**

#### **3.1.3.1. Población**

Según INEI (2017), la población del distrito de José Gálvez es de 2 558. La población masculina representa el 47.81%, mientras que la femenina un 52.9%. La población el distrito, con una tasa de crecimiento de -0.36. En el área de estudio (ciudad de José Gálvez) hay 152 familias conectadas a la red de agua, siendo 456 personas beneficiarias.

#### **3.1.3.2. Clima**

El clima en la ciudad de José Gálvez, según el mapa de clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI utilizando en método de Werren Thornthwaite se tiene: Zona de clima semifrío, lluvioso, con lluvia deficiente en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda (Alcántara, 2011).

En las épocas de ausencia de lluvias, ocurren grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche, generando heladas por debajo de los 6°C, que se presentan con mayor intensidad en los meses de julio y agosto afectando severamente a la actividad agrícola, la agricultura es mayormente al secano con una sola cosecha al año, y por lo tanto la cosecha está supeditada a la ocurrencia de lluvias, por lo que esta tradicionalmente se inicia en setiembre y octubre; y las cosechas se producen pasadas las lluvias entre mayo y julio (Alcántara, 2011).

#### **3.1.3.3. Uso actual del suelo**

De acuerdo al uso actual del territorio por el nivel macro, se refiere a la descripción de manera general de las diferentes formas de uso, y desde el punto de vista económico, que se viene dando a los recursos que se encuentran ocupando las tierras de la superficie del territorio, en una época determinada; en tal sentido, Alcántara (2011), afirma que en el distrito de José Gálvez se encuentran las categorías como se describen a continuación:

##### **a. Uso agrícola**

Comprende los espacios que, desde el punto de vista económico, se vienen usando en las actividades agrícolas; según el tipo de cobertura vegetal, corresponde a la categoría

de cultivos agrícolas, asociados a otras coberturas como a cultivos permanentes (sobre todo frutales), a pastos naturales, a vegetación arbustiva, entre otros.

b. Uso agropecuario

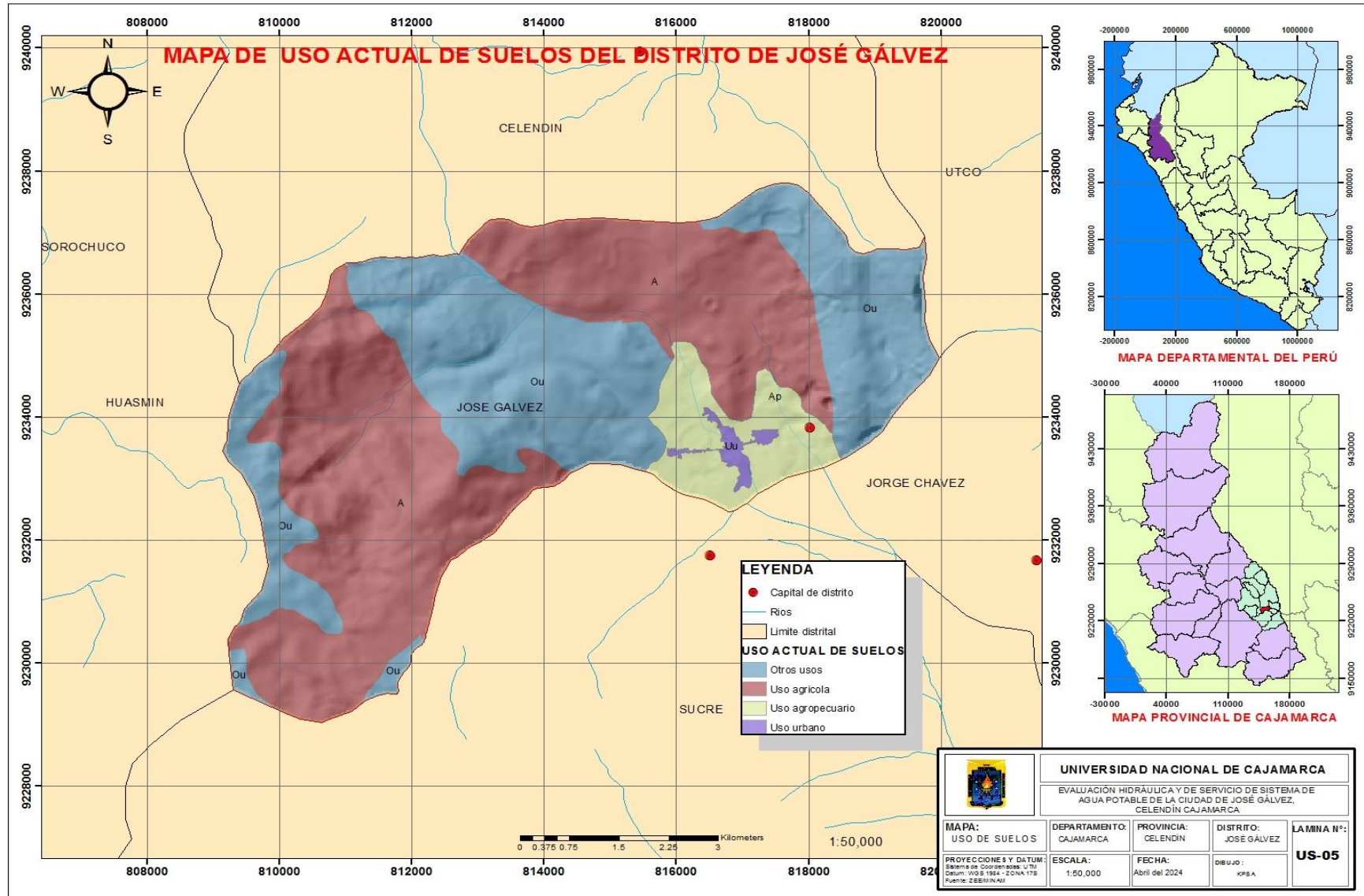
Se refiere a las tierras que económicamente vienen siendo utilizados con la actividad pecuaria (pastos) y con la actividad agrícola, razón por la que se ha denominado a esta unidad, como tierras de uso agropecuario. Según el tipo de cobertura vegetal corresponde a las categorías de pastos cultivados asociadas a cultivos agrícolas.

c. Uso urbano

En estos espacios se realizan diferentes actividades económicas relacionados con el intercambio comercial y están articulados horizontalmente a través de la red vial nacional, departamental y vecinal. Asimismo, son espacios que no son utilizadas para actividades agrícolas, pecuarias, mineras, forestales y/o agro industriales.



**Figura 7**  
 Mapa de clasificación de suelos del distrito de José Gálvez



### **3.1.4. Población y muestra**

#### ***Población.***

La población está conformada por el sistema de abastecimiento de agua potable y las 152 conexiones conectadas a la red de agua potable de la ciudad de José Gálvez, distrito de José Gálvez, provincia de Celendín, región de Cajamarca.

#### ***Muestra.***

La muestra está conformada por el sistema de abastecimiento de agua potable que tiene como captación de ladera La Pacchana que abastece a la población de la ciudad de José Gálvez y se encuentra ubicada a 1.6 km de la ciudad de José Gálvez, tiene 20 años de vida desde su construcción. Para la calibración de la simulación hidráulica en el programa WaterGEMS, se toman como muestra las presiones en 36 viviendas más cercas a los nodos de las redes de agua.

## **3.2. Metodología y Procedimiento**

### **3.2.1. Metodología**

La metodología de la presente investigación corresponde al nivel descriptivo, puesto que los datos serán obtenidos a partir de información recolectada del sistema de agua.

### **3.2.2. Procedimiento**

#### ***3.2.2.1. Descripción del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez.***

El sistema tiene los siguientes componentes hidráulicos: captación, línea de aducción y redes de distribución.

#### ***A. Captación.***

Durante la visita en campo, se verifica el estado de conservación de las estructuras hidráulicas que componen a la captación: afloramiento, cámara húmeda y cámara seca. Además, se revisarán los accesorios, válvulas y tuberías, para determinar en el estado en el que se encuentran.

### ***B. Línea de Aducción***

Se realizó el recorrido de toda la línea de aducción. En el trayecto se verificó que no exista partes de tuberías descubiertas, roturas o fugas y la cantidad de válvulas de aire, válvulas de purga y pases aéreos.

### ***C. Redes de distribución***

Con el consentimiento de los usuarios de la ciudad, se procedió a verificar las condiciones en las que se encuentra las conexiones domiciliarias, verificando el estado de sus piletas, válvulas y tuberías de conexión. Se instaló un manómetro para medir las presiones dinámicas en cierta cantidad de usuarios. Aprovechando la oportunidad, se brindó información sobre la importancia del cuidado del agua.

#### ***3.2.2.2. Determinación de caudales de consumo***

Para determinar los caudales de consumo de la población, se instaló un macromedidor de agua, en coordinación con el responsable del Área Técnica Municipal de la ciudad de José Gálvez y el operador del sistema; para ello, se tuvo que tomar medida hora a hora durante 15 días, de esta manera, procesar los datos y determinar los caudales (promedio, máximo diario, máximo horario) de la ciudad de José Gálvez.

#### ***A. Cálculo de caudal medio ( $Q_m$ ) del sistema.***

Para encontrar el caudal medio se aplica la siguiente formula:

$$Q_m = \frac{\Sigma Q}{\# \text{ de registros}}$$

$\Sigma Q$ : sumatoria de desde las 00 horas hasta las 24 horas de los 15 días.

$Q_m$ : caudal promedio del sistema

#### ***A. Cálculo del caudal máximo horario ( $Q_{mh}$ ).***

Con la base de datos de registros de los 15 días, se procede a calcular el caudal máximo horario, para lo cual se busca el día de mayor consumo; luego, el  $Q_{mh}$  corresponde a la hora de mayor consumo de ese día.

Luego se procede al cálculo del k2:

$$K2 = \frac{Q_{mh}}{Q_p} \quad \dots (Ec. 32)$$

Donde:

Q<sub>mh</sub>: Caudal Máximo horario.

Q<sub>p</sub>: Caudal promedio del día de máximo consumo.

### ***B. Cálculo del caudal máximo diario (Q<sub>md</sub>).***

Con la base de datos correspondiente a 15 días, se calcula el k1 a partir del mayor valor de consumo diario. El caudal máximo diario, que corresponde al día de mayor consumo, en litros por segundo sería:

$$Q_{md} = \frac{\Sigma. \text{Valores de } Q_{md}}{N^{\circ} \text{ de horas registradas}}$$

Luego, se calcula el k1 con la siguiente formula:

$$K1 = \frac{Q_{md}}{Q_{medio}} \quad \dots (Ec. 31)$$

Donde:

Q<sub>md</sub>: Caudal máximo diario.

Q. medio: Caudal promedio del sistema.

### ***3.2.2.2. Evaluación de la infraestructura hidráulica del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez***

#### ***A. Captación.***

Se realizó el aforo del manantial en el rebose de la captación que llega a un canal trapezoidal, con el método sección - pendiente, para saber el caudal ofertado y verificar sea mayor que el caudal demandado. Luego, se verifica el volumen de la cámara de almacenamiento de agua, chequeándolo como un volumen de equilibrio.

### ***Método sección – pendiente***

El cálculo de caudal de la fuente se determina en el canal trapezoidal por el método de sección – pendiente. Esto debido a que el rebose de la captación de ladera se conecta directamente al canal. Se cerró la válvula de la línea de aducción, para medir el caudal total que oferta la fuente.

El procedimiento consistió en medir dos secciones transversales de canal: tirante, área hidráulica, perímetro mojado y rugosidad. También se calculó la pendiente entre las dos secciones. A partir de estos datos se encontró un primer caudal.

Luego se procedió a calcular las velocidades y la nueva  $\Delta hf$  que sería  $\Delta hf / \text{cota final} - \text{cota inicial}$  y las nuevas velocidades y caudales.

Este paso se repitió hasta que ya no haya variación de caudal entre las iteraciones.

### ***Volumen de la cámara húmeda***

Después de calcular el caudal que la fuente oferta, se procede a calcular las dimensiones de la captación, en este caso es de tipo ladera.

Se calcula el volumen necesario que debe tener la cámara húmeda para un tiempo de retención de 3 minutos y 5 minutos.

Se toma medidas en campo de la cámara y luego se verifica que el nivel de agua permita un volumen dentro del rango de tiempo reglamentado.

En el caso de no cumplir con este volumen requerido se debe sugerir la nueva altura de la tubería de rebose para aumentar el nivel de agua y el volumen en la cámara sea el apropiado.

### **B. Aducción**

Conociendo el caudal de diseño, se verificó la tubería instalada en el sistema, contrastando velocidades. Además, se hace un recorrido y se verifica que no exista ninguna avería o no cumplen con los criterios técnicos y que permita el buen funcionamiento de la línea de aducción.



### **C. Redes de distribución**

Se realizó el modelamiento hidráulico en el software WaterGEMS para verificar presiones, caudales y velocidades en la red de distribución. Para la calibración del sistema, se miden presiones con manómetros en casas cercanas a los nodos de la red. Los datos recolectados en campo, sirven para hacer una comparación con las presiones calculadas en el modelamiento hidráulico, si tienen una gran diferencia en su valor, se procede a calibrar el sistema, hasta que ambos escenarios se ajusten, con el fin de tener una mayor precisión en los resultados.

El proceso de calibración involucra diversos parámetros, como son: el coeficiente de rugosidad, pérdidas de agua, variaciones de consumo, válvulas y cámaras rompe presión. Sin embargo, el parámetro más involucrado es el coeficiente de rugosidad. Por lo que se procedió a encontrar su valor más próximo.

## CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Presentación de resultados

#### 4.1.1. Descripción del estado actual del sistema de agua potable:

El sistema de agua “La Pacchana” que abastece a la ciudad de José Gálvez cuenta con los siguientes componentes hidráulicos: captación, línea de aducción y redes de distribución.

#### A. *Captación:*

La captación es de tipo ladera, ubicada en las coordenadas UTM: 9233074.00 N, 815383.45 E y una altitud de 2640.00 msnm.

Tiene 20 años de vida útil, presenta problemas de muros deteriorados y sin pintura. Las tapas metálicas para acceso a las cámaras de la captación se encuentran oxidadas y en deterioro, no existe cerco perimétrico para su protección y se observa gran cantidad de maleza en el lugar.

#### Figura 8

*Captación de ladera La Pacchana*

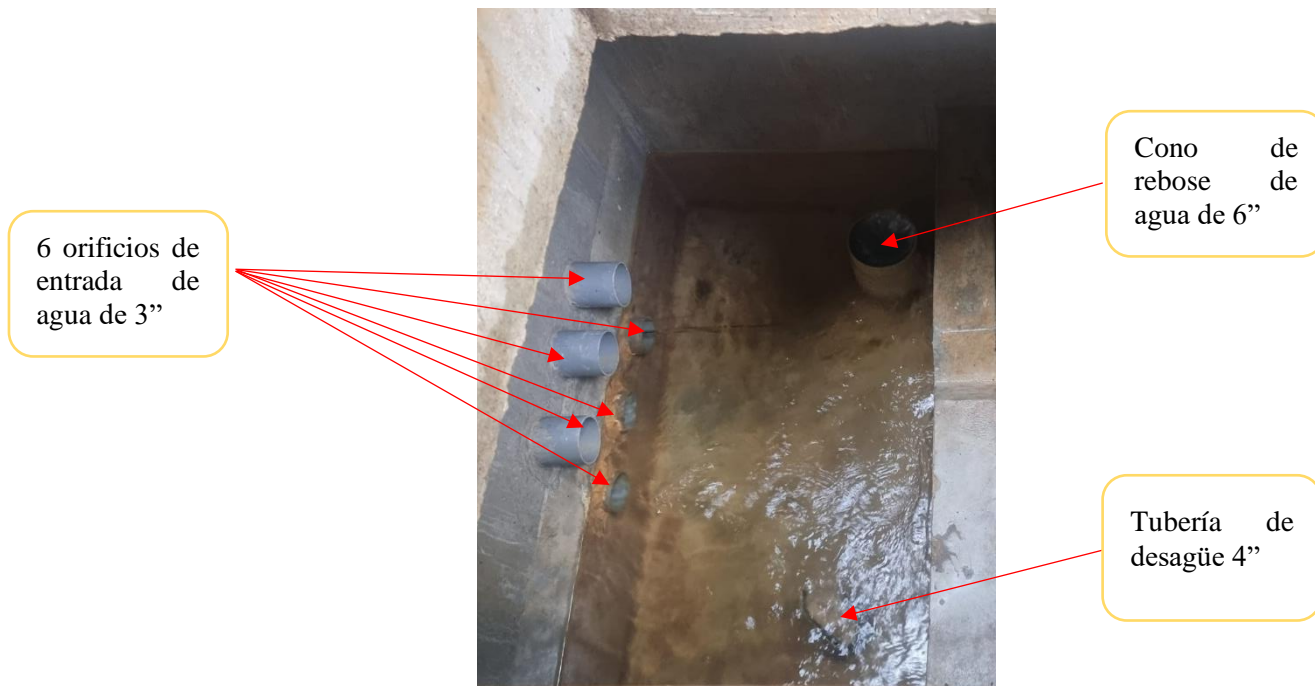


Existe un acceso al afloramiento a través de una tapa metálica de 60cm x 60cm oxidada, en donde se aprecia el ingreso de agua del manantial. Hay malezas al interior y exterior de la cámara.

**Figura 9***Afloramiento del manantial de ladera*

Ingreso a  
afloramiento

A continuación del afloramiento se aprecia la cámara húmeda, con 6 orificios de entrada de 3", una tubería de rebose de 6" y una tubería de desagüe de 4", las tuberías son de PVC en estado regular. La tapa metálica para el ingreso es de 60cm x 60cm se encuentra oxidada.

**Figura 10***Cámara húmeda*

6 orificios de  
entrada de  
agua de 3"

Cono de  
rebose de  
agua de 6"

Tubería de  
desagüe 4"

Seguidamente se aprecia la cámara seca que se encuentra inundada de agua, con una válvula oxidada, tipo bola. La cual necesita de mantenimiento, para asegurar su buen funcionamiento y no haya fugas de agua, su acceso cuenta con una tapa metálica oxidada de 60cm x 60cm.

**Figura 11**  
*Cámara seca*



**B. Línea de aducción:**

La línea de aducción es de 1 739.098 m de material PVC, se encuentra en buen estado. La línea cuenta con una válvula de control y una válvula de purga.

**C. Redes de distribución:**

Las redes de distribución de agua son un sistema cerrado, abastecen a 152 conexiones de agua. Se observaron las condiciones en que se encuentran las conexiones de agua de 31 viviendas, de las cuales 22 viviendas se encuentran en buen estado y 9 viviendas en mal estado.

**Tabla 5***Verificación del estado de las conexiones domiciliarias*

VIVIENDAS	Este (X)	Norte (Y)	BUEN ESTADO	MAL ESTADO
P1	816,646.68	9,233,876.02	X	
P2	816,732.04	9,233,855.05	X	
P3	816,792.56	9,233,840.90	X	
P4	816,677.94	9,233,748.17		X
P5	816,756.56	9,233,764.80	X	
P6	816,809.20	9,233,777.33		X
P7	816,698.02	9,233,677.20	X	
P8	816,779.83	9,233,692.93	X	
P9	816,830.56	9,233,704.14	X	
P10	816,893.16	9,233,718.99		X
P11	816,723.63	9,233,584.50	X	
P12	816,807.52	9,233,608.44	X	
P13	816,853.95	9,233,622.06	X	
P14	816,913.91	9,233,638.59		X
P15	816,749.02	9,233,496.85		X
P16	816,835.07	9,233,522.03	X	
P17	816,879.43	9,233,534.10		X
P18	816,939.74	9,233,552.26	X	
P19	816,849.05	9,233,477.33	X	
P20	816,892.13	9,233,489.46	X	
P21	816,952.37	9,233,506.96		X
P22	816,919.41	9,233,400.39	X	
P23	816,876.97	9,233,387.05	X	
P24	816,945.44	9,233,311.57	X	
P25	817,001.95	9,233,328.50	X	
P26	816,904.45	9,233,299.00	X	
P27	817,023.20	9,233,250.98	X	
P28	816,968.50	9,233,233.79	X	
P29	816,993.16	9,233,149.59		X
P30	817,047.65	9,233,163.35	X	
P31	817,014.44	9,233,071.94		X

De las 9 viviendas en mal estado de sus conexiones domiciliarias, 5 de ellas son grifos de jardín en malas condiciones, en donde se observa desperdicio de agua por goteo; 4 son fugas de agua dentro de las viviendas por mala conexión de accesorios. Se recomienda monitorear estas viviendas para que puedan cambiar sus grifos y accesorios averiados, de esta manera no haya desperdicio de agua.

**Figura 12***Estado de conexiones domiciliarias***4.1.2. Determinación de caudales de consumo**

- **Cálculo de caudales de consumo de la población**

*Caudal promedio del sistema ( $Q_m$ )*

Para encontrar el caudal medio se aplica la siguiente fórmula:

$$Q_m = \frac{\Sigma Q}{\# \text{ de registros}}$$

$$Q_m = \frac{406.994}{360}$$

$$Q_m = 1.13 \text{ l/s}$$

*Cálculo del caudal máximo horario ( $Q_{mh}$ )*

Con la base de datos de los registros de los 15 días, se procede a calcular el caudal máximo horario, para lo cual se busca el día de mayor consumo.



Tabla 6

Registro de consumos de la población en l/s

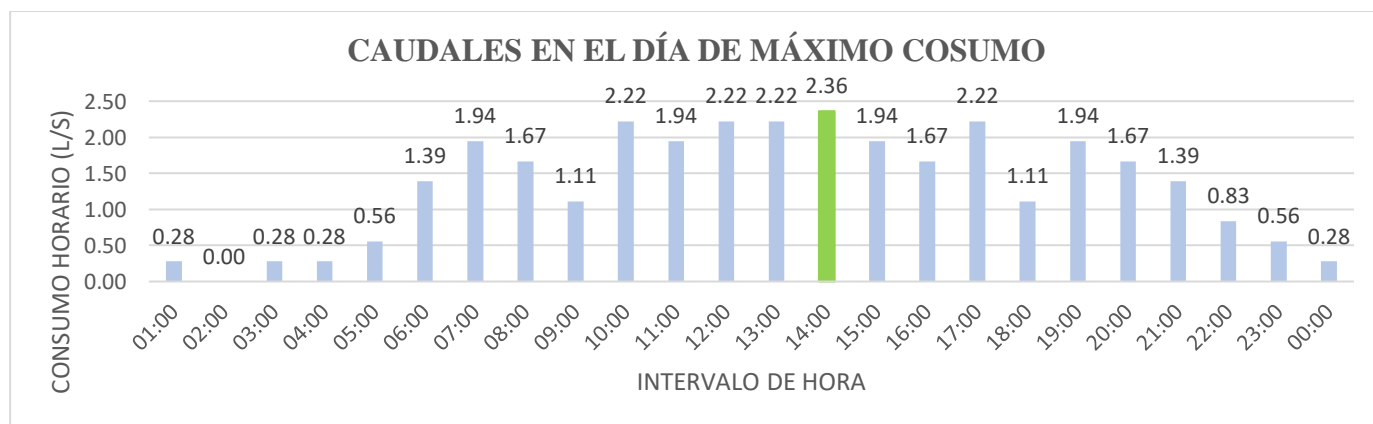
HORA/DÍA	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	DÍA 9	DÍA 10	DÍA 11	DÍA 12	DÍA 13	DÍA 14	DÍA 15
	23-Oct	24-Oct	25-Oct	26-Oct	27-Oct	28-Oct	29-Oct	30-Oct	31-Oct	1-Nov	2-Nov	3-Nov	4-Nov	5-Nov	6-Nov
01:00	0.83	0.56	<b>0.28</b>	0.28	0.00	0.28	0.00	0.00	0.28	0.42	0.56	0.14	0.56	0.83	0.42
02:00	0.28	0.28	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.56	0.00	0.56	0.28	0.00	0.28	0.14	0.28	0.28	0.56
03:00	1.11	0.28	<b>0.28</b>	0.00	0.00	0.28	0.28	0.28	0.56	0.00	0.28	0.28	0.14	0.00	0.00
04:00	0.28	0.56	<b>0.28</b>	0.56	0.28	0.28	0.28	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00
05:00	0.56	0.56	<b>0.56</b>	0.28	0.83	0.00	0.00	0.42	0.00	0.56	0.00	0.00	0.14	0.14	0.00
06:00	0.28	0.28	<b>1.39</b>	0.83	0.56	0.83	1.11	0.83	0.83	1.11	0.14	0.28	0.56	0.28	0.83
07:00	1.39	0.83	<b>1.94</b>	1.39	1.39	1.11	0.83	1.39	1.11	1.39	0.56	0.56	1.11	0.83	1.39
08:00	1.11	1.11	<b>1.67</b>	1.67	1.11	1.94	1.94	1.81	1.67	1.67	1.11	1.11	1.67	1.11	1.94
09:00	2.22	2.22	<b>1.11</b>	2.22	1.67	2.22	1.67	1.67	1.39	2.22	1.94	1.67	1.94	0.56	1.67
10:00	1.94	1.94	<b>2.22</b>	2.22	1.94	1.67	1.67	1.39	1.11	1.94	2.22	2.50	1.94	0.83	1.94
11:00	2.22	2.22	<b>1.94</b>	1.94	1.94	1.39	1.94	1.81	1.94	1.39	1.67	1.94	1.67	1.11	2.22
12:00	2.50	1.94	<b>2.22</b>	1.39	2.08	2.50	1.11	1.67	1.39	2.22	1.39	2.22	2.22	1.39	2.50
13:00	2.50	1.94	<b>2.22</b>	2.22	1.67	2.64	1.94	1.67	1.11	1.94	1.39	2.22	1.39	1.94	1.67
14:00	0.56	1.67	<b>2.36</b>	2.22	1.94	2.22	1.94	1.11	1.11	2.50	1.11	1.39	1.94	1.94	1.11
15:00	1.39	2.22	<b>1.94</b>	1.94	1.94	1.67	1.39	1.11	1.67	2.22	0.83	1.67	1.11	1.67	1.39
16:00	1.11	1.39	<b>1.67</b>	1.67	1.11	1.94	1.11	1.67	1.94	1.94	0.83	2.22	1.67	1.39	1.94
17:00	0.56	1.67	<b>2.22</b>	1.67	1.11	2.50	1.94	0.83	1.39	2.22	1.39	1.39	1.94	1.11	1.94
18:00	0.83	1.94	<b>1.11</b>	1.94	1.39	1.67	1.67	0.56	1.11	1.11	1.11	1.94	1.67	0.83	1.67
19:00	1.39	1.39	<b>1.94</b>	1.11	0.83	1.67	1.11	1.39	0.83	1.11	1.39	0.83	1.11	1.67	1.39
20:00	1.94	1.11	<b>1.67</b>	0.83	1.11	1.11	0.83	1.11	1.67	0.83	1.39	0.83	1.11	1.94	1.11
21:00	1.67	0.83	<b>1.39</b>	0.56	1.39	1.39	1.11	0.83	0.56	1.39	1.11	1.39	0.83	1.39	0.83
22:00	1.39	0.56	<b>0.83</b>	0.56	0.56	0.83	0.83	0.83	0.83	1.11	0.56	0.83	0.56	1.39	0.28
23:00	0.56	0.56	<b>0.56</b>	0.28	0.28	0.56	0.28	0.56	0.83	0.56	0.83	0.42	1.11	0.56	0.14
00:00	0.83	0.83	<b>0.28</b>	0.56	0.28	0.28	0.42	0.83	0.56	0.56	0.42	0.28	0.28	0.56	0.00
<b>Qprom</b>	1.227	1.204	<b>1.337</b>	1.181	1.059	1.314	1.059	1.013	1.007	1.279	0.938	1.094	1.134	0.990	1.123
<b>QMH</b>	2.50	2.22	<b>2.36</b>	2.22	2.08	2.64	1.94	1.81	1.94	2.50	2.22	2.50	2.22	1.94	2.50

Entonces el Qmh corresponde a la hora de mayor consumo, del día de mayor consumo durante el periodo de 15 días.

$$Q_{mh} = 2.36 \text{ l/s}$$

Figura 13

Variación de caudales en el día de máximo consumo



Luego se procede al cálculo del k2:

$$K2 = \frac{Q_{mh}}{Q_p} \quad \dots (Ec. 32)$$

$$k2 = \frac{2.36 \text{ l/s}}{1.337 \text{ l/s}}$$

$$\mathbf{k2 = 1.77}$$

### ***Cálculo del caudal máximo diario (Qmd)***

Con la base de datos correspondiente a 15 días, se calcula el k1 a partir del mayor valor de consumo diario.

El caudal máximo diario, que corresponde al día de mayor consumo, en litro por segundo sería:

$$Q_{md} = \frac{\Sigma. \text{Valores de } Q_{md}}{N^{\circ} \text{ de horas registradas}}$$

$$Q_{md} = \frac{32.08 \text{ l/s}}{24}$$

$$Q_{md} = 1.34 \text{ l/s}$$

Luego, se calcula el k1 con la siguiente formula:

$$K1 = \frac{Q_{md}}{Q_{medio}} \quad \dots (Ec. 31)$$

$$K1 = \frac{1.34 \text{ l/s}}{1.13 \text{ l/s}}$$

$$\mathbf{K1 = 1.18}$$

El coeficiente k3 = k1 x k2 correspondiente a viviendas unifamiliares. De igual manera el  $Q_{mh} = Q_p \times k1 \times k2$

$$Q_{mh} = Q_p \times k1 \times k2 \text{ (viviendas unifamiliares)}$$

$$Q_{mh} = 1.13 \times 1.18 \times 1.76$$

$$\mathbf{Q_{mh} = 2.36 \text{ l/s}}$$



A continuación, se presenta en la siguiente tabla los cálculos obtenidos:

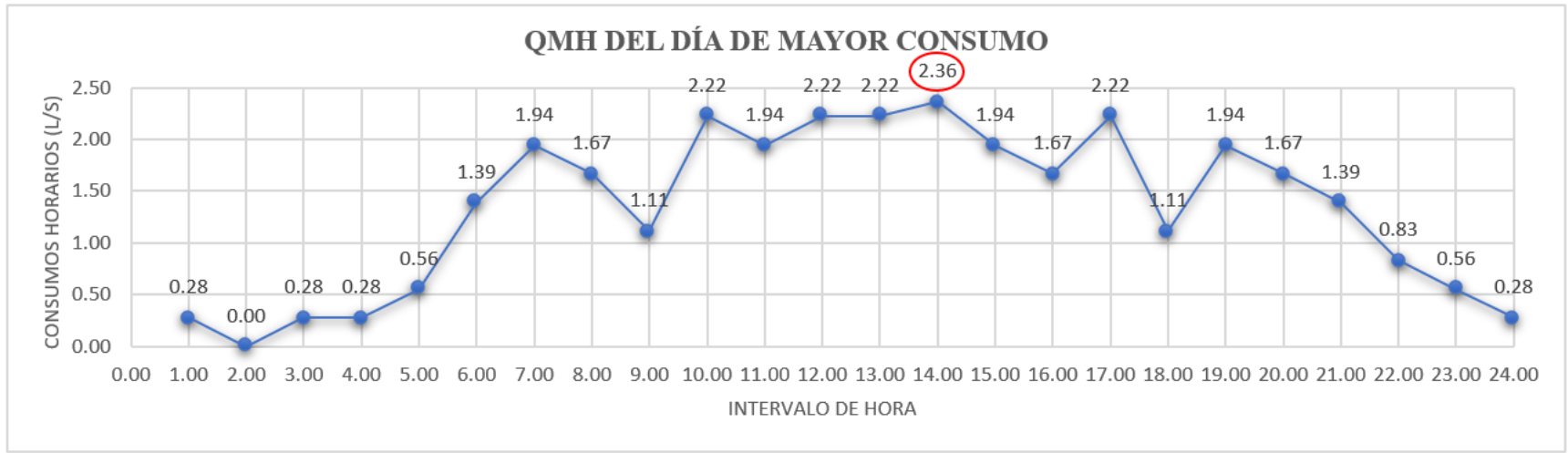
**Tabla 7**

*Resultados de caudales obtenidos*

	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>k1</b>	1.18	-
<b>k2</b>	1.77	-
<b>k3</b>	2.09	-
<b>Qmh</b>	2.36	l/s
<b>Qmd</b>	1.34	l/s
<b>Qp</b>	1.13	l/s

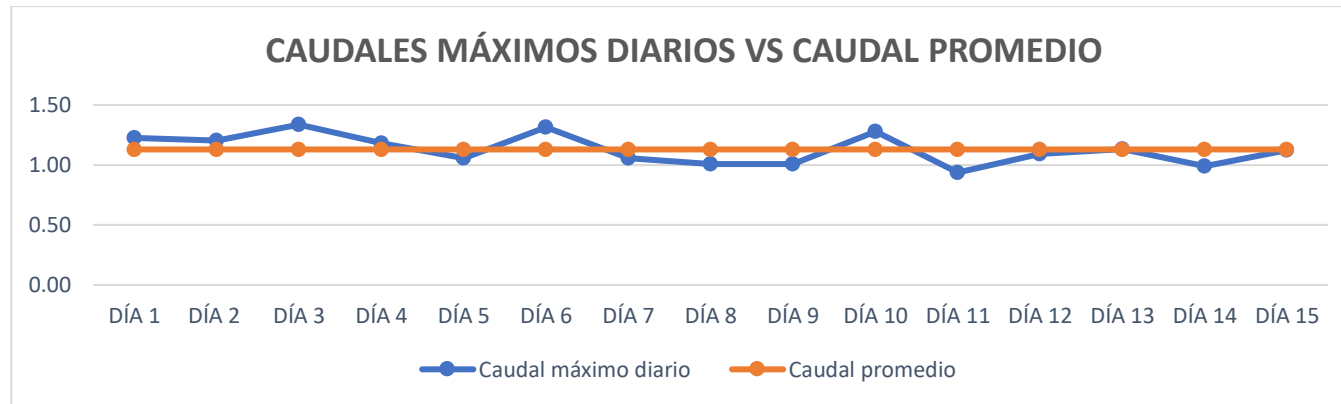
**Figura 14**

*Consumos horario del día de máximo consumo*



**Figura 15**

*Caudales máximos diarios vs caudal promedio*



### 4.1.3. Evaluación del sistema de agua potable:

#### A. Captación:

- **Caudal de Captación:** Para determinar el caudal de la captación se realizó la medición del caudal mediante el método sección – pendiente.

Datos:

Longitud de la sección	10 m
Cota superior inicial	2639.77 m
Cota superior final	2639.85 m

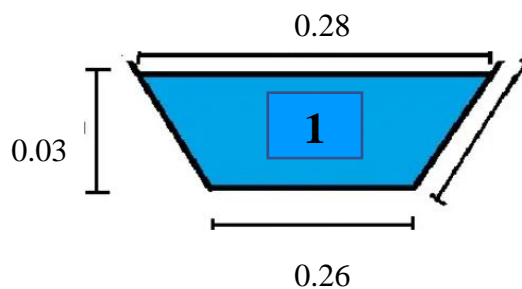
#### CALCULO DE LA PENDIENTE

$$S = \frac{\text{cota final} - \text{cota inicial}}{\text{long. entre sección}} \times 100$$

$$S = 0.8$$

#### SECCIONES

SECCIÓN 1:



1. Tirante  $y_1 = 0.03$  m

2. Talud  $Z_1$ :

$$\text{Espejo de agua } T_1 = B + 2 \cdot Z \cdot y_1$$

$$\text{Talud } Z_1 = 0.333$$

3. Área 1  $A_1 = (b + Z_1 \cdot y_1) \cdot y_1$

$$A_1 = 0.0081 \text{ m}^2$$

4. Perímetro mojado  $P_m = b + 2 \cdot (y_1 \cdot \sqrt{1 + z^2})$

$$P_m = 0.450 \text{ m}$$

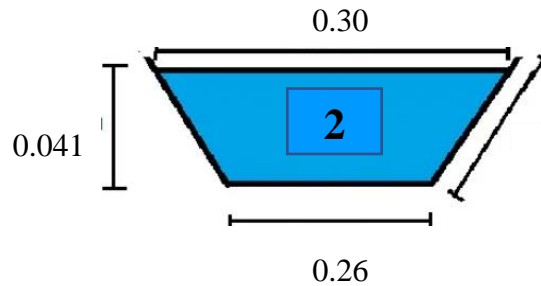
5. Radio hidráulico  $Rh1 = A1/Pm1$

$$Rh1 = 0.018 \text{ m}$$

6. Rugosidad del canal

$$n = 0.014$$

SECCIÓN 2:



1. Tirante  $y2 = 0.041 \text{ m}$

2. Talud  $Z2$ :

Espejo de agua  $T2 = B + 2*Z*y*1$

$$\text{Talud } Z1 = 0.488$$

3. Área 2  $A2 = (b+Z1*y1)*y1$

$$A2 = 0.011 \text{ m}^2$$

4. Perímetro mojado  $Pm = b + 2(3*y1*\text{raiz}(1+z^2))$

$$Pm = 0.534 \text{ m}$$

5. Radio hidráulico  $Rh2 = A2/Pm2$

$$Rh2 = 0.022 \text{ m}$$

6. Rugosidad del canal  $n =$

$$n = 0.014$$

### PROCESO PARA EMPEZAR A ITERAR:

1. Se calcula coeficiente de conductividad para sección 1 y 2:

$$k1 = \frac{1}{n} \times A * Rh^{\frac{2}{3}}$$

$$k1 = 0.0398$$

$$k2 = 0.0634$$

2. Conductividad media Km:

$$Km = \sqrt{k_1 \times k_2}$$

$$Km = 0.050$$

3. Caudal para la sección 1 y 2:

$$Q = Km \times \sqrt{S_0}$$

$$Q_1 = 0.0045 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Velocidades para secciones y cabeza de velocidad 1 y 2:

$$\begin{array}{l} V_1 = \frac{Q}{A_1} = 0.554 \text{ m/s} \\ \frac{V_1^2}{2g} = 0.016 \text{ m} \\ V_2 = \frac{Q}{A_2} = 0.391 \text{ m/s} \\ \frac{V_2^2}{2g} = 0.008 \text{ m} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} V_1 \\ \frac{V_1^2}{2g} \\ V_2 \\ \frac{V_2^2}{2g} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \mathbf{V_1 > V_2} \\ \mathbf{A_1 < A_2} \end{array}$$

5. Se calcula F y fh:

$$hf = F + K \left( \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

$$K_e = 0.5$$

Cálculo de F:

$$F = S_0 \times L$$

$$F = 0.080$$

**Tabla 8**

*Cálculo de caudal de oferta de manantial por el método sección - pendiente*

i	S	Q (m <sup>3</sup> /s)	V1 (m/s)	V2	V1 <sup>2</sup> /2g	V2 <sup>2</sup> /2g	k <sub>e</sub>	Δhf
1	0.008000	0.004491	0.554456	0.391210	0.015669	0.007800	0.500000	0.083934
2	0.008393	0.004600	0.567926	0.400714	0.016439	0.008184	0.500000	0.084128
3	0.008413	0.004605	0.568580	0.401176	0.016477	0.008203	0.500000	0.084137
4	0.008414	0.004606	0.568612	0.401198	0.016479	0.008204	0.500000	0.084138
5	0.008414	0.004606	0.568613	0.401199	0.016479	0.008204	0.500000	0.084138

Por lo tanto, el caudal que oferta la fuente es de  $Q_{of} = 0.004606 \text{ m}^3/\text{s}$ , equivalente a  $4.606 \text{ l/s}$ .

- **Caudal de oferta a población agrícola (servidumbre):** Para determinar este caudal se realizó la medición del caudal por método sección – pendiente.

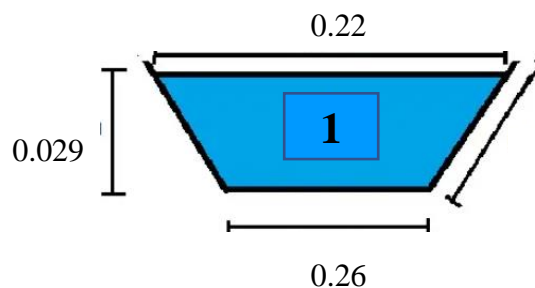
### CALCULO DE LA PENDIENTE

$$S = \frac{\text{cota final} - \text{cota inicial}}{\text{long. entre sección}} \times 100$$

$$S = 0.8$$

### SECCIONES

SECCIÓN 1:



1. Tirante  $y_1 = 0.029 \text{ m}$

2. Talud  $Z_1$ :

$$\text{Espejo de agua } T_1 = B + 2 \cdot Z \cdot y_1$$

$$\text{Talud } Z_1 = -0.690$$

3. Área 1  $A_1 = (b + Z_1 \cdot y_1) \cdot y_1$

$$A_1 = 0.00696 \text{ m}^2$$

4. Perímetro mojado  $P_m = b + 2 \cdot (y_1 \cdot \text{raiz}(1 + z^2))$

$$P_m = 0.471 \text{ m}$$

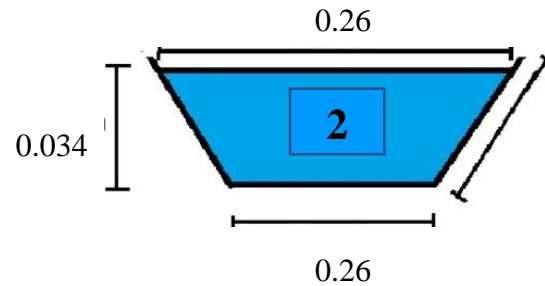
5. Radio hidráulico  $R_{h1} = A_1 / P_{m1}$

$$R_{h1} = 0.015 \text{ m}$$

6. Rugosidad del canal

$$n = 0.014$$

SECCIÓN 2:



1. Tirante  $y_2 = 0.034$  m

2. Talud  $Z_2$ :

Espejo de agua  $T_2 = B + 2 \cdot Z \cdot y_1$

Talud  $Z_1 = 0.000$

3. Área  $A_2 = (b + Z_1 \cdot y_1) \cdot y_1$

$A_2 = 0.009 \text{ m}^2$

4. Perímetro mojado  $P_m = b + 2 \cdot (3 \cdot y_1 \cdot \text{raiz}(1 + z^2))$

$P_m = 0.464$  m

5. Radio hidráulico  $R_{h2} = A_2 / P_m$

$R_{h2} = 0.019$  m

6. Rugosidad del canal  $n =$

$n = 0.014$

**PROCESO PARA EMPEZAR A ITERAR:**

1. Se calcula coeficiente de conductividad para sección 1 y 2:

$$k_1 = \frac{1}{n} \times A \cdot R_{h2}^{\frac{2}{3}}$$

$k_1 = 0.0299$

$k_2 = 0.0450$

2. Conductividad media  $K_m$ :

$$K_m = \sqrt{k_1 \times k_2}$$

$K_m = 0.037$

3. Caudal para la sección 1 y 2:

$$Q = Km \times \sqrt{S_0}$$

$$Q1 = 0.0033 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Velocidades para secciones y cabeza de velocidad 1 y 2:

$$\begin{array}{l} V1 = \frac{Q}{A1} = 0.472 \text{ m/s} \\ \frac{V1^2}{2g} = 0.011 \text{ m} \\ V2 = \frac{Q}{A2} = 0.371 \text{ m/s} \\ \frac{V2^2}{2g} = 0.007 \text{ m} \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \mathbf{V1 > V2} \\ \mathbf{A1 < A2} \end{array}$$

5. Se calcula F y fh:

$$hf = F + K \left( \alpha1 \frac{v1^2}{2g} - \alpha2 \frac{v2^2}{2g} \right)$$

$$K_e = 0.5$$

Cálculo de F:

$$F = S_0 \times L$$

$$F = 0.080$$

**Tabla 9**

*Cálculo de caudal de riego por el método sección - pendiente*

i	S	Q (m <sup>3</sup> /s)	V1 (m/s)	V2	V1 <sup>2</sup> /2g	V2 <sup>2</sup> /2g	k <sub>e</sub>	Δhf
1	0.008000	0.003284	0.471773	0.371441	0.011344	0.007032	0.500000	0.082156
2	0.008216	0.003327	0.478088	0.376413	0.011650	0.007222	0.500000	0.082214
3	0.008221	0.003329	0.478257	0.376546	0.011658	0.007227	0.500000	0.082216
4	0.008222	0.003329	0.478262	0.376550	0.011658	0.007227	0.500000	0.082216
5	0.008222	0.003329	0.478262	0.376550	0.011658	0.007227	0.500000	0.082216

Por lo tanto, el caudal que para riego es de Q. serv. = 0.003329m<sup>3</sup>/s, equivalente a 3.329l/s.



- **Volumen de la cámara húmeda:**

El caudal máximo diario calculado tiene un valor de:

$$Q_{md} = 1.34 \text{ l/s.}$$

El caudal ofertante en época de sequía es de:

$$Q_{of.} = 4.606 \text{ l/s.}$$

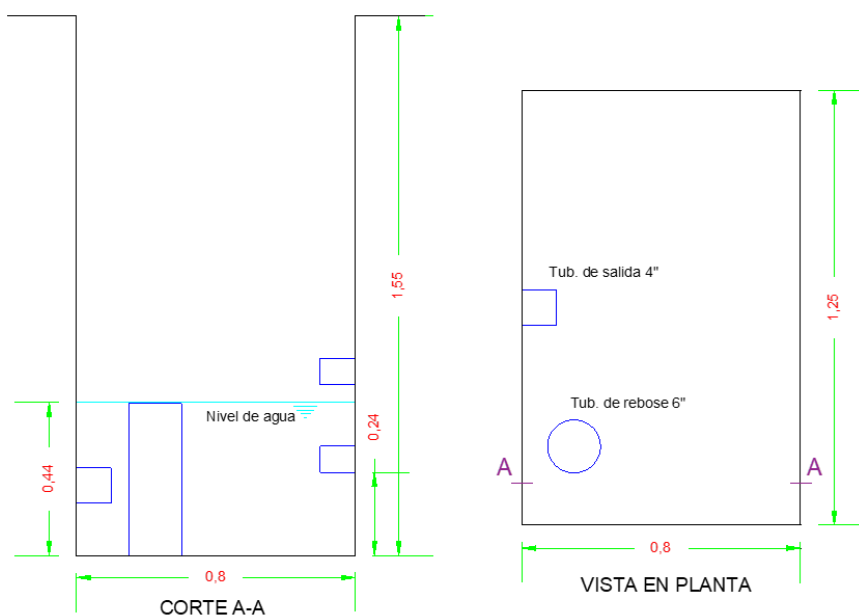
$$Q_{md} < Q_{of}$$

$$1.34 \text{ l/s} < 4.606 \text{ l/s} \dots \text{OK}$$

Las dimensiones de la cámara húmeda son:

### Figura 16

*Vista en corte y planta de la cámara húmeda*



$$V = (0.44 - 0.10 - 0.15 - 0.10) \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 1.56 \text{ m}$$

$$V = 0.112 \text{ m}^3$$

El volumen de la cámara húmeda corresponde a  $0.112 \text{ m}^3$ , descontando la altura de agua 10cm de sedimentación desde el fondo de la cámara, el diámetro de la tubería de salida de 0.10cm y la altura de agua de 15cm sobre la tubería de salida, que evita la entrada de aire.

Se procede a calcular el volumen de la cámara húmeda, para lo cual se considera el tiempo de 3 a 5 minutos.

El menor tiempo corresponde a:

$$V = Q \times t$$

$$V = 1.34 \text{ l/s} \times 180 \text{ s}$$

$$\mathbf{V = 241.2 \text{ l}}$$

Con el mayor tiempo se tiene:

$$V = Q \times t$$

$$V = 1.34 \text{ l/s} \times 300 \text{ s}$$

$$\mathbf{V = 402.0 \text{ l}}$$

El volumen de la cámara húmeda con los datos de campo, es menor al volumen calculado con el menor tiempo de retención  $112 \text{ l} < 241.2 \text{ l}$ , por lo que se sugiere que la altura de la tubería de rebose aumente su nivel a:

$$V = (H. \text{ rebose} - 0.10 - 0.15 - 0.10) \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 1.56 \text{ m}$$

$$H. \text{ rebose} = \frac{0.2412}{0.8 \times 1.56} \text{ m}$$

$$H. \text{ rebose} = 0.1933 + 0.10 + 0.15 + 0.10$$

$$H. \text{ rebose} = 0.1933 + 0.10 + 0.15 + 0.10$$

$$H. \text{ rebose} = 0.5433 \text{ m}$$

### ***B. Línea de Aducción***

- **Diseño de la línea de aducción**

Para el diseño de la línea de aducción se tomará el valor del caudal máximo horario calculado: 2.36 l/s.

Diámetro mínimo de la tubería, con  $V. \text{m}á\text{x}. = 3\text{m/s}$ :

$$D. \text{m}í\text{n}. = \sqrt{\frac{4 \times Qm\text{h} (m^3/s)}{\pi \times V. \text{m}á\text{x} (m/s)}} \quad \dots (Ec.28)$$

$$D. \text{m}í\text{n}. = \sqrt{\frac{4 \times 0.00236 (m^3/s)}{\pi \times 3(m/s)}}$$

$$\mathbf{D. \text{m}í\text{n} = 0.031656\text{m} = 1.24'' \approx 1 \ 1/2''}$$

Diámetro máximo de la tubería, con  $V. \text{m}í\text{n}. = 0.6\text{m/s}$ :

$$D. \text{m}á\text{x}. = \sqrt{\frac{4 \times Qm\text{h} (m^3/s)}{\pi \times V. \text{m}í\text{n} (m/s)}} \quad \dots (Ec.28)$$

$$D. \text{m}á\text{x}. = \sqrt{\frac{4 \times 0.00236 (m^3/s)}{\pi \times 0.6(m/s)}}$$

$$\mathbf{D. \text{m}á\text{x} = 0.070784\text{m} = 2.79'' \approx 3''}$$

El diámetro actual de la línea de aducción es de 4'', que es mayor al calculado.

Velocidad en la línea de aducción:

$$Q = V \times A$$

Reemplazando la fórmula de área y despejando, con diámetro = 4'' = 0.1016m:

$$V = \frac{4Q}{\pi \times D^2}$$

$$V = \frac{4 \times 0.00236 (m^3/s)}{\pi \times 0.1016^2}$$

$$V = 0.30 \text{ m/s}$$

De acuerdo con las velocidades que nos brinda el RNE. OS. 010, constatamos que 0.30m/s no está en el rango de velocidades establecidos por la norma (0.6m/s – 3m/s), debido a esto, puede existir sedimentación al interior de la tubería de aducción.

#### ***D. Red de distribución***

##### ***Simulación del Modelo Hidráulico en WaterGEMS.***

La red de distribución corresponde a un sistema cerrado, tuberías PVC enterradas en su totalidad.

Se realizó el modelamiento hidráulico en WaterGEMS, con los datos actuales de la red. En dónde se obtuvo las presiones en nodos:

**Tabla 10**

*Reporte de presiones estáticas obtenidas en los nodos*

<b>PUNTOS DE PRESIÓN</b>		
<b>Nodo</b>	<b>Cota terreno (m)</b>	<b>Presión (mca)</b>
N-1	2,636.98	2.72
N-2	2,621.97	15.34
N-3	2,615.73	19.06
N-4	2,616.29	18.36
N-5	2,615.96	18.68
N-6	2,616.15	18.47
N-7	2,615.28	19.33
N-8	2,613.85	20.76
N-9	2,617.11	17.51
N-10	2,615.14	19.47
N-11	2,613.77	20.84
N-12	2,615.96	18.64
N-13	2,614.72	19.88
N-14	2,616.77	17.84
N-15	2,617.69	16.92
N-16	2,616.56	18.05
N-17	2,622.86	11.76
N-18	2,618.07	16.55
N-19	2,623.12	11.50
N-20	2,615.83	18.77
N-21	2,618.49	16.12
N-22	2,615.00	19.60
N-23	2,614.39	20.21
N-24	2,621.00	13.61
N-25	2,615.58	19.01
N-26	2,615.10	19.48
N-27	2,615.18	19.40
N-28	2,614.00	20.58
N-29	2,616.00	18.48
N-30	2,616.00	18.48
N-31	2,616.00	18.45
N-32	2,616.00	18.45
N-33	2,616.00	18.44
N-34	2,614.42	20.02
N-35	2,614.85	19.59
N-36	2,615.32	19.12

Según el reporte de resultados en periodo estático en los nodos, la presión mínima es  $P.\text{mín.} = 2.72$  m.c.a y la presión máxima  $P.\text{max.} = 20.84$  m.c.a. Según la Norma OS. 050 del RNE, la presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la Red. Las presiones estáticas en los nodos cumplen con la normativa.

Para evaluar los caudales en la red de distribución se utilizó el programa WaterGEMS, el análisis que realiza el programa es en periodo estático para conocer los caudales y velocidades en la red de distribución.

Tabla 11

Reporte de resultados de caudales en la red de distribución

CALCULO HIDRAULICO DE TUBERÍA DE DISTRIBUCION									
TRAMO		LONGITUD (m)	COEFICIENTE DE H y W ©	CAUDAL (l/s)	PERDIDA DE CARGA (m)	DIAMETRO (mm) o (Pulg)	VELOCIDAD (m/s)	PRESION	
T. aguas Arriba	T. Aguas Abajo							P. Aguas Arriba	P. Aguas Abajo
N-1	N-2	793.00	150	2.36	2.36	3 pulg	0.47	2.72	15.34
N-2	N-3	846.00	150	2.36	2.52	3 pulg	0.47	15.34	19.06
N-3	N-5	90.00	150	1.71	0.15	3 pulg	0.34	19.06	18.68
N-3	N-4	91.00	150	0.59	0.14	2 pulg	0.26	19.06	18.36
N-4	N-6	87.00	150	0.26	0.03	2 pulg	0.11	18.36	18.47
N-4	N-9	96.00	150	0.28	0.04	2 pulg	0.12	18.36	17.51
N-5	N-7	46.00	150	0.98	0.03	3 pulg	0.20	18.68	19.33
N-5	N-6	91.00	150	0.22	0.02	2 pulg	0.10	18.68	18.47
N-5	N-20	47.00	150	0.41	0.04	2 pulg	0.18	18.68	18.77
N-6	N-10	48.00	150	0.17	0.01	2 pulg	0.07	18.47	19.47
N-6	N-14	89.00	150	0.15	0.01	2 pulg	0.07	18.47	17.84
N-7	N-22	46.00	150	0.62	0.01	3 pulg	0.12	19.33	19.60
N-7	N-8	63.00	150	0.03	0.00	3 pulg	0.01	19.33	20.76
N-7	N-10	92.00	150	0.20	0.00	3 pulg	0.04	19.33	19.47
N-9	N-21	74.00	150	0.14	0.01	2 pulg	0.06	17.51	16.12
N-9	N-14	83.00	150	0.10	0.01	2 pulg	0.05	17.51	17.84
N-10	N-11	62.00	150	0.03	0.00	2 pulg	0.01	19.47	20.84
N-10	N-12	85.00	150	0.24	0.00	3 pulg	0.05	19.47	18.64
N-12	N-13	64.00	150	0.02	0.00	2 pulg	0.01	18.64	19.88
N-12	N-15	76.00	150	0.11	0.00	3 pulg	0.02	18.64	16.92
N-14	N-12	52.00	150	0.04	0.00	2 pulg	0.02	17.84	18.64
N-14	N-18	76.00	150	0.15	0.00	3 pulg	0.03	17.84	16.55
N-15	N-16	66.00	150	0.00	0.00	2 pulg	0.00	16.92	18.05
N-15	N-17	66.00	150	0.03	0.00	3 pulg	0.01	16.92	11.76
N-18	N-15	54.00	150	0.06	0.00	2 pulg	0.03	16.55	16.92
N-18	N-19	94.00	150	0.06	0.00	3 pulg	0.01	16.55	11.50
N-20	N-25	95.00	150	0.19	0.02	2 pulg	0.08	18.77	19.01
N-20	N-22	45.00	150	0.11	0.00	2 pulg	0.05	18.77	19.60
N-21	N-18	80.00	150	0.05	0.00	2 pulg	0.02	16.12	16.55
N-21	N-24	132.00	150	0.06	0.00	2 pulg	0.03	16.12	13.61
N-22	N-23	63.00	150	0.02	0.00	2 pulg	0.01	19.60	20.21
N-22	N-27	93.00	150	0.58	0.02	3 pulg	0.12	19.60	19.40
N-25	N-27	44.00	150	0.16	0.01	2 pulg	0.07	19.01	19.40
N-25	N-26	92.00	150	0.00	0.00	2 pulg	0.00	19.01	19.48
N-27	N-28	60.00	150	0.05	0.00	2 pulg	0.02	19.40	20.58
N-27	N-29	93.00	150	0.50	0.10	2 pulg	0.22	19.40	18.48
N-29	N-30	59.00	150	0.02	0.00	1 pulg	0.02	18.48	18.48
N-29	N-31	81.00	150	0.29	0.03	2 pulg	0.13	18.48	18.45
N-31	N-32	57.00	150	0.02	0.00	2 pulg	0.01	18.45	18.45
N-31	N-36	88.00	150	0.08	0.00	2 pulg	0.04	18.45	19.12
N-34	N-35	77.00	150	0.00	0.00	1 pulg	0.00	20.02	19.59
N-36	N-34	81.00	150	0.00	0.00	1 pulg	0.00	19.12	20.02
N-33	N-36	56.00	150	0.02	0.00	2 pulg	0.01	18.44	19.12
<b>LONGITUD TOTAL (m)</b>		<b>4774.000</b>							

### *Calibración de la simulación*

Para la calibración del sistema se cuenta con las mediciones de presión registradas de las viviendas más cercanas a los nodos.

**Tabla 12**

*Presiones dinámicas registradas en campo*

PUNTOS DE PRESIÓN DINÁMICA					
PUNTO N°	Cota terreno (m)	Este (X)	Norte (Y)	Presión (bar)	Presión (mca)
N-1	2,636.98	815,465.65	9,233,015.97	0.25	2.55
N-2	2,621.97	816,162.06	9,233,063.41	1.30	13.26
N-3	2,615.73	816,749.02	9,233,496.85	1.50	15.30
N-4	2,616.29	816,723.63	9,233,584.50	1.50	15.30
N-5	2,615.96	816,835.07	9,233,522.03	1.50	15.30
N-6	2,616.15	816,807.52	9,233,608.44	1.50	15.30
N-7	2,615.28	816,879.43	9,233,534.10	1.60	16.32
N-8	2,613.85	816,939.74	9,233,552.26	1.70	17.34
N-9	2,617.11	816,698.02	9,233,677.20	1.40	14.28
N-10	2,615.14	816,853.95	9,233,622.06	1.60	16.32
N-11	2,613.77	816,913.91	9,233,638.59	1.70	17.34
N-12	2,615.96	816,830.56	9,233,704.14	1.50	15.30
N-13	2,614.72	816,893.16	9,233,718.99	1.60	16.32
N-14	2,616.77	816,779.83	9,233,692.93	1.40	14.28
N-15	2,617.69	816,809.20	9,233,777.33	1.30	13.26
N-16	2,616.56	816,873.05	9,233,792.27	1.40	14.28
N-17	2,622.86	816,792.56	9,233,840.90	0.80	8.16
N-18	2,618.07	816,756.56	9,233,764.80	1.30	13.26
N-19	2,623.12	816,732.04	9,233,855.05	0.80	8.16
N-20	2,615.83	816,849.05	9,233,477.33	1.50	15.30
N-21	2,618.49	816,677.94	9,233,748.17	1.20	12.24
N-22	2,615.00	816,892.13	9,233,489.46	1.60	16.32
N-23	2,614.39	816,952.37	9,233,506.96	1.60	16.32
N-24	2,621.00	816,646.68	9,233,876.02	1.00	10.20
N-25	2,615.58	816,876.97	9,233,387.05	1.50	15.30
N-26	2,615.10	816,904.45	9,233,299.00	1.60	16.32
N-27	2,615.18	816,919.41	9,233,400.39	1.60	16.32
N-28	2,614.00	816,976.83	9,233,417.52	1.70	17.34
N-29	2,616.00	816,945.44	9,233,311.57	1.50	15.30
N-30	2,616.00	817,001.95	9,233,328.50	1.50	15.30
N-31	2,616.00	816,968.50	9,233,233.79	1.50	15.30
N-32	2,616.00	817,023.20	9,233,250.98	1.50	15.30
N-33	2,616.00	817,047.65	9,233,163.35	1.50	15.30
N-34	2,614.42	817,014.44	9,233,071.94	1.60	16.32
N-35	2,614.85	817,090.24	9,233,083.76	1.60	16.32
N-36	2,615.32	816,993.16	9,233,149.59	1.50	15.30

Teniendo en cuenta que la ecuación de la energía es:

$$Z_o + P_o + \frac{V_o^2}{2g} = Z_f + P_f + \frac{V_f^2}{2g} + \Sigma hf$$

Aplicamos la ecuación entre el punto de captación y el primer nodo:

$$Z_o + \cancel{P_o} + \frac{V_o^2}{2g} = Z_f + P_f + \frac{V_f^2}{2g} + \Sigma hf$$

$$P_f = Z_o - Z_f - \Sigma hf$$

Además, la pérdida de carga equivale:

$$hf = 10.674 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.871}} L$$

Reemplazando en las fórmulas, con  $C = 150$ , las pérdidas equivalen a 0.30m y la presión es igual a 2.72 m.c.a. en el nodo 1 (equivalente a la simulación en WaterGEMS).

**Tabla 13**

*Presión en el nodo 1 con  $C = 150$*

DATOS	COTA INICIAL	COTA FINAL	Qo-f	C	Diámetro	Longitud	hf	Pn1
N-1	2640	2636.98	2.36	150	80.1	101	0.30	2.72

Para determinar el valor exacto de  $C$  en este tramo, se utilizó la función análisis de hipótesis (buscar objetivo) y se comandó que la presión en el nodo 1 sea igual a la medida en campo 2.55 m.c.a. De esta manera el coeficiente de rugosidad resulta:

**Tabla 14**

*Presión en el nodo 1 con  $C = 118$*

DATOS	COTA INICIAL	COTA FINAL	Qo-f	C	Diámetro	Longitud	hf	Pn1
N-1	2640	2636.98	2.36	<b>118</b>	80.1	101	0.47	2.55

Para que las iteraciones se ajusten se ingresó este valor en el programa WaterGEMS, en un escenario de calibración, esto permitió que la diferencia entre presiones simuladas y de campo sean mínimas.



Tabla 15

Reporte de la calibración en resultados de caudales

CALCULO HIDRAULICO - SIMULACIÓN CALIBRADA									
TRAMO		LONGITUD (m)	COEFICIENTE DE H y W ©	CAUDAL (l/s)	PERDIDA DE CARGA (m)	DIAMETRO (mm) o (Pulg)	VELOCIDAD (m/s)	PRESION	
T. aguas Arriba	T. Aguas Abajo							P. Aguas Arriba	P. Aguas Abajo
N-1	N-2	793.00	118	2.36	3.68	3 pulg	0.47	2.55	13.86
N-2	N-3	846.00	118	2.36	3.92	3 pulg	0.47	13.86	16.17
N-3	N-5	90.00	118	1.71	0.23	3 pulg	0.34	16.17	15.71
N-3	N-4	91.00	118	0.59	0.22	2 pulg	0.26	16.17	15.39
N-4	N-6	87.00	118	0.26	0.05	2 pulg	0.11	15.39	15.49
N-4	N-9	96.00	118	0.28	0.06	2 pulg	0.12	15.39	14.52
N-5	N-7	46.00	118	0.98	0.04	3 pulg	0.20	15.71	16.35
N-5	N-6	91.00	118	0.22	0.04	2 pulg	0.10	15.71	15.49
N-5	N-20	47.00	118	0.41	0.06	2 pulg	0.18	15.71	15.78
N-6	N-10	48.00	118	0.17	0.01	2 pulg	0.07	15.49	16.49
N-6	N-14	89.00	118	0.15	0.02	2 pulg	0.07	15.49	14.85
N-7	N-22	46.00	118	0.62	0.02	3 pulg	0.12	16.35	16.61
N-7	N-8	63.00	118	0.03	0.00	3 pulg	0.01	16.35	17.78
N-7	N-10	92.00	118	0.20	0.00	3 pulg	0.04	16.35	16.49
N-9	N-21	74.00	118	0.14	0.01	2 pulg	0.06	14.52	13.13
N-9	N-14	83.00	118	0.10	0.01	2 pulg	0.05	14.52	14.85
N-10	N-11	62.00	118	0.03	0.00	2 pulg	0.01	16.49	17.85
N-10	N-12	85.00	118	0.24	0.01	3 pulg	0.05	16.49	15.66
N-12	N-13	64.00	118	0.02	0.00	2 pulg	0.01	15.66	16.89
N-12	N-15	76.00	118	0.11	0.00	3 pulg	0.02	15.66	13.93
N-14	N-12	52.00	118	0.04	0.00	2 pulg	0.02	14.85	15.66
N-14	N-18	76.00	118	0.15	0.00	3 pulg	0.03	14.85	13.56
N-15	N-16	66.00	118	0.00	0.00	2 pulg	0.00	13.93	15.06
N-15	N-17	66.00	118	0.03	0.00	3 pulg	0.01	13.93	8.77
N-18	N-15	54.00	118	0.06	0.00	2 pulg	0.03	13.56	13.93
N-18	N-19	94.00	118	0.06	0.00	3 pulg	0.01	13.56	8.51
N-20	N-25	95.00	118	0.19	0.03	2 pulg	0.08	15.78	16.01
N-20	N-22	45.00	118	0.11	0.00	2 pulg	0.05	15.78	16.61
N-21	N-18	80.00	118	0.05	0.00	2 pulg	0.02	13.13	13.56
N-21	N-24	132.00	118	0.06	0.01	2 pulg	0.03	13.13	10.62
N-22	N-23	63.00	118	0.02	0.00	2 pulg	0.01	16.61	17.22
N-22	N-27	93.00	118	0.58	0.03	3 pulg	0.12	16.61	16.40
N-25	N-27	44.00	118	0.16	0.01	2 pulg	0.07	16.01	16.40
N-25	N-26	92.00	118	0.00	0.00	2 pulg	0.00	16.01	16.49
N-27	N-28	60.00	118	0.05	0.00	2 pulg	0.02	16.40	17.58
N-27	N-29	93.00	118	0.50	0.16	2 pulg	0.22	16.40	15.42
N-29	N-30	59.00	118	0.02	0.00	1 pulg	0.02	15.42	15.42
N-29	N-31	81.00	118	0.29	0.05	2 pulg	0.13	15.42	15.37
N-31	N-32	57.00	118	0.02	0.00	2 pulg	0.01	15.37	15.37
N-31	N-36	88.00	118	0.08	0.01	2 pulg	0.04	15.37	16.04
N-34	N-35	77.00	118	0.00	0.00	1 pulg	0.00	16.94	16.51
N-36	N-34	81.00	118	0.00	0.00	1 pulg	0.00	16.04	16.94
N-33	N-36	56.00	118	0.02	0.00	2 pulg	0.01	15.36	16.04
<b>LONGITUD TOTAL (m)</b>		<b>4774.000</b>							

Podemos observar que, con la calibración realizada, los datos de presión en los nodos simulados y en campo se aproximan.

**Tabla 16***Presiones de la simulación hidráulica, calibración y en campo*

<b>PRESIONES</b>			
<b>PARA COEFICIENTE DE H y W ©</b>			
<b>NORMADO</b>	<b>CALIBRADO</b>	<b>REAL</b>	<b>DIFERENCIA</b>
<b>150</b>	<b>118</b>	<b>EN CAMPO</b>	<b>P. REAL - CALIB.</b>
2.72	2.55	2.55	0.0
15.34	13.86	13.26	0.6
19.06	16.17	15.30	0.9
18.36	15.39	15.30	0.1
18.68	15.71	15.30	0.4
18.47	15.49	15.30	0.2
19.33	16.35	16.32	0.0
20.76	17.78	17.34	0.4
17.51	14.52	14.28	0.2
19.47	16.49	16.32	0.2
20.84	17.85	17.34	0.5
18.64	15.66	15.30	0.4
19.88	16.89	16.32	0.6
17.84	14.85	14.28	0.6
16.92	13.93	13.26	0.7
18.05	15.06	14.28	0.8
11.76	8.77	8.16	0.6
16.55	13.56	13.26	0.3
11.50	8.51	8.16	0.4
18.77	15.78	15.30	0.5
16.12	13.13	12.24	0.9
19.60	16.61	16.32	0.3
20.21	17.22	16.32	0.9
13.61	10.62	10.20	0.4
19.01	16.01	15.30	0.7
19.48	16.49	16.32	0.2
19.40	16.40	16.32	0.1
20.58	17.58	17.34	0.2
18.48	15.42	15.30	0.1
18.48	15.42	15.30	0.1
18.45	15.37	15.30	0.1
18.45	15.37	15.30	0.1
18.44	15.36	15.30	0.1
20.02	16.94	16.32	0.6
19.59	16.51	16.32	0.2
19.12	16.04	15.30	0.7

*Alternativa de solución en tramos de caudales con baja velocidad*

A continuación, se presentan los diámetros propuestos para la mejora de la velocidad en diversos tramos de la red. Se ajustó las tuberías a diámetros menores, para aumentar la velocidad.

**Tabla 17**

*Cálculo hidráulico con diámetros propuestos para la mejora de la velocidad en la red de agua*

CALCULO HIDRAULICO - PROPUESTA DE DIÁMETROS								
TRAMO		REALIDAD			PROPUESTA			
T. aguas Arriba	T. Aguas Abajo	DIAMETRO (Pulg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (l/s)	DIAMETRO (Pulg)	VELOCIDAD (m/s)	PRESION	
							P. Aguas Arriba	P. Aguas Abajo
N-1	N-2	3 pulg	0.47	2.36	3 pulg	0.50	2.55	13.85
N-2	N-3	3 pulg	0.47	2.36	3 pulg	0.50	13.85	16.16
N-3	N-5	3 pulg	0.34	1.39	1 1/2 pulg	0.94	16.16	12.84
N-3	N-4	2 pulg	0.26	0.9	1 1/2 pulg	0.61	16.16	14.19
N-4	N-6	2 pulg	0.11	0.43	1 pulg	0.64	14.19	12.03
N-4	N-9	2 pulg	0.12	0.42	1 pulg	0.62	14.19	10.93
N-5	N-7	3 pulg	0.20	0.47	1 pulg	0.69	12.84	12.11
N-5	N-6	2 pulg	0.10	0.21	1 pulg	0.31	12.84	12.03
N-5	N-20	2 pulg	0.18	0.62	1 pulg	0.91	12.84	10.59
N-6	N-10	2 pulg	0.07	0.29	1 pulg	0.42	12.03	12.44
N-6	N-14	2 pulg	0.07	0.19	1 pulg	0.30	12.03	10.87
N-9	N-21	3 pulg	0.12	0.22	1 pulg	0.32	10.93	10.00
N-9	N-14	3 pulg	0.01	0.17	1 pulg	0.30	10.93	10.87
N-14	N-12	3 pulg	0.04	0.11	1 pulg	0.16	10.87	11.58
N-14	N-18	2 pulg	0.06	0.12	1 pulg	0.17	10.87	9.41
N-10	N-11	2 pulg	0.05	0.03	1 pulg	0.05	12.44	13.79
N-10	N-12	2 pulg	0.01	0.05	1 pulg	0.07	12.44	11.58
N-12	N-13	3 pulg	0.05	0.02	1 pulg	0.02	11.58	12.81
N-12	N-15	2 pulg	0.01	0.07	1 pulg	0.10	11.58	10.60
N-21	N-18	3 pulg	0.02	0.03	1 pulg	0.04	10.6	10.50
N-21	N-24	2 pulg	0.02	0.06	1 pulg	0.09	10.5	10.00
N-15	N-17	2 pulg	0.00	0.03	1 pulg	0.05	10	9.78
N-18	N-15	3 pulg	0.01	0.02	1 pulg	0.03	9.78	9.41
N-18	N-19	2 pulg	0.03	0.06	1 pulg	0.09	9.78	4.30
N-7	N-22	3 pulg	0.01	0.41	1 pulg	0.61	12.11	11.26
N-7	N-8	2 pulg	0.08	0.03	1 pulg	0.05	12.11	13.53
N-7	N-10	2 pulg	0.05	0.11	1 pulg	0.16	12.11	12.44
N-20	N-25	2 pulg	0.02	0.36	1 pulg	0.60	10.59	9.10
N-20	N-22	2 pulg	0.03	0.15	1 pulg	0.22	10.59	11.26
N-22	N-27	3 pulg	0.12	0.42	1 pulg	0.61	11.26	8.81
N-25	N-27	2 pulg	0.07	0.32	1 pulg	0.48	9.1	8.81
N-27	N-28	2 pulg	0.02	0.05	1 pulg	0.07	8.81	9.96
N-27	N-29	2 pulg	0.22	0.50	1 pulg	0.73	8.81	4.81
N-29	N-30	1 pulg	0.02	0.02	1 pulg	0.02	4.81	4.81
N-29	N-31	2 pulg	0.13	0.29	1 pulg	0.43	4.81	3.79

**Tabla 18***Leyenda de rangos de velocidades*

LEYENDA	
RANGO DE VELOCIDADES	
	mayor a 0.6
	de 0.3 a 0.6
	menores a 0.3

Se observa que en las tuberías principales la velocidad aumentó, las presiones son mayores a 10 m.c.a. lo que significa que la red trabajaría mejor con esta propuesta. Sin embargo, Hay tramos de tuberías secundarias en dónde la velocidad no supera 0.3m/s, esto debido a que los caudales que reparten son mínimos. Sin embargo, hay usuarios que requieren del servicio en estas zonas; en este caso se proponen accesorios de drenaje o purga. Se recomienda utilizar válvulas de purga en las partes bajas y al final de las tuberías de distribución, como son los nodos: 17, 19, 26 y 35.

#### **4.1.5. Administración, operación y mantenimiento**

##### **A. Administración:**

Para analizar el estado de la administración del sistema de agua, se realizó un cuestionario al encargado del Área Técnica Municipal de la ciudad de José Gálvez. Se obtuvo los siguientes resultados:

- ✓ La municipalidad distrital de José Gálvez cuenta con el Área Técnica Municipal, la cual se encarga de la administración y prestación del servicio de agua potable; cuenta con ambientes, pero carecen de equipamiento necesario para la adecuada Operación y Mantenimiento del sistema.
- ✓ El personal que labora en el área es insuficiente, y se necesita personal capacitado.
- ✓ El esquema institucional necesita de cambios importantes, como lo son: planificación, personal, manejo de recursos, etc.
- ✓ El área cuenta con un Plan Operativo Anual aprobado y que se aplica en la actualidad. Sin embargo, no se cuenta con estatutos ni reglamentos para brindar el servicio.
- ✓ Cuentan con un croquis y/o planos del sistema, pero falta mejorar con la identificación de válvulas, acometidas, etc.

- ✓ La determinación de la cuota familiar no obedece a un cálculo técnico, sin embargo, fue socializado y aprobado por los usuarios. Se dispone de un registro o padrón de consumo poblacional desactualizado.
- ✓ El área se articula con los objetivos, políticas, planes, metas y políticas del sector saneamiento. También cuentan con políticas institucionalizadas con su respectivo plan de acción.
- ✓ Además, disponen de un Plan de Contingencia frente a la producción de eventos que interrumpan el servicio de agua potable.

### ***B. Operación y Mantenimiento***

La operación y mantenimiento del sistema de agua potable en la ciudad está a cargo del Área Técnica Municipal, el encargado del área es el señor Jesús Rafael Zegarra Chávez, quién designa a una persona de la comunidad para que realice la operación del sistema (operador). En el área se cuenta con el apoyo de 2 practicantes de la escuela de Ingeniería Sanitaria, quienes son parte de la operación y mantenimiento del sistema. Debido a que el sistema de agua funciona las 24 horas del día, la válvula de ingreso de agua a la línea de aducción se cierra solamente cuando hay mantenimiento de la infraestructura (semestralmente) o haya una avería en algún tramo de tubería, los designados cierran la válvula, mientras el operador del sistema da solución al problema.

El área en coordinación con los usuarios aprobó una cuota familiar de 4 soles mensuales para los gastos de operación y mantenimiento del sistema.

## **4.2. Discusión de resultados**

### **4.2.1. Captación**

La captación cuenta con más de 20 años de vida, por lo que ya cumplió su etapa de funcionamiento. Se verificó que el caudal de diseño (1.34l/s) es menor al caudal ofertado por la fuente (4.61l/s), lo que indica que existe un caudal propicio para abastecer a la población. El almacenamiento fue calculado a partir del diagrama de masas para un sistema continuo, requiriéndose un volumen de  $23m^3$ .

### **4.2.2. Línea de aducción**

La tubería de aducción es de 4" de diámetro de material PVC. Se verifica que la velocidad en esta línea es de 0.30m/s, la que no está en el rango de velocidades de 0.6m/s a 3m/s establecidos

por la norma (RNE, 2021), debido a esto puede existir sedimentación al interior de la tubería de aducción. Por lo que la línea trabajaría mejor con diámetro entre el rango de 1 ½” a 3”.

#### **4.2.3. Redes de Distribución**

La red de distribución corresponde a un sistema cerrado, tuberías PVC enterradas en su totalidad. Los diámetros de la tuberías en las redes de distribución son de 3”, 2” y 1”, las presiones según el reporte de resultados en periodo estático, corresponden a P.mín. = 2.72 m.c.a y la presión máxima P.max. = 20.84 m.c.a. Según la Norma OS. 050 del RNE, la presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la red, los valores están dentro de este rango normativo. En cuanto a las velocidades, todas tienen valores menores a 0,6m/s, que es el mínimo establecido en la normativa (RNE, 2021), por lo que se recomienda el cambio de tuberías en el nodo 3 al nodo 5 de 3” a 1 ½”, en el nodo 3 al nodo 4 de 2” a 1 ½” y los demás tramos reducir su diámetro a 1”.

En la calibración del sistema, se ajustaron los valores, con los datos de presiones obtenidas en campo, calculado así un valor de coeficiente de rugosidad  $C = 118$ , con el fin de tener resultados más reales.

De las 31 conexiones domiciliarias verificadas en campo, 9 están en mal estado, 5 de ellas son grifos de jardín en malas condiciones, en donde se observa desperdicio de agua por goteo; 4 son fugas de agua dentro de las viviendas por mala conexión de accesorios. Se recomienda monitorear estas viviendas para que puedan cambiar sus grifos y accesorios averiados, de esta manera no haya desperdicio de agua.

#### **4.2.4. Administración, operación y mantenimiento**

Los resultados señalan situaciones que requieren mejoras significativas en la gestión del servicio de agua potable en la municipalidad distrital de José Gálvez. La implementación de cambios institucionales, la mejora en la planificación y normativas, así como la actualización del equipamiento y la información técnica, son fundamentales para garantizar un servicio eficiente, equitativo y sostenible para la comunidad.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

✓ Se evaluó desde el punto de vista hidráulico y de servicio al sistema de agua potable de la ciudad. Este sistema ya cumplió su vida útil, sin embargo, aún abastece a la población. Presenta problemas de infraestructuras hidráulicas en deterioro, falta de un reservorio de almacenamiento de agua, conexiones domiciliarias en mal estado y una cuota familiar de pago por el servicio no acorde a las necesidades de operación y mantenimiento del sistema.

✓ Se describió cada componente hidráulico del sistema, desde la captación en donde se observa que la infraestructura está en deterioro, presenta problemas de muros deteriorados y sin pintura, tapas metálicas de acceso oxidadas, no existe cerco perimétrico para su protección y se observa gran cantidad de maleza en el lugar, el volumen de la cámara húmeda calculado con el menor tiempo de retención corresponde a 241.2 litros, el campo el volumen es de 112 litros, por lo que se requiere un aumento del volumen de agua en la cámara. La línea de aducción se encuentra en buen estado, identificándose también una válvula de purga y una válvula de aire. Finalmente, existen 152 usuarios beneficiarios de este sistema, en donde de las 31 viviendas inspeccionadas, se detectan 9 conexiones domiciliarias en mal estado.

✓ Se determinó los caudales de consumo, obteniendo como caudal promedio del sistema de 1.13l/s, caudal máximo horario de 2.36l/s y caudal máximo diario de 1.34 l/s. Además, los valores de los coeficientes de consumo:  $k_1 = 1.18$ ,  $k_2 = 1.77$  y  $k_3 = 2.09$ .

✓ Se evaluó hidráulicamente el sistema, empezando por la captación, en donde se observa que el caudal promedio requerido es de 1.13 l/s el cuál es menor que el caudal que oferta la fuente  $Q_{of} = 4.61$  l/s, por lo que es adecuada para abastecer las 24 horas del día a la población. La línea de aducción tiene un diámetro de 4", en los cálculos realizados se determinó un diámetro que esté dentro del rango de 1 ½ hasta 3" para su buen funcionamiento. La red de distribución presenta presiones desde 2.72 m.c.a a 20.84 m.c.a., de los 33 nodos analizados solo el Nodo 1 no cumple con la presión mínima de 10 m.c.a. establecido en la normativa. Las velocidades son menores al rango de 0.6m/s a 3m/s que establece el reglamento (RNE, 2021). Además, se calculó el coeficiente de rugosidad, dando como resultado  $C = 118$ , con los que se realizó la calibración del sistema.

✓ Se analizó la administración, operación y mantenimiento del sistema, dando como resultado que la Municipalidad Distrital de José Gálvez cuenta con el Área Técnica Municipal, tiene ambientes, pero carecen de equipamiento necesario para la adecuada operación y mantenimiento, tienen en el área personal insuficiente e incapacitado en el área de trabajo, cuentan con un croquis y/o planos del sistema por mejorar y la determinación de la cuota familiar no obedece a un cálculo técnico.



## 5.2. RECOMENDACIONES

✓ Se recomienda al Área Técnica Municipal, llevar a cabo un proyecto de rehabilitación del sistema de agua potable “La Pacchana”, debido a que el sistema ha superado su vida útil.

✓ En cuanto a la captación, se debe implementar un cerco perimétrico, nuevas tapas metálicas para acceso a la operación y mantenimiento, cambio de válvula y demás accesorios y considerar una canastilla para la tubería de salida. Además, una proyección de la tubería de rebose a 2.28m, para que se almacene mayor volumen de agua en la cámara húmeda.

✓ La línea de aducción requiere de un cambio de tuberías, ya que ha superado su vida útil, cambio de válvulas de aire y purga, además de realizarle mantenimiento periódico.

✓ Los cálculos en las redes de distribución sugieren un nuevo diseño, ya que las velocidades son menores a lo establecido por el reglamento. Por lo que se plantea cambio de diámetro de tubería del primer tramo (nodo 3 al nodo 5) de 3” a 1 ½” y los demás tramos de 2” reducción a 1”, para que las velocidades de agua aumenten. Para los tramos que aún no cumplen con la velocidad mínima, es necesario instalar válvulas de purga, como son los nodos: 17, 19, 26 y 35. Con este cambio, las presiones se mantienen cercanas y por encima de los 10 m.c.a. como sugiere la normativa.

✓ Es necesario la construcción de un reservorio de almacenamiento, para garantizar el mantenimiento del sistema y un buen funcionamiento hidráulico.

✓ En cuanto a la administración, operación y mantenimiento del sistema se recomienda solicitar personal capacitado para una mejor prestación del servicio. Además, es necesario hacer un cálculo técnico de la cuota familiar para cubrir gastos que requiere el sistema para su buen funcionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografía

- Alcántara Boñón G., (2011). *Cobertura vegetal y uso actual Departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca.
- Anzola Gutiérrez, G. (2013). *Análisis de la gestión del recurso humano por competencias y su incidencia en el desempeño laboral del personal administrativo y de servicios del Instituto Superior Pedagógico*. Universidad Politécnica Estatal del Carchi Tulcán.
- AWWA. (2013). Committee Report: *Defining model calibration*. Journal of American Water Works Association.
- CARE, y AVINA. (2012). *Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, módulo 5. Fortalecimiento de capacidades de Organizaciones Comunitarias Prestadoras de Servicios de Agua y Saneamiento (OCSAS) en América Latina*. CARE Internacional. Quito: Fundación Avina.
- Davis, M. L. y Cornwell, D. A. (2013). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. McGraw-Hill.
- Muñiz, L. (2007). *Cómo implementar un sistema de control de gestión en la práctica* (2da ed.). Ediciones Gestión 2000. 468p.
- Rodríguez, F. (2012). *Diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Saldírraga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías*. AlfaOmega.
- Shamir U., Howard C., (1977). Engineering analysis of water distribution systems. Journal of American Water Works Association. AWWA, Vol. 69-9, 510-514.

## Linkografía

- Agüero, Pittman R. (2004). *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales. Organización Panamericana de la Salud. CEPIS/OPS. Lima.*  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf)
- Alayo Ruiz, M. W. y Espinoza Orosco, J. S. (2016). *Simulación hidráulica de la línea de conducción y red de distribución de agua potable aplicando el software Watercad en la localidad de Laredo* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antero Orrego]. Archivo digital, <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4456>
- Albarrán Lidman (2019). *Evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la localidad de Shirac, San Marcos – Cajamarca. Propuesta de mejora* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3115/TESISI%20LIDMAN%20ALBARR%2081N%20TIRADO.pdf?sequence=1>
- Alvarado Aldana, J. y Marrache Echaiz, I. (2020). Agua y Saneamiento en el Perú: Estado, retos y reflexiones. *Revista de Derecho Administrativo* (19), 383-410.  
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/24314/23121>
- Angulo Angulo, K. (2019). *Evaluación de parámetros de control obligatorio en sistemas de agua potable de la zona urbana y rural del distrito de San Juan - Cajamarca 2018.* [Tesis de maestría, Universidad Privada Anteor Orrego]. Archivo digital, <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5087>
- Bardales Valdez, Y. (2022). *Evaluación del sistema de agua potable de la localidad de Jesús-Cajamarca* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4699>
- Briceño Jhorden y Infantes Daniel (2019). *Influencia del coeficiente de rugosidad en la pérdida de presión de la red de distribución de agua potable en el caserío de Sanjapampa-*

- Huamachuco* [Tesis de titulación, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7103>
- Carhuavilca Bonett, D. R. (2022). *Instituto Nacional de Estadística e Informática. Acceso a los servicios básicos en el Perú, 2021*. [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1863/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1863/libro.pdf)
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN]. (2023, 12 de enero). *Perú: alto riesgo de vulnerabilidad debido a crisis del agua*. <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/noticias/690049-peru-alto-riesgo-de-vulnerabilidad-debido-a-crisis-del-agua>
- Cieza Silva, J. M. (2021). *Evaluación de los sistemas de agua potable de las localidades que conforman el Centro Poblado Chilimpampa Baja – Cajamarca, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital, <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4137/TESIS%20-%20CIEZA%20SILVA%20JOS%C3%89%20MIGUEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2022). *Estimaciones y proyecciones de población a nivel nacional, revisión 2022 [Conjunto de datos]*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf)
- Concha Huánuco, J. y Guillén Lujan, J. P. (2014). *Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable (CASO: Urbanización Valle Esmeralda, Distrito Pueblo Nuevo, Provincia y Departamento de Ica)* [Tesis de pregrado, Universidad San Martín de Porres]. Archivo digital, <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/1175>
- Cualla López, R A. (2003). *Elemento de diseño para acueductos y alcantarillados (2da Ed)*. Bogotá D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://biblioteca.ecci.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=15412>

- Delgado Paloma, J. (2022). *Evaluación y modelación de la calidad de agua en la red de distribución de agua potable del municipio del Castillo - departamento del Meta*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/47352/2022juandelgado.pdf?sequence=6>
- Flores Franco, R. O. (2014). Análisis del problema del agua potable y saneamiento. *Revista de Investigación Altoandina*, 16(1), 2-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8054489>
- Guevara Gil, A., y Nuñovero Cisneros, L. (2018). Del dicho al hecho hay mucho trecho: Sobre la gestión integrada del agua en el Perú. *Derecho y Sociedad*, (51), 59-69. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/20858>
- Huaranga Huamani, P.G. (2015). *Evaluación de la respuesta sísmica no lineal de reservorio elevados tipo Intze* [Tesis de posgrado, Universidad Católica del Perú]. Archivo digital, [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6821/HUARINGA\\_PAMELA\\_EVALUACION\\_RESPUESTA\\_SISMICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6821/HUARINGA_PAMELA_EVALUACION_RESPUESTA_SISMICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jiménez Terán, J. (2013). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Veracruz. <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- Ligardo Moreno, A. E. (2019). *Diagnóstico planta de tratamiento de agua potable, desde su punto de captación hasta la red de distribución, en el municipio del Castillo, departamento del Meta*. [Tesis para título. Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/bitstreams/4246c498-d5d8-4af9-95f8-33075e2f6639/download>
- Llanos Liendo, D. (2021). *Determinación de los coeficientes reales de variación de consumo diario (k1) y horario (k2) para mejorar futuros diseños de obras de saneamiento del sub sector 24 de la ciudad de Tacna* [Tesis de titulación, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional. <https://repository.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1865?show=full>

- Ministerio de Salud. (2010, 26 setiembre). *Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumos Humano*. Diario Oficial El Peruano. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- Novak, P., Nalluri, C., y Moffat, A. I.B. (2008). *Estructuras hidráulicas* (S. Granados, 2da ed.). Bogotá, Editor Mc Graw Hill. 593p. <https://es.scribd.com/document/415962507/11-Novak-Estructuras-hidraulicas-pdf>
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2005). *Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable*. Lima. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005c%20Reservorios%20elevados.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005c%20Reservorios%20elevados.pdf)
- Palli Mercado, O. (2022). *Evaluación de la eficiencia hidráulica del servicio de agua potable en la comunidad Moquegache Central, distrito de Lampa, Puno* [Tesis de pregrado, Pontífica Universidad Católica del Perú]. Archivo digital, <https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18315>
- Pastor Paredes, O. (2014). *Evaluación de la satisfacción de los servicios de agua y saneamiento urbano en el Perú: de la imposición de la oferta a escuchar a la demanda* [Tesis de maestría, Pontífica Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5470/PASTOR\\_PAREDES\\_OSCAR\\_EVALUACION\\_SERVICIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5470/PASTOR_PAREDES_OSCAR_EVALUACION_SERVICIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ramos Ramon, R. (2021). *Nivel de sostenibilidad del sistema de agua potable en la localidad de Huaranhuay, distrito de Salcabamba – Tayacaja – Huancavelica*. [Tesis de titulación, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2810?locale-attribute=en>
- Rincón Lozano, W., y Córdova Mesa, W. (2017). *Determinación de los factores de mayoración para el consumo de agua potable en el Municipio de Sibaté con respecto a los definidos en la Resolución Número 0330 del 8 de junio de 2017* [Tesis de titulación, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/bd50c980-a575-4bb8-8b32-802507e2af41/content>

- Rodríguez Ruiz, P. (2001). *Abastecimiento de Agua*. Juárez, México: Instituto Tecnológico de Oaxaca. Dirección General de Institutos Tecnológicos. [https://www.academia.edu/34846532/ABASTECIMIENTO\\_DE\\_AGUA\\_INSTITUTO\\_TECNOL% C3% 93GICO\\_DE\\_OAXACA](https://www.academia.edu/34846532/ABASTECIMIENTO_DE_AGUA_INSTITUTO_TECNOL%C3%93GICO_DE_OAXACA)
- Silva W. (2024). Práctica N° 13: método sección - pendiente aforo caudal. Scribd. <https://es.scribd.com/document/669097596/PRACTICA-N-13-METODO-SECCION-PENDIENTE-AFORO-CAUDAL>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2012). *Las EPS y su desarrollo 2012. Gerencia de Supervisión y Fiscalización*. Lima. [http://www.lampadia.com/archivos/informe\\_indicadores\\_2012-2.pdf](http://www.lampadia.com/archivos/informe_indicadores_2012-2.pdf)
- Urgilés Mendieta, E. P. (2019). *Guía de diseño con criterios de operación y mantenimiento para captaciones, conducciones y redes de distribución de agua potable, de la empresa ETAPA EP* [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8921/1/14569.pdf>
- Valenzuela Peña, M., y Orrillo Cruz, G. (2019). *Modelación Hidráulica de la red de distribución de agua potable en la localidad de Paucartambo - Cusco*. [Tesis de titulación. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Archivo digital, <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/628079>
- Vásquez Soto, M. (2018). *Índice de sostenibilidad de los sistemas de agua potable en el distrito de Sucre, provincia de Celendín - Cajamarca, 2018*. [Tesis de titulación. Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital, <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3582>
- Vera Pereyra, D. M. (2018). *Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el Distrito de Chupaca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Archivo digital, <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5690>

Vicente López, L. (2019). *Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable en el centro poblado de Santa María - 2019*. [Tesis de titulación. Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional, <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/21218>

Villegas, M. C. (25 de marzo de 2022). *Foco Económico. El acceso a agua y saneamiento en el Perú*. <https://dev.focoeconomico.org/2022/03/25/el-acceso-a-agua-y-saneamiento-en-el-peru/>



## Anexo 1: Cuestionario para determinar la gestión administrativa

GESTIÓN ADMINISTRATIVA S.A.P. CIUDAD DE JOSÉ GÁLVEZ	
Código de cuestionario:	_____
Nombre del informante:	_____
<b>CUESTIONARIO:</b>	
1. ¿Existe la unidad, área o junta dedicada a la prestación del servicio de agua potable?	
<input type="checkbox"/> Sin institucionalización y sin trámites de formalización	
<input type="checkbox"/> En vías de formalización/ institucionalización	
<input type="checkbox"/> Institucionalizada y con personería jurídica	
2. ¿Se cuentan con instalaciones y equipamiento instalados para el funcionamiento?	
<input type="checkbox"/> No tienen la infraestructura ni el equipamiento mínimo instalados	
<input type="checkbox"/> Cuentan con ambientes pero carecen de equipamiento	
<input type="checkbox"/> Cuentan con instalaciones y equipamiento necesarios	
3. ¿El número de personal asignado es el adecuado?	
<input type="checkbox"/> No se tiene personal	
<input type="checkbox"/> Se requiere de más personal	
<input type="checkbox"/> Se cuenta con personal suficiente	
4. ¿El personal ha sido capacitado previamente?	
<input type="checkbox"/> Menos del 20%	
<input type="checkbox"/> ≥ 20% y < 40%	
<input type="checkbox"/> ≥ 40%	
5. ¿Consideran que el esquema institucional es funcional y coadyuva al logro de sus objetivos y metas?	
<input type="checkbox"/> No es funcional	
<input type="checkbox"/> Deben hacerse cambios importantes , planificación, personal, manejo de recursos, etc.	
<input type="checkbox"/> El esquema institucional asegura el cumplimiento de los objetivos y metas	
6. La entidad ha formulado su POA que le permite brindar el servicio	
<input type="checkbox"/> No existe	
<input type="checkbox"/> Existe pero no esta aprobado	
<input type="checkbox"/> Está aprobado y se aplica	
7. ¿Se tiene implementados estatutos y reglamentos?	
<input type="checkbox"/> No se tiene	
<input type="checkbox"/> Están en proceso de implementación	
<input type="checkbox"/> Si se tienen y se implementan	
8. Se dispone de un croquis y/o plano de sistema: redes, válvulas, acometidas, etc.	
<input type="checkbox"/> No se posee croquis ni planos	
<input type="checkbox"/> Croquis sin criterio técnico ni aval de un profesional	
<input type="checkbox"/> Tiene croquis y plano elaborados por un profesional que lo avala	
9. La determinación de la cuota familiar obedece a un cálculo técnico, socializado y aprobado por los usuarios	
<input type="checkbox"/> Monto definido sin criterio técnico ni aprobado por los usuarios	
<input type="checkbox"/> Monto impuesto por la Entidad sin criterio técnico, con participación de los usuarios	
<input type="checkbox"/> Si	
10. Se dispone de registro/ padron del consumo poblacional	
<input type="checkbox"/> No se tiene registro	
<input type="checkbox"/> Se dispone de un registro, pero esta desactualizado	
<input type="checkbox"/> Se tiene un registro de consumo y está actualizado al mes	
11. ¿La entidad se articula con las políticas, planes, objetivos y metas del sector?	
<input type="checkbox"/> No articula su accionar con el sector	
<input type="checkbox"/> Establecen algunas coordinaciones con entidades del sector pero no se evidencian resultados	
<input type="checkbox"/> La entidad se alinea con los objetivos, políticas, planes, metas y políticas del sector saneamiento	
12. ¿Existen políticas públicas institucionalizadas?	
<input type="checkbox"/> No existen políticas	
<input type="checkbox"/> Existen al menos dos políticas, pero sin institucionalizar	
<input type="checkbox"/> Más de dos políticas institucionalizadas y con su respectivo plan de acción.	
13. ¿La Entidad dispone de un plan de contingencia frente a la producción de eventos que interrumpan el servicio de agua potable?	
<input type="checkbox"/> No dispone de instrumentos	
<input type="checkbox"/> Esta en proceso de formulación	
<input type="checkbox"/> Tiene un plan de contingencia y las estrategias de implementación	

Nota: Adaptado de *Evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la localidad de Shirac, San Marcos – Cajamarca. Propuesta de mejora*. Fuente: Albarrán (2019)

Anexo 2: Plano base del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez



Anexo 3: Planos de las redes existentes del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez





Anexo 4: Planos del modelamiento hidráulico de las redes del sistema de agua potable de la ciudad de José Gálvez







## Anexo 5: Solicitud de facilidades e información



Anexo 6: Constancia de veracidad de información.



## PANEL FOTOGRÁFICO

### Fotografía 1

*Levantamiento topográfico del área en estudio*



### Fotografía 2

*Visita a la captación La Pacchana*

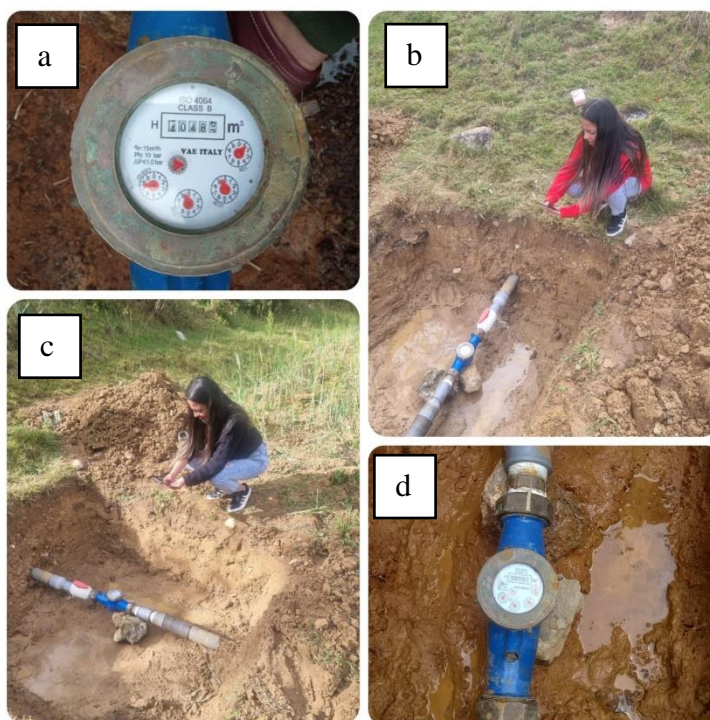


**Fotografía 3**

*Manantial de ladera La Pacchana*

**Fotografía 4**

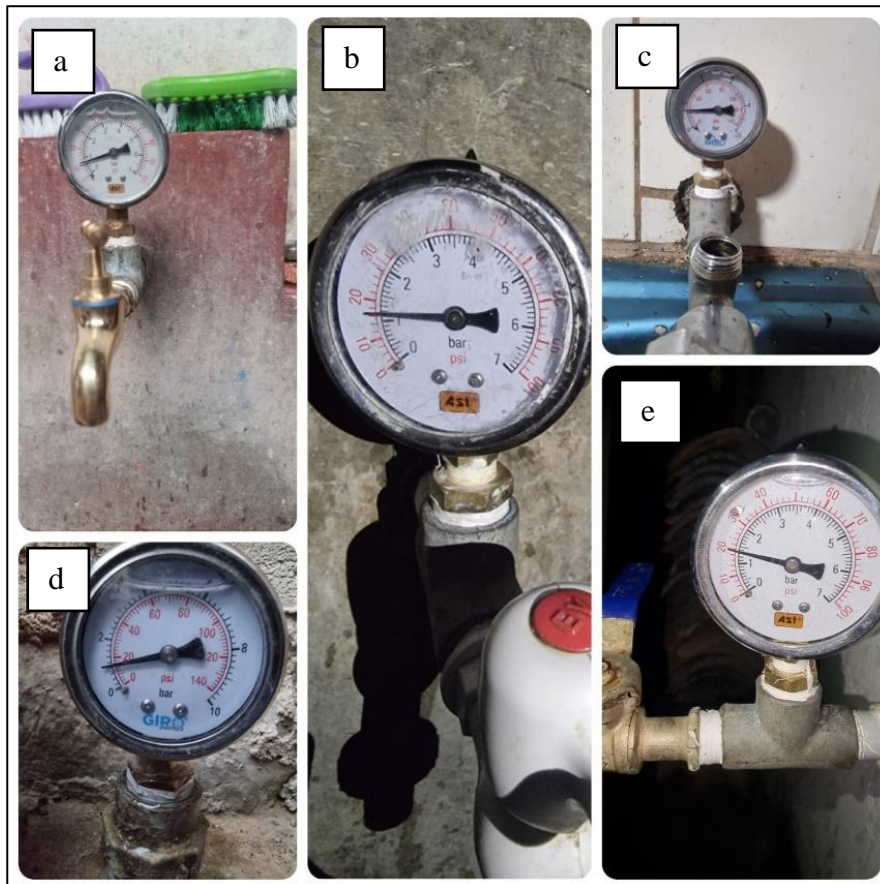
*Medición de caudales de consumo con macromedidor de agua*





**Fotografía 5**

*Manómetros instalados en los domicilios*





**Fotografía 6**

*Medición en campo para cálculo de caudal – sección 1*

**Fotografía 7**

*Medición en campo para cálculo de caudal - sección 2*

