

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA  
DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA COMUNA CHILIBULO  
MARCOPAMBA LA RAYA**

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR  
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**EDISON OSWALDO CAJAMARCA ANDRANGO**

**DIRECTOR: ING. EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES, MSC**

**DMQ, febrero 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Edison Oswaldo Cajamarca Andrango declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**Edison Oswaldo Cajamarca Andrango**

**edison.cajamarca@epn.edu.ec**

**edisonandrango@outlook.es**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Edison Oswaldo Cajamarca Andrango, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Eduardo Mauricio Vasquez Falcones**

**DIRECTOR**

**eduardo.vasquez@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Edison Oswaldo Cajamarca Andrango

## **DEDICATORIA**

Este presente proyecto principalmente se lo dedico con mucho amor a mis padres María y Oswaldo, que gracias a ellos he logrado salir adelante, a pesar de las adversidades que se presentaban en el camino siempre dieron todo su esfuerzo para brindarme su apoyo. Siempre me ensaaron buenos valores, me dieron sus consejos, su amor y su confianza, los cuales me sirvieron para crecer como persona y me ayudaron en mi vida estudiantil.

A mi tía Olga, a mi hermana Verónica y a mi sobrino Mateo, por siempre apoyarme con sus palabras de ánimo y por siempre confiar en mis capacidades y darme todo su amor.

A mi novia Josselyn, quien gracias a su apoyo en los momentos que tropecé supo brindarme su amor, su confianza, sus palabras de aliento para poder continuar con mi vida y hacerme valiente.

A toda mi familia que siempre confió en mí y quienes siempre me apoyaron de alguna u otra manera y jamás me negaron su apoyo para poder continuar en mi vida estudiantil.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecido siempre con Dios por darme la vida, la salud, la sabiduría y siempre mostrarme su amor y darme fuerzas en todo momento para poder enfrentar la vida con valentía y ser fuerte en las adversidades.

Agradezco a mi madre por darme la vida y siempre estar a mi lado, por su sacrificio para no faltarme nada. No existen palabras para agradecer a mi madre, por cada cosa que hizo y sigue haciendo por mí. Gracias Madre por existir y ser para mí la mejor madre del mundo.

A mi padre, por su amor, por siempre brindarme su comprensión y jamás dudar de mi inteligencia y capacidades.

A mi tía, Olga, por siempre estar conmigo en los momentos que más lo necesitaba y apoyarme con un amor de madre.

A mis abuelitos Rafael y María, que a pesar que ya no están conmigo, siempre me supieron darme todos sus consejos con mucho amor, me enseñaron buenos valores y me dejaron enseñanzas que me ayudaron a ser la persona que soy ahora.

A mi novia Josselyn, por llegar a cambiar mi vida y hacer de ella la mejor, por siempre entenderme, tenerme paciencia y brindarme su amor en todo momento.

A mi tutor, Ing. Eduardo Vásquez por compartir sus conocimientos con paciencia, tolerancia y criterio en mi vida universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
RESUMEN.....	XII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos .....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico .....	2
1.4.1 Sistema de Abastecimiento de agua.....	2
1.4.2 Captación .....	3
1.4.3 Líneas de conducción.....	4
1.4.4 Reservorio o tanque de almacenamiento.....	4
1.4.5 Línea de distribución.....	4
1.4.6 Cantidad de agua .....	4
1.4.7 Factores de diseño .....	5
1.4.8 Materiales.....	5
1.4.9 Accesorios.....	6
1.4.10 Simulación hidráulica de sistemas de abastecimiento. ....	7
1.4.11 Requerimiento de agua de los cultivos y de riego.....	8
2 METODOLOGÍA .....	8
2.1 Levantamiento de información .....	8
2.1.1 Visitas técnicas.....	9
2.1.2 Entrevistas.....	9
2.1.3 Levantamiento de puntos georreferenciados .....	9
2.1.4 Aforo de caudales.....	9

2.1.5	Análisis de caudal de diseño .....	10
2.2	Evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento.....	17
2.2.1	Procesamiento de datos .....	17
2.2.2	Trazado de redes de la conducción y distribución .....	17
2.2.3	Trazado del perfil de la conducción .....	18
2.2.4	Simulación Hidráulica en Software Epanet .....	18
2.2.5	Evaluación del tanque de distribución principal.....	19
2.3	Propuestas de mejora para el sistema de abastecimiento de agua de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya .....	21
2.4	Memoria técnica para mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento ....	21
3	RESULTADOS.....	21
3.1	Levantamiento de información .....	21
3.1.1	Características y ubicación del sistema de abastecimiento.....	21
3.1.2	Cálculo del Caudal de la fuente .....	23
3.1.3	Evapotranspiración de los cultivos (ETo) y precipitación efectiva. ....	23
3.1.4	Requerimiento de agua para cultivo (RAC).....	25
3.1.5	Caudal de diseño.....	26
3.2	Simulación hidráulica en Software Epanet .....	27
3.2.1	Evaluación de la presión en la conducción .....	28
3.2.2	Evaluación de caudal en la conducción .....	28
3.2.3	Evaluación de velocidades en la conducción .....	29
3.2.4	Evaluación de presión en la distribución .....	29
3.2.5	Evaluación de las velocidades en la distribución .....	31
3.2.6	Evaluación del tanque de distribución principal.....	31
3.3	Propuestas para mejor el sistema de abastecimiento .....	32
3.3.1	Propuesta de mejora en la conducción .....	32
3.3.2	Propuesta de mejora en la distribución .....	33
3.3.3	Propuesta de mejora en el tanque de distribución .....	36
3.3.4	Operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento.....	36

4	CONCLUSIONES .....	37
5	Recomendaciones .....	38
6	Referencias.....	39
7	ANEXOS.....	43
7.1	ANEXO I. TURNITIN.....	43
7.2	ANEXO II. TABLAS.....	48
7.3	ANEXO III. PLANOS.....	55
7.4	ANEXO IV. MEMORIA TÉCNICA.....	57



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TEMPERATURA AMBIENTAL MENSUAL DURANTE LOS AÑOS 1975 AL 2014 .....	12
TABLA 2. PRECIPITACIÓN MENSUAL DURANTE LOS AÑOS 1975 AL 2014.....	12
TABLA 3. VELOCIDAD DEL VIENTO MENSUAL DURANTE LOS AÑOS 1975 AL 2014 .....	13
TABLA 4. HUMEDAD MENSUAL DURANTE LOS AÑOS 1975 AL 2014 .....	14
TABLA 5. COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc).....	15
TABLA 6. ETAPAS DE CRECIMIENTO, MES DE SIEMBRA Y ALTURA DE CULTIVO .....	15
TABLA 7. PROFUNDIDAD RADICULAR, FACTOR DE AGOTAMIENTO Y FACTOR DE RESPUESTA.....	16
TABLA 8. CAUDAL DE LA FUENTE.....	23
TABLA 9. CLIMA, RADIACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN MENSUAL DURANTE LOS AÑOS 1975 AL 2014 .....	23
TABLA 10. PRECIPITACIÓN EFECTIVA MENSUAL DURANTE LOS AÑOS DE 1975 HASTA 2014.....	25
TABLA 11. NECESIDAD DE RIEGO MENSUAL POR CULTIVO.....	25
TABLA 12. CONSUMO DE AGUA .....	27
TABLA 13. CAUDAL DE DISEÑO .....	27
TABLA 14. VOLUMEN DEL TANQUE DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL .....	31
TABLA 15. VOLUMEN DEL TANQUE MEDIANTE LA CURVA INTEGRAL DE CONSUMO DIARIO.....	32
TABLA 16. PROPUESTAS DE CAMBIOS DIÁMETROS EN TUBERÍAS. ....	33
TABLA 17. UBICACIÓN Y VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO 2 .....	36
TABLA 18. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE LA CONDUCCIÓN (PRESIONES). ....	48
TABLA 19. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE CONDUCCIÓN (CAUDAL).....	48
TABLA 20. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE CONDUCCIÓN (LONGITUD, DIÁMETRO, RUGOSIDAD, Y VELOCIDAD). ....	49
TABLA 21. SIMULACIÓN ESTÁTICA DEL SISTEMA ACTUAL DE DISTRIBUCIÓN (PRESIONES). ....	49
TABLA 22. SIMULACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA ACTUAL DE DISTRIBUCIÓN (PRESIÓN) .....	50
TABLA 23. SIMULACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA ACTUAL DE LA DISTRIBUCIÓN (LONGITUD, DIÁMETRO, RUGOSIDAD, Y VELOCIDAD). ....	50
TABLA 24. SIMULACIÓN DE PROPUESTA DE REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN (PRESIÓN). ....	51
TABLA 25. SIMULACIÓN DE PROPUESTA DE REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN (LONGITUD, DIÁMETRO, RUGOSIDAD, Y VELOCIDAD .....	52
TABLA 26. SIMULACIÓN DINÁMICA DE LA PROPUESTA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (PRESIÓN) .....	52
TABLA 27. SIMULACIÓN DINÁMICA DE LA PROPUESTA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (LONGITUD, DIÁMETRO, RUGOSIDAD, Y VELOCIDAD). ....	53

TABLA 28. SIMULACIÓN ESTÁTICA DE PROPUESTA DE REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (PRESIÓN).....	53
TABLA 29. MÉTODO DE LA CURVA INTEGRAL DE CONSUMO .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CUERVA DE DISTRIBUCIÓN TÍPICA DE CONSUMO .....	20
FIGURA 2. CURVA INTEGRAL DE CONSUMO ACUMULADO.....	20
FIGURA 3. ESQUEMA DE LA CONDUCCIÓN.....	22
FIGURA 4. ESQUEMA DE LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN .....	22
FIGURA 5. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE LA CONDUCCIÓN (PRESIONES).....	28
FIGURA 6. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE CONDUCCIÓN (CAUDAL). .....	28
FIGURA 7. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE CONDUCCIÓN (VELOCIDADES).....	29
FIGURA 8.SIMULACIÓN ESTÁTICA DEL SISTEMA ACTUAL DE DISTRIBUCIÓN (PRESIONES). .....	30
FIGURA 9. SIMULACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA ACTUAL DE DISTRIBUCIÓN (PRESIÓN) .....	30
FIGURA 10.SIMULACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA ACTUAL DE LA DISTRIBUCIÓN (VELOCIDADES) .....	31
FIGURA 11. SIMULACIÓN DE PROPUESTA DE REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN (PRESIÓN) .....	32
FIGURA 12.SIMULACIÓN DE PROPUESTA DE REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN (VELOCIDADES).....	33
FIGURA 13.SIMULACIÓN DINÁMICA DE LA PROPUESTA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (PRESIÓN) .....	34
FIGURA 14. SIMULACIÓN DINÁMICA DE LA PROPUESTA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (VELOCIDADES).....	35
FIGURA 15. SIMULACIÓN ESTÁTICA DE PROPUESTA DE REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (PRESIÓN) .....	35

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. CAUDAL VOLUMÉTRICO [23].....	10
ECUACIÓN 2. CAUDAL PROMEDIO [28].....	17
ECUACIÓN 3. PÉRDIDA DE CARGA DE DARCY – WEISBACH .....	18
ECUACIÓN 4. VOLUMEN DE UN TANQUE RECTANGULAR [29] .....	19
ECUACIÓN 5. VOLUMEN DE UN TANQUE RECTANGULAR-MÉTODO DE LA CURVA INTEGRAL DE CONSUMO .....	20

## RESUMEN

En el presente proyecto de integración curricular se realizó la evaluación hidráulica del sistema actual de abastecimiento de agua de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya. Se realizó un levantamiento de información con base a 4 visitas técnicas, entrevistas a dirigentes de la directiva de la comuna con el fin de conseguir información de población actual, tipos de consumo de agua y áreas de cultivos. Además, en estas visitas se realizaron levantamientos de puntos georreferenciados con ayuda de un GPS y aforo de caudales con métodos volumétricos y de ultrasonido para determinar los caudales en el sistema de abastecimiento.

Mediante un análisis de dotación de agua para uso agrícola, doméstico y público se definió el caudal de diseño. Dentro de la dotación para uso agrícola se necesitó de datos meteorológicos de la estación más cercana a la zona, también el uso del software Crowat 8.0.

Se realizaron dibujos de las líneas de conducción y distribución, perfil de la conducción utilizando datos del GPS y softwares como MapSource, Excel, Epanet, Block de notas y Civil 3D. Con esto se llevó a cabo la evaluación hidráulica actual del sistema de abastecimiento en Epanet, donde se observó que en la conducción presenta presiones negativas y en la distribución presiones negativas y velocidades bajas.

De acuerdo a los resultados de las evaluaciones se propuso mejoras como: cambios de diámetros en tuberías, elevación del tanque de captación, eliminación de tanques rompe presión. Además de esto se realizó una memoria técnica que contiene la metodología que se utilizó, las evaluaciones hidráulicas y las propuestas de mejoras, esta memoria será entregada a la comuna.

**PALABRAS CLAVE:** Evaluación hidráulica, abastecimiento, Epanet, presiones, velocidades.

## **ABSTRACT**

In this curricular integration project, the hydraulic evaluation of the current water supply system of the Chilibulo Marcopamba la Raya commune was carried out. An information survey was carried out based on 4 technical visits, interviews with leaders of the commune board in order to obtain information on the current population, types of water consumption and crop areas. In addition, during these visits surveys of georeferenced points were carried out with the help of a GPS and flow gauging with volumetric and ultrasound methods to determine the flows in the supply system.

Through an analysis of water supply for agricultural, domestic and public use, the design flow was defined. Within the provision for agricultural use, meteorological data was needed from the station closest to the area, as well as from the Crowat 8.0 software.

Drawings of the driving and distribution lines, driving profile were made using GPS data and software such as MapSource, Excel, Epcad, Notepad and Civil 3D. With this, the current hydraulic evaluation of the supply system in Epanet was carried out, where it was discovered that in the conduction it presents negative pressures and, in the distribution, negative pressures and low speeds.

According to the results of the evaluations, the following improvements were made: changes in pipe diameters, elevation of the catchment tank, elimination of pressure break tanks. In addition to this, a technical memory was made that contains the methodology that was taken, the hydraulic evaluations and the proposals for improvements, this memory will be delivered to the commune.

**KEYWORDS:** Hydraulic evaluation, supply, Epanet, pressures, speeds

# **1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

El agua se considera un recurso patrimonial y de acceso público, no puede ser privatizada, es imprescindible, constituye un elemento de vital importancia tanto en la naturaleza como para la vida de los seres humanos, menciona el artículo 318 de la Constituciones de la Republica del Ecuador del 2008 [1].

Por lo tanto, el uso y consumo de agua a nivel nacional, no solo posee un impacto a nivel ambiental sino también a nivel social, dando origen a programas que ayudan a sectores rurales y marginados, con la finalidad de presidir de agua con buena calidad y cantidad. Por lo cual, una de las primeras intervenciones que realizó el estado, fue la Misión Andina del Ecuador, la cual tenía como objetivo apoyar a las comunidades indígenas y sectores rurales con obras que ayuden a gestionar agua de consumo humano y saneamiento. Además, de colaborar en temas de agropecuaria, canales de riego, construcción de proyectos de dotación y abastecimiento de agua [2].

Por esta razón, para conocer si el caudal de agua captado por la Comuna de Chilibulo Marcopamba la Raya, es suficiente para cubrir su demanda de uso agrícola, doméstico y público, se pretende efectuar un levantamiento de información del sistema actual de captación y de distribución, así como de los hábitos de consumo en la comunidad y el requerimiento de agua para los cultivos más populares.

La comunidad no ha logrado hacer uso eficiente, del caudal concesionado debido a la falta de estudios técnicos de un sistema de riego en Chilibulo, optando por realizar mingas comunitarias y uso de conocimiento empírico para la creación de su actual red de agua. Por consiguiente, el presente proyecto tiene la finalidad de entregar información sobre el estado actual, del sistema de captación y distribución, con el fin de evaluar alternativas de mejoras para que las estructuras hidráulicas cumplan con la normativa en: cantidad y vida útil.

## **1.1 Objetivo general**

Desarrollar una propuesta de mejoras al sistema de abastecimiento de agua para la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Levantar información de la población y recopilar datos existentes del sistema de abastecimiento.

2. Evaluar las condiciones hidráulicas del sistema de abastecimiento desde su captación, tanques de almacenamiento, tanques rompe presiones y su sistema de distribución.
3. Elaborar propuestas de mejoras para el sistema de abastecimiento de agua.
4. Realizar una memoria técnica para su adecuado mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento.

### **1.3 Alcance**

El presente proyecto buscará evaluar los componentes hidráulicos en el sistema de abastecimiento de agua de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya, desde la captación pasando por tanques de almacenamiento, tanques rompe presiones y su sistema de distribución.

Se realizará visitas técnicas y entrevistas para un levantamiento de información obteniendo así datos de población, características del sistema, usos que se le da al recurso hídrico y posibles factores que inciden en el suministro.

Se elaborará el perfil de la línea de conducción para obtener los datos de altura y distancia desde la captación al tanque de distribución, mediante la toma de puntos georreferenciados con ayuda de un GPS y programas como Civil 3D, Google Earth, etc.

Se simulará el sistema en el software Epanet para comprender las características de la operación hidráulica, de esta manera se desarrollará propuestas de mejora, enfocándose en los problemas actuales del sistema de abastecimiento para garantizar un suministro de agua adecuado en cuanto a calidad y cantidad.

### **1.4 Marco teórico**

#### **1.4.1 Sistema de Abastecimiento de agua**

Grupo de componentes hidráulicos con objetivo de suministrar agua potable a una población determinada [3].

El suministro del agua potable del sistema debe cumplir con la cantidad y calidad adecuada para cubrir las necesidades de la población haciendo estudios desde las fuentes [4].

#### **Sistema de abastecimiento de agua por gravedad**

Son sistemas en la que el agua desciende por la acción de la fuerza de la gravedad desde una fuente elevada, ubicada en la parte superior de la población a beneficiar. Dentro de estos sistemas existen varias ventajas empezando con el aprovechamiento de la energía



potencial para el desplazamiento del agua, que en consecuencia no genera gastos de bombeo, la presión del sistema se controla con mayor facilidad y el mantenimiento es mínimo [5].

### **Componentes de un Sistema de abastecimiento de agua.**

Los principales componentes de un sistema de abastecimiento de agua son: fuente de abastecimiento, conducciones, potabilización, regulación, red de distribución y medidores domiciliarios.

### **Fuentes de abastecimiento.**

Embalse superficial o subterránea natural o artificial, manejado en un sistema de suministro de agua [6].

Constituyen un elemento esencial de los sistemas de agua potable, ya que proporcionan recursos hídricos, y pueden ser superficiales, como ríos, lagos, embalses o manantiales de aguas subterráneas o pozos profundos [7].

### **Fuentes de Aguas superficiales**

Las aguas superficiales se precisan como cualquier masa de agua abierta naturalmente a la atmósfera capaz de fluir o permanecer en reposo, como ríos, lagos, embalses, corrientes de agua, estanques, mares, estuarios, etc. Estas fuentes son accionados por precipitación directa, o por descarga de las aguas subterráneas [8].

## **1.4.2 Captación**

Se ubica sobre una fuente de agua superficial o pozo y es una estructura que permite el suministro ininterrumpido de la cantidad de agua necesaria desde la fuente de abastecimiento de agua al sistema de conducción, el cual debe suplir la demanda de agua para el año del nivel de diseño, incluso en épocas secas. La selección del tipo de captación debe tener en cuenta su ubicación, el nivel de agua en la fuente de abastecimiento y el nivel de agua que debe garantizar la derivación, teniendo en cuenta las condiciones topográficas, hidrológicas y geológicas del sitio, así como como la calidad del agua [9].

### **Captación tipo manantial**

Los tipos de captación tipo manantial, se encuentran ubicados en puntos altos donde se puede propiciar la capacidad de energía al agua para su conducción. Estos tipos de captaciones conllevan un conjunto de conexiones que conectan el efluente con los tanques de almacenamiento y estos a su vez están conectados a una red de distribución de agua [10].

### **1.4.3 Líneas de conducción**

Son parte del sistema que transporta el agua a partir de la zona de captación hasta el tanque de acondicionamiento, también se considera parte de un conjunto de conductos, los hilos conductores que hacen funcionar la estructura [11].

### **1.4.4 Reservorio o tanque de almacenamiento**

Unidad utilizada para almacenar agua producida por una fuente de agua y permitir satisfacer la demanda dentro de las horas de consumo máximo cuando la fuente de agua es mayor que el consumo de la población. Además, debe ser capaz de mantener la calidad del agua, la cloración se suele realizar en estos recipientes [12].

### **1.4.5 Línea de distribución**

La línea de distribución de agua potable es toda instalación que la empresa distribuidora debe dirigir desde el(los) punto(s) de captación y tratamiento para asegurar que se presta a los clientes en las condiciones que satisfacen sus necesidades [13].

### **1.4.6 Cantidad de agua**

#### **Dotación de agua**

El determinar la cantidad de agua para satisfacer las necesidades de un conglomerado humano es uno de los factores más importantes que tiene incidencia directa en el diseño, por consiguiente, debe ser analizado con sumo cuidado.

La dotación se define como la cantidad de agua suministrada durante un día a cada usuario.

#### **Población futura**

El crecimiento poblacional, es afectado por diversos factores tales como: sociales, económicos, entre otras que son evidentes durante el periodo de diseño. Por ello se implementa métodos estadísticos para obtener la población futura dentro de un periodo de tiempo establecido [12].

#### **Caudales**

La cantidad de agua que se va a utilizar en la obra, los datos se obtienen por medio de un promedio estadísticos de información registrada anteriormente. Este caudal toma en cuenta la infiltración, caudales errados y el caudal máximo horario [14].

### **1.4.7 Factores de diseño**

Es necesario tomar en consideración diversos factores de diseño, para los sistemas de distribución de agua tales como:

- Periodo de diseño: Este parámetro está basado en el tamaño del sector donde se va a implementar la red, puede modificarse dependiendo de la zona de diseño, el tiempo establecido para el diseño de la red matriz debe ser de 30 años debido a que abastecen a grandes zonas, mientras que el periodo de diseño de las líneas secundarias debe regirse al tiempo en que se alcanzará la población de saturación.
- Caudal de diseño: debe diseñarse en función del caudal de diseño de riego que será la necesidad máxima de riego.
- Presión de diseño: debe ser la óptima para riego por aspersión. La presión baja, media y alta es:
- Baja presión: presiones menores a  $(2.5\text{Kg/cm}^2) = 25 \text{ m.c.a.}$
- Media Presión:  $(2.5 - 4 \text{ Kg/cm}^2) = 25 - 40 \text{ m.c.a.}$
- Alta Presión: presión superior a  $(4 \text{ Kg/cm}^2) = 40 \text{ m.c.a.}$
- Velocidad de diseño: debe ser de 3m/s.
- Diámetros de diseño: El diámetro mínimo de la red secundaria en la ciudad es de 75mm (3") y en las parroquias de 50mm (2").
- Distancias Mínimas a otras redes: La distancia mínima entre la línea de distribución de agua y la línea de alcantarillado debe ser de 1,5m horizontalmente y 0,5m verticalmente, por lo general la red de agua debe ubicarse en la parte Norte y Este.
- Profundidad Mínima: La profundidad mínima de la tubería de distribución no tiene que ser menor a 1,2m desde la clave hasta la superficie, esta característica está relacionada con las cargas exteriores que soportará la tubería.

[15].

### **1.4.8 Materiales**

Para la elección de las tuberías de distribución es necesario considerar algunos parámetros, como son: Amplitud de conducción, durabilidad, rugosidad, economía, facilidad de conexión y mantenimiento, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión. La resistencia mecánica le permite a la red soportar elevadas cargas externas, como son

cargas estáticas y dinámicas, por ejemplo, el relleno de la zanja y el tráfico respectivamente. Además, la resistencia mecánica le permite a la red soportar cargas internas, como son la presión hidrostática y el golpe de ariete [16].

Según el tipo de material las tuberías pueden clasificarse en; poliéster reforzado (GRP), polietileno de alta densidad (PEAD), policloruro de vinilo (PVC), hierro dúctil (HD) y acero con revestimiento anticorrosivo (A) [17].

Según la normativa de la EMAAP-Q (2008), cuando se utiliza tuberías de policloruro de vinilo (PVC), es recomendable usar accesorios, codos, cruces, tees y yeas en acero con uniones mecánicas. Dentro de la parte económica, se tiene que considerar la accesibilidad inmediata a las tuberías y piezas, tiempo de entrega, disponibilidad para regresar piezas defectuosas, costo de instalación y tipo de uniones [16].

### **1.4.9 Accesorios**

Para el diseño de tuberías de conducción es necesario la implementación de diversos accesorios como son; válvulas, tees, yeas, uniones, cruces, codos, entre otros. Los accesorios complementarios y las tuberías deben tener relación entre sí, con respecto a presiones, diámetros, espesores y en lo posible al material [18].

Las válvulas dependiendo su funcionamiento permiten aislar tramos de tuberías para mantenimiento o reparación, cambiar de dirección el flujo, drenar las redes, permitir la entrada o salida del aire, y cambios de presión. Las válvulas según su función se clasifican en: aislamiento o seccionamiento y de control, entre las válvulas de aislamiento se encuentran; válvulas de compuerta y válvulas de mariposa; por el contrario, entre las válvulas de control se encuentran; válvulas de altitud, válvulas de entrada y salida del aire, válvulas de presión, válvulas de globo, válvulas de retención y válvulas de desagüe [16].

#### **- Válvula de desagüe**

Este tipo de válvulas se ubican en las partes bajas de la red de conducción, con el objetivo de facilitar el vaciado y la limpieza de las tuberías cuando sea necesario y en lo factible drenar al alcantarillado [18].

#### **- Válvula de aire**

Se ubican en las partes más altas de la red de conducción para evitar el bloqueo de la red durante su llenado, y así posibilitar la salida de aire acumulado [18].

#### **- Válvula de compuerta**

Este tipo de válvulas se ubican al inicio de cada tramo de la red, facilitando las labores de mantenimiento o revisión y permitiendo llenar las tuberías por tramos. Este tipo de válvula debe usarse cuando se necesite un cierre o apertura total de la tubería [16].

#### **- Válvula de mariposa**

Se usan en la alimentación de subsectores, deben ser instaladas en cámaras de hormigón con área suficiente para medidores de caudal y presión [18].

#### **- Válvulas reductoras de presión**

Se emplean para reducir la presión aguas arriba a una presión prefijada aguas abajo, autónomo de los cambios de caudal y/o presión. Generalmente se utiliza para suministrar a las zonas bajas de servicio [16].

#### **- Válvulas de retención**

También denominadas válvulas check, estas son unidireccionales y se utilizan para evitar contraflujos, tienen funcionamiento automático, este tipo de válvulas tiene como inconvenientes que generan ondas de presión dando lugar al golpe de ariete originando daños en las válvulas y tuberías [16].

### **1.4.10 Simulación hidráulica de sistemas de abastecimiento.**

#### **EPANET**

Software que permite la simulación hidráulica y la calidad del agua en líneas de abastecimiento presurizadas. Este es un programa en el que puedes incluir una red que puede consistir en tuberías, nodos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y tanques o depósitos. EPANET monitorea discretamente la evolución del caudal en tuberías, presiones en nudos, niveles de agua en tanques y concentraciones de químicos presentes en el agua en múltiples intervalos de tiempo a lo largo de la simulación [19].

#### **Principales características del Modelo Hidráulico:**

- Calcula las pérdidas por fricción en las tuberías mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning.
- Introduce pérdidas menores en elementos tales como codos, acoplamientos, etc.
- Simula una bomba funcionando a velocidad constante y velocidad variable.
- Calcula el consumo energético y el coste de la estación de bombeo.

- Modela diferentes tipos de válvulas, incluidas válvulas reguladoras, válvulas de retención, válvulas de aislamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de flujo y más. Modela bombas funcionando tanto a velocidad de giro constante como a velocidades de giro variables.

[20]

#### **1.4.11      Requerimiento de agua de los cultivos y de riego**

##### **CROPWAT 8.0**

Es un software para Windows que determina los requerimientos hídricos de los cultivos y sus requerimientos de riego teniendo en cuenta factores climáticos y de cultivo, y permite desarrollar cronogramas de riego y calcular escenarios de suministro para diferentes tipos de manejo y para diferentes patrones de cultivo [21].

##### **Principales características:**

- Calcular los requisitos de agua de cultivo y la programación de cultivos y arrozales.
- Una academia para apreciar los datos climáticos sin mediciones.
- Obtener el estudio diario de agua en el terreno.
- Mostrar gráficos de datos y requisitos de agua.
- Importe/exporte fácilmente datos y gráficos a través del portapapeles o archivos de texto ASCII.
- Compatibilidad con versiones anteriores teniendo en cuenta la base de datos CLIMWAT.

[22]

## **2    METODOLOGÍA**

### **2.1   Levantamiento de información**

Se realizaron visitas técnicas para identificar la topografía del lugar, necesidades de la comuna, conocer los tipos de fuentes de agua, captaciones, conducciones, distribuciones y formas de almacenamiento de agua.

- Se realizó varias entrevistas a directivos de la comuna para reunir información sobre la población actual, características de consumo de agua, áreas de cultivo y especificaciones técnicas.
- Se tomaron puntos georreferenciados, aforos de caudales de las fuentes y se realizó los cálculos de caudales de las mismas.

### **2.1.1 Visitas técnicas**

Se realizaron cuatro visitas técnicas, en la primera se tuvo un acercamiento con los dirigentes con el fin de consentir el permiso para realizar la evaluación hidráulica de su sistema de abastecimiento, para ello se realizó una solicitud dirigida al Señor presidente Rodrigo Pillajo de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya, mismo que delego al Sr. Luis Amaguaña y Raúl Betún personas encargadas del sistema de abastecimiento actual de la comuna, quienes apoyaron durante el desarrollo de todo el Proyecto.

La segunda visita abarcó el reconocimiento de las fuentes de abastecimiento, aforo de caudales, medición de caudales y observaciones del lugar de estudio, tipos de tuberías y la conducción.

En la tercera visita al lugar de estudio se contó con la ayuda del Sr. Raúl Betún, se realizó la toma de los puntos georreferenciados de la red de conducción con un GPS marca GARMIN GPSMAP 64ST.

Para finalizar en la cuarta visita se tomó puntos georreferenciados de la línea distribución, a partir del tanque de distribución.

### **2.1.2 Entrevistas**

A través de las observaciones realizadas al sitio de estudio se plantearon entrevistas a las personas encargadas del sistema de abastecimiento actual de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya en relación al sistema de abastecimiento actual, población de la comuna, áreas de cultivo y las necesidades de las misma.

Las entrevistas fueron realizadas durante las visitas técnicas al señor Luis Amaguaña, al Señor Raúl Betún y por medio de una reunión virtual por zoom al señor Ismael Tituaña.

### **2.1.3 Levantamiento de puntos georreferenciados**

En la toma de los puntos georreferenciados de la conducción y distribución, se tuvo un manejo adecuado del GPS, para obtener la precisión y ubicación adecuada de cada uno de los puntos. Se realizó mediante un recorrido por las líneas de conducción y distribución, donde se tomaron puntos de interés como tanques de almacenamiento, tanques rompe presiones, etc.

### **2.1.4 Aforo de caudales**

La fuente cuenta con 4 vertientes superficiales denominados: Chupasuro 1, Chupasuro 2, Lurillacu y Ashnituro. Se aplicó el método volumétrico, lo que involucró la toma de volumen de agua, aguas abajo de cada vertiente en un tiempo determinado, ver ecuación 1.

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

***Ecuación 1.Caudal Volumétrico [23]***

Con el método volumétrico que relaciona volumen y tiempo se obtuvo el caudal de cada una de las vertientes aguas abajo de la fuente. Para el método volumétrico se utilizó un recipiente de 3 litros, se tomó el tiempo y el volumen. Esta acción se realizó tres veces para obtener un resultado adecuado.

Se debe tomar en cuenta los sitios de mayor pendiente para que el muestreador tenga una mayor accesibilidad al caudal de la fuente y el balde pueda ingresar en su totalidad o de una forma en la vertiente y se pueda tomar todo el caudal, además como seguridad para el muestreador debe evitar pararse en zonas resbalosas.

Además, se determinó la cantidad de agua que transita por la tubería a la salida de la captación con ayuda de un medidor portátil de caudal de ultrasonido, también se necesitó de un flexómetro y gel de ultrasonido. Se realizó la conexión de los transductores en el equipo diferenciando los colores de los puertos, rojo para la medición de aguas arriba y azul para la medición aguas abajo de la tubería. Se midió el diámetro externo de la tubería con el flexómetro, valor que fue ingresado al equipo, de igual manera se ingresó datos de espesor, tipo de material, tipo de recubrimiento de la tubería, en conjunto con tipo de fluido y tipo de transductores.

Con el tipo de transductor se seleccionó el método de medición, del cual se obtuvo la distancia a la que se debían colocar los transductores.

Una vez ingresado los datos y el método, se colocó gel de ultrasonido en los transductores para ser puestos en la tubería con distancia ya determinada. Para la determinación del caudal se seleccionó el menú 1 y se presionó el botón ENTER. (Ver Tabla 11).

## **2.1.5 Análisis de caudal de diseño**

### **Determinación de población**

Debido a la poca información sobre la población del sitio de estudio, se realizó una consulta a un miembro de la directiva de la comuna, mismo que informó del número de pobladores actuales de la zona que son 172 habitantes [24]. Además, manifestó datos de población de años anteriores, mismos que no podían ser utilizados para una determinación de población futura mediante el método probabilístico, debido a que los datos de la población tienden a disminuir, se decidió tomar el valor de referencia de 172 habitantes.



Por la situación sanitaria del Covid 19, aún presente en el año 2022, se dificultó la obtención de información del censo de la zona, además de que las autoridades comunitarias no poseen datos del número de habitantes en años anteriores. Se decidió, utilizar la población actual para obtener el cálculo del caudal de diseño. Se debe tomar en cuenta que existen 6 familias con una media de 5 integrantes que utilizan el caudal de agua de riego para su uso doméstico, 142 personas utilizan el agua exclusivamente para riego, además se utiliza en una cancha de fútbol con una capacidad de 900 personas

### **Determinación del caudal de diseño**

Se tuvo que realizar cambios en el análisis de consumo de agua, debido a que inicialmente estaba definido para solo consumo poblacional, pero debido a que la comuna utiliza el agua en su mayoría para riego, además de uso público se tuvo que considerar estos aspectos en la determinación del caudal de diseño. Para lo cual primero se analizó el caudal de riego el cual depende de factores como el clima, temperatura, humedad, precipitación, insolación, entre otros. Una vez determinado el caudal de riego se procedió a determinar el caudal doméstico y público considerando la población actual.

### **Análisis del clima**

Se utilizó datos meteorológicos de la estación más cercana a la zona, con la intención de estimar las necesidades hídricas de los cultivos. Debido a la falta de datos meteorológicos de la zona, se utilizó la estación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) con sede en Quito. La estación se encuentra ubicada a una altitud de 2789 m, su latitud es -0.167 y su longitud es -78.483. Para estimar el requerimiento hídrico de los cultivos en el programa Cropwat 8.0, fue necesario tener las siguientes variables tales como: precipitación (mm), temperatura ambiental (°C), velocidad del viento (m/s) y humedad atmosférica (%).

Para el análisis del clima fue necesario conocer los tipos de plantaciones que realizan en el lugar. Esta información se la obtuvo mediante las entrevistas realizadas.

Determinar las características climáticas de la zona, ayudará a determinar de manera precisa el caudal de riego requerido para las plantaciones de: habas, papas, melloco, maíz, mashua, choclo, ocas.

### **Temperatura ambiental**

La temperatura, es un agente que incurre en el desarrollo de los cultivos directamente, llega a afectar tanto a largo como a corto plazo provocando retazo en el desarrollo vegetativo.

De la estación meteorológica del INAMHI en Quito, se consiguió la temperatura máxima y mínima mensual desde el año 1975 hasta el año 2014 (Ver Tabla 1).

**Tabla 1. Temperatura ambiental mensual durante los años 1975 al 2014**

TEMPERATURA AMBIENTAL (°C)		
MES	MÍNIMA	MÁXIMA
ENERO	9.6	20.5
FEBRERO	10.0	20.8
MARZO	10.0	20.7
ABRIL	10.1	20.8
MAYO	9.9	20.9
JUNIO	9.5	21.0
JULIO	9.2	21.4
AGOSTO	9.5	21.4
SEPTIEMBRE	9.3	22.2
OCTUBRE	9.3	21.6
NOVIEMBRE	9.3	21.2
DICIEMBRE	9.6	21.2

El mes de septiembre registra el valor más elevado de temperatura de todo el año 22.2 °C, por otro lado, el mes de julio registra la temperatura más baja 9.2 °C, con esto se puede decir que existen variaciones bruscas de temperatura en periodos de tiempo cortos, lo cual es un elemento fundamental que se debe tomar en cuenta para preparar a los cultivos.

### **Precipitación**

Cada cultivo posee sus respectivas necesidades hídricas, en la mayoría de los casos estas necesidades son solventadas por la precipitación de la zona, siendo de esta manera un factor que afecta al desarrollo vegetativo. Además, el inicio o final de las temporadas de lluvia marcan las épocas de siembra y cosecha. La estación meteorológica, proporcionó datos relevantes para determinar la precipitación mensual (Ver Tabla 2).

**Tabla 2. Precipitación mensual durante los años 1975 al 2014**

MES	PRECIPITACIÓN (mm)
ENERO	82.9
FEBRERO	113.5
MARZO	114.5

ABRIL	163.1
MAYO	102.4
JUNIO	60.7
JULIO	26.7
AGOSTO	26.9
SEPTIEMBRE	91.3
OCTUBRE	109.7
NOVIEMBRE	151.9
DICIEMBRE	96.7

Los meses que presentan mayor precipitación son febrero, abril y noviembre con láminas de agua entre los 113.5 hasta los 163.1 mm, por tal motivo durante estos meses se debe tener mayor control sobre los cultivos evitando su deterioro por exceso de agua. Por otra parte, en los meses secos como junio, julio y agosto, debe existir mayor presencia de riego para alcanzar las necesidades hídricas de cada cultivo.

### **Velocidad del Viento**

Durante los años 1975 hasta 2014, la estación meteorológica del INAMHI ha registrado la velocidad del viento en cada mes en metros por segundo (m/s) (Ver Tabla 3)

**Tabla 3. Velocidad del viento mensual durante los años 1975 al 2014**

MES	V.VIENTO (m/s)
ENERO	3.0
FEBRERO	3.0
MARZO	2.9
ABRIL	3.0
MAYO	2.8
JUNIO	3.0
JULIO	3.4
AGOSTO	3.6
SEPTIEMBRE	3.4
OCTUBRE	3.3
NOVIEMBRE	3.2
DICIEMBRE	3.1

Entre los meses de julio, agosto y septiembre el viento alcanza sus velocidades máximas de 3.4 y 3.6 m/s respectivamente, mientras que en los meses de marzo y mayo se registraron velocidades mínimas de 2.9 y 2.8 m/s.

Una alta velocidad del viento, tiene efectos sobre la superficie de las parcelas. Provoca la disminución de la transpiración de los cultivos, además, de daños físicos sobre las superficies vegetales si estas no están debidamente protegidas. En ciertas situaciones la fuerza del viento es significativamente mayor a la resistencia de la raíz ocasionando daños significativos en la cosecha, a esto se le conoce como el vuelco [25].

### **Humedad Relativa**

Si la humedad es baja, el crecimiento de los cultivos se debe frenado por este factor, debido a que tardara más tiempo en desarrollarse. El nivel de humedad está directamente relacionado con la temperatura y se expresa en porcentaje. La estación recopiló el porcentaje de humedad mensual durante los años de 1975 hasta 2014 (Ver Tabla 4)

**Tabla 4. Humedad mensual durante los años 1975 al 2014**

MES	HUMEDAD (%)
ENERO	75
FEBRERO	76
MARZO	77
ABRIL	78
MAYO	76
JUNIO	69
JULIO	64
AGOSTO	63
SEPTIEMBRE	66
OCTUBRE	73
NOVIEMBRE	75
DICIEMBRE	76

El porcentaje de humedad es bajo en los meses de junio hasta septiembre con rangos entre el 63 y 66 %. La humedad es inversa a la evaporación, por lo que se puede decir que en el mes de mayor humedad como abril con el 78%, el fenómeno de la evaporación es lento.

### Coeficiente Kc de cultivo

En el apartado de cultivo del software Cropwat 8.0, se ingresaron datos de coeficientes de cultivo (Kc), ciclo vegetativo, fecha de siembra, profundidad radicular, agotamiento crítico y altura del cultivo. Estos datos fueron obtenidos de la guía de evapotranspiración de la FAO.

Los valores de Kc inicial, medio y final dependen del cultivo (ver tabla 5).

**Tabla 5. Coeficiente de cultivo (Kc)**

Cultivo	Kc		
	Inicial	Medio	Final
Habas	0.15	1.10	1.05
Papas	0.15	1.10	0.65
Meloco	0.15	1	0.85
Maíz	0.15	1.15	0.5
Mashua	0.15	0.95	0.85
Choclo	0.15	1.1	1
Ocas	0.15	0.95	0.85

**Fuente:** (FAO, 2006)

Los datos del desarrollo vegetativo, fecha de siembra, altura de la planta y profundidad radicular se indican en las tablas 6 y 7.

**Tabla 6. Etapas de crecimiento, mes de siembra y altura de cultivo**

Cultivos	Mes de siembra	Etapas (días)					Altura de cultivo (m)
		Inicial	Desarrollo	Media	Fin de temporada	Total	
Habas	Noviembre	90.0	45.0	40.0	60.0	235.0	1.5
Papas	Mayo	25.0	30.0	45.0	30.0	130.0	0.4
Meloco	Octubre	10.0	10.0	15.0	5.0	40.0	0.8
Maíz	Abril	30.0	40.0	50.0	50.0	170.0	5.0
Mashua	Marzo	30.0	45.0	90.0	15.0	180.0	0.4
Choclo	Abril	30.0	30.0	30.0	10.0	100.0	5.0
Ocas	Febrero	25.0	30.0	90.0	15.0	160.0	0.4

**Tabla 7. Profundidad radicular, factor de agotamiento y factor de respuesta**

Cultivos	Profundidad radicular (m)		Factor Agotamiento			Factor de Respuesta					
	Inicial	Final	Inicial	medio	final	F1	F2	F3	F4	F5	fpromedio
Habas	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.9	1.0	1.3	1.4	1.2	1.2
Papas	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1
Mellico	0.7	0.5	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1
Maíz	1.5	0.6	1.5	0.6	0.6	0.9	1.5	1.4	1.4	1.1	1.3
Mashua	0.7	0.4	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1
Choclo	1.0	0.5	1.0	0.6	0.6	0.9	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3
Ocas	0.7	0.4	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1

Después de ingresar los datos de clima, precipitación y cultivo al Cropwat 8.0, se efectuó el cálculo del requerimiento de agua para cultivo (RAC). El requerimiento de riego (mm/dec) es el resultado de la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva.

El total de requerimiento del agua se expresa como milímetros por cada diez días (mm/dec), para expresar estos valores en unidades de volumen es necesario un factor de conversión que equivale a  $1mm = \frac{1L}{m^2}$  [26].

### **Insolación y RAC**

Para determinar los requisitos hídricos de los cultivos durante un año, se utilizó el software Cropwat 8.0, el cual es de uso libre y se descarga en la página web de la Food and Agriculture Organization (FAO). Los datos de la estación meteorológica como: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad y velocidad del viento las cuales fueron importadas al software Cropwat 8.0.

El programa puede interpolar datos basándose en las coordenadas donde está ubicada la estación, pero para este caso se usó datos entre los años 1974 hasta el 2014 por lo que fue necesario la interpolación de datos no registrados por la estación meteorológica. En relación a las horas de sol sobre el horizonte es de 12 horas en el Ecuador [27, p. 39].

### **Caudal de diseño**

El cálculo del diseño requirió los siguientes datos: dotación, población actual, coeficientes de variación de demanda, perdidas que según la normativa de la EMMAPS es del 20%.

La dotación de agua de la comuna se asumió de acuerdo con el consumo doméstico, público y agrícola según los datos (Ver tabla 12), el consumo neto se calculó con la suma de todas las dotaciones que sirvió para la determinación de consumo total, mismo que fue la multiplicación de las perdidas con el consumo neto.

Para la obtención del caudal promedio se utilizaron datos de población actual, consumo total, planteado según la ecuación 5.

$$Q_{promedio} = \frac{\text{Consumo total}(L/hab * día) * Población (hab)}{86400}$$

### ***Ecuación 2. Caudal promedio [28]***

Con los coeficientes de variación de demanda k1 y k2, se calculó el caudal máximo diario y caudal máximo horario, con la multiplicación del caudal promedio obtenido y los coeficientes respectivamente. Los coeficientes se asumieron según la normativa de la de la EMMAP-Q, 2008.

## **2.2 Evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento**

### **2.2.1 Procesamiento de datos**

A través de recursos tecnológicos se realizó la conversión de los datos georreferenciados tomados con el GPS a fin de tener información útil para el desarrollo del proyecto, mismos que estaban en el sistema de coordenadas (WGS84 y UTM) y en la zona 17, además constaban de una altura a nivel del mar del terreno. Estos datos fueron procesados mediante el software MapSource y pasados a una hoja de cálculo para el proceso de concatenación. Los datos se copiaron a un archivo de notas para ser ingresados en Civil 3D.

### **2.2.2 Trazado de redes de la conducción y distribución**

Para el trazado de redes se tomaron los datos del archivo de notas y se insertaron los puntos del archivo en el programa Civil 3D, donde se marcó los puntos recorridos tanto de la conducción como la distribución. Estos puntos exportados en el Civil 3D se unieron a través de la opción polilínea y se enmarcó la ruta del sitio de estudio. Dentro del trazado de la línea de conducción se identificaron puntos donde existen tanques de almacenamiento, tanques rompe presiones y el tanque de distribución. Estos trazados tanto de la red de conducción como distribución fueron guardados en un archivo de formato dxf que más adelante con ayuda del Software Epcad se convirtió el archivo en modo vértices, para ser leído en formato compatible con Epanet.

### 2.2.3 Trazado del perfil de la conducción

Se realizó un alineamiento de la red trazada de conducción, para ello, se creó la superficie tridimensional de los puntos mediante la opción de superficie, donde se construyó una capa de puntos agrupados y se continuó con el alineamiento mediante la herramienta de alineamiento de objetos se seleccionó la red trazada, donde se consideró la dirección del flujo.

Realizados los procesos anteriores se obtuvo el perfil de la conducción con ayuda de la opción creación de perfiles.

### 2.2.4 Simulación Hidráulica en Software Epanet

Para ejecutar la simulación en el Epanet se utilizó los archivos ya realizados en formato INP de las líneas de conducción y distribución, además se incluyó una descripción de los nodos y conexiones, se puso longitudes, cotas, diámetros y el coeficiente de rugosidad Darcy Weisbach, el cual depende del tipo de material de las tuberías. Se añadió el tanque de captación, tanques de almacenamiento y tanques rompe presiones con su respectiva altura.

En la conducción se simuló en condiciones operacionales comunes, puntualizando los parámetros de presión, velocidad y caudal a lo largo de la red. En la línea de distribución se hizo el análisis hidráulico en estado estático y dinámico. La simulación en estado estático fue con el objetivo de ver valores de presión cuando toda la población no este consumiendo agua y en la simulación en estado dinámico para ver las presiones y velocidades cuando toda la población este consumiendo agua.

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

**Ecuación 3. Pérdida de carga de Darcy – Weisbach**

**Donde:**

f = Coeficiente de pérdidas (adimensional)

L = Longitud de la tubería (m)

V= Velocidad media del flujo (m/s)

D= Diámetro de la tubería (m)

g = Aceleración gravitacional (m/s<sup>2</sup>)



$h_f$  = Pérdida de energía por fricción (m)

Se empleó la ecuación de Darcy Weisbach para obtener las pérdidas de carga, con un coeficiente de rugosidad de 0.12 para tuberías de PVC.

### **2.2.5 Evaluación del tanque de distribución principal**

La Comuna Chilibulo Marcopamba la Raya, cuenta con tres tanques de distribución de hormigón. A partir del tanque principal de distribución que esta interconectado con la línea de conducción se distribuye ramales de distribución donde están ubicados los dos tanques de distribución restantes. Para la obtención de las medidas de largo, ancho, espesor de la paredes y altura del tanque distribución principal, se necesitó de un flexómetro. Los datos medidos fueron utilizados para calcular el volumen del tanque mediante la ecuación 4. Sin embargo, para obtener un resultado de volumen con mayor exactitud, se ejecutó el procedimiento de la curva integral de consumo.

Volumen = longitud x anchura x altura.

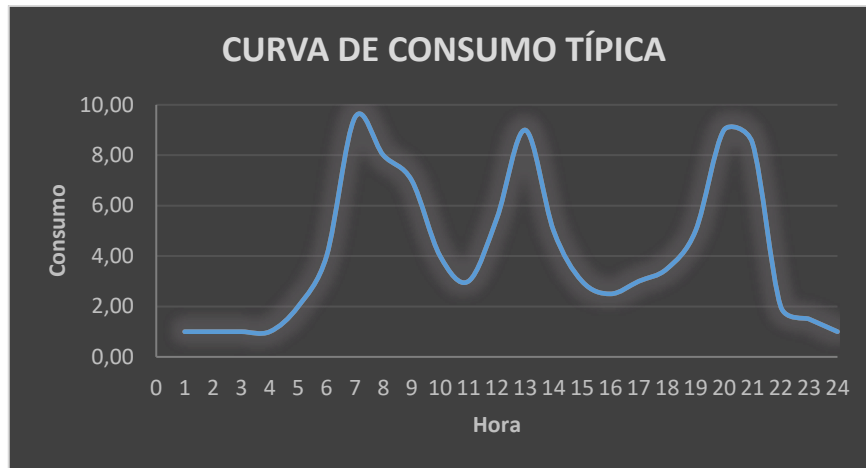
*Ecuación 4. Volumen de un tanque rectangular [29]*

#### **Método de la curva integral de consumo**

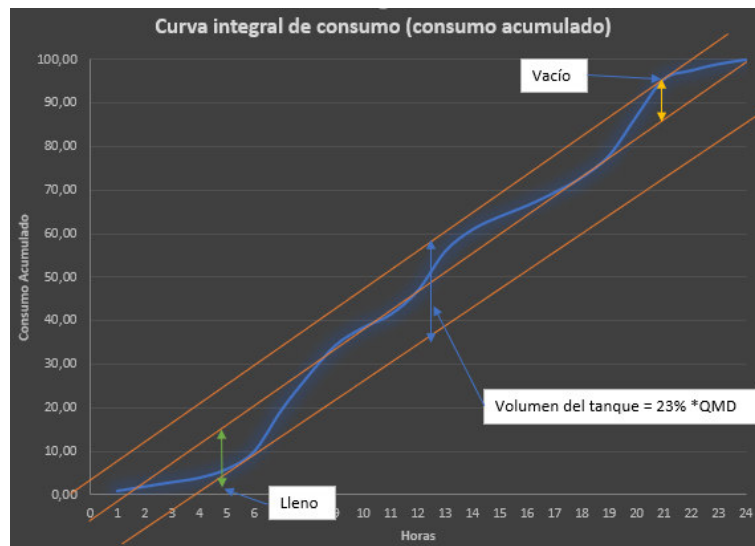
Para determinación de la curva integral de consumo, se realizó una hoja de cálculo (ver anexo 2), donde se agregó los siguientes datos: horas al día, consumo horario, curva integral de consumo, suministro horario continuo, curva integral de suministro, déficit horario y acumulado, volumen horario de agua en el tanque.

El consumo horario está fundamentado en la curva característica de distribución dentro de un tiempo de 24 horas (ver figura 1). La curva integral de consumo es el consumo acumulado por cada hora (ver figura 2), al igual que la curva integral de suministro es el suministro acumulado. El suministro es el valor que se obtiene a partir de la división del porcentaje total (100) para el número de horas al día (24). El déficit horario es el resultado de la resta entre suministro y el consumo, mientras que el déficit acumulado es el resultado de la resta entre el suministro y el consumo acumulado.

Para el cálculo del volumen horario del agua en el tanque se debe anotar el valor de cero (0) en la celda que tenga el valor menor de déficit acumulado, después en la celda superior se sustrae el volumen anterior y el déficit horario de la misma celda, se arrastra el resultado para arriba y para abajo, los resultados serán positivos y negativos respectivamente. Dentro del cálculo del volumen horario del agua se definió el valor del volumen cuando el tanque este lleno, el cual se determinó con el valor más alto a partir del valor 0 hacia arriba, valor cero nos indica cuando el tanque está vacío.



**Figura 1. Cuerva de distribución típica de consumo**



**Figura 2. Curva integral de consumo acumulado**

Mediante la ecuación 5 se obtuvo el volumen del tanque de distribución. Para el cálculo se tomó los valores de caudal máximo diario y el valor del volumen horario del tanque cuando el tanque este lleno.

$$V = \frac{Q_{max} d \left( \frac{l}{s} \right) * Volumen\ horario\ del\ tanque\ lleno(\%) * 86400}{1000} = m^3$$

**Ecuación 5. Volumen de un tanque rectangular-Método de la curva integral de consumo**

## **2.3 Propuestas de mejora para el sistema de abastecimiento de agua de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya**

Con base a la información obtenida, en las visitas técnicas y los resultados de las evaluaciones hidráulicas, se proyecta soluciones en los puntos que se exhiben problemas hidráulicos en conceptos de: presión, cauda, velocidad y estructuras hidráulicas. Además de considerar el mantenimiento y la operación del sistema de abastecimiento.

## **2.4 Memoria técnica para mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento**

La investigación realizada y los hallazgos relacionados a la evaluación hidráulica, las sugerencias de mejora, mantenimiento y operación será entregado a la comunidad de Chilibulo Marcopamba la Raya en forma de una memoria técnica, lo que ayudará a tener un funcionamiento adecuado el sistema actual de abastecimiento de la comuna.

# **3 RESULTADOS**

## **3.1 Levantamiento de información**

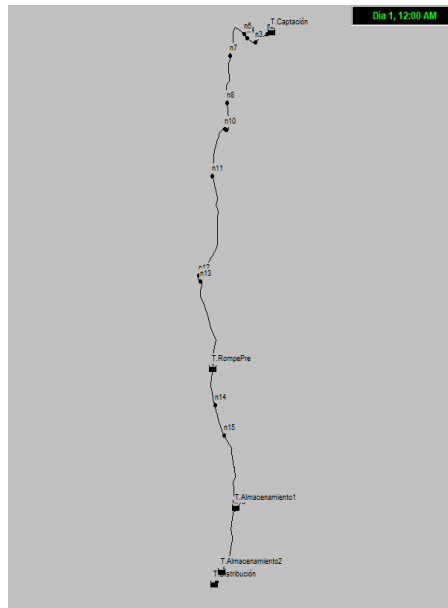
Mediante las visitas al lugar de estudio, entrevistas, aforos de caudales, análisis de elementos para el cálculo del caudal de diseño, se logró la siguiente información:

### **3.1.1 Características y ubicación del sistema de abastecimiento.**

El sistema de abastecimiento de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya se encuentra ubicada en la ciudad Quito y pertenece a la parroquia de Chilibulo, está rodeada de vegetación y en su mayoría de sembríos, además cuenta con un sector pequeño de casas y una cancha de futbol. El sistema se abastece de cuatro vertientes superficiales de agua, las mismas que se conducen y se distribuyen por medio de una tubería de PVC.

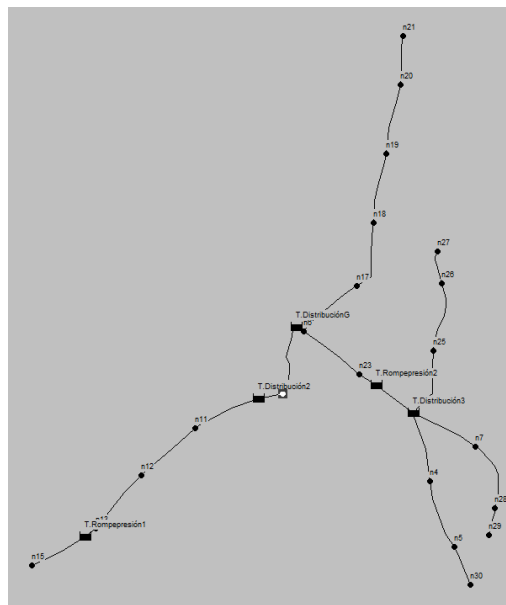
#### **Elementos del sistema de abastecimiento**

Cuenta con líneas de conducción y distribución. En la línea de conducción tiene un tanque de captación, un tanque rompe presión, 2 tanques de almacenamiento (ver figura 3).



**Figura 3. Esquema de la conducción**

La línea de distribución cuenta con tres tanques de distribución, dos tanques rompen presión como se muestran en la figura 4.



**Figura 4. Esquema de la línea de distribución**

### **Dímetros y longitudes de las tuberías en la conducción y distribución**

A través del levantamiento de información, se determinó la longitud y diámetro de las líneas de conducción y distribución. La conducción y la distribución tienen el mismo diámetro

interno de 63.5 mm, mientras que la longitud en la conducción es de 2127.497 m y en la distribución de 1958.56 m.

### Número de puntos georreferenciados levantados

Mediante el recorrido por las líneas de conducción y distribución con el GPS, se levantó 457 y 421 puntos georreferenciados respectivamente.

### 3.1.2 Cálculo del Caudal de la fuente

La captación de agua de la comuna es abastecida de fuentes superficiales, la primera fuente cuenta con 4 vertientes que en unión de las mismas tiene un caudal de 0.00044 m<sup>3</sup>/s y la segunda fuente cuenta con una vertiente que tiene un caudal de 0.0083 m<sup>3</sup>/s (ver tabla 8).

**Tabla 8. Caudal de la fuente**

Fuente	Método	Volumen	Tiempo	Q	Qpromedio
		ml	Seg	(m <sup>3</sup> /seg)	(m <sup>3</sup> /s)
Tanque de captación	Ultrasonido	-	-	-	0.00044
Vertiente Ashnituro aguas abajo	Volumétrico	510	7.42	0.00069	0.0083
		480	5.24	0.00092	
		500	5.64	0.00089	
<b>Total</b>					0.00128

La cantidad de agua que proporciona la fuente a la población es de 0.0128 metros cúbicos por segundo. Es decir, la cantidad de agua que actualmente utiliza la población es de 1.28 litros por segundo.

### 3.1.3 Evapotranspiración de los cultivos (ETo) y precipitación efectiva.

Ya incorporados todos los datos de clima requeridos, el programa calculó de forma automática la radiación solar y la evapotranspiración (ETo) (Ver Tabla 9).

**Tabla 9. Clima, radiación y evapotranspiración mensual durante los años 1975 al 2014**

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m <sup>2</sup> /d	mm/d

<b>Enero</b>	9.6	20.5	75	3.0	12	27.1	4.49
<b>Febrero</b>	10.0	20.8	76	3.0	12	28.0	4.65
<b>Marzo</b>	10.0	20.7	77	2.9	12	28.4	4.67
<b>Abril</b>	10.1	20.8	78	3.0	12	27.5	4.52
<b>Mayo</b>	9.9	20.9	76	2.8	12	26.1	4.33
<b>Junio</b>	9.5	21.0	69	3.0	12	25.2	4.38
<b>Julio</b>	9.2	21.4	64	3.4	12	25.5	4.68
<b>Agosto</b>	9.5	21.4	63	3.6	12	26.8	4.96
<b>Septiembre</b>	9.3	22.2	66	3.4	12	27.9	5.12
<b>Octubre</b>	9.3	21.6	73	3.3	12	27.9	4.83
<b>Noviembre</b>	9.3	21.2	75	3.2	12	27.2	4.58
<b>Diciembre</b>	9.6	21.2	76	3.1	12	26.7	4.47
<b>Promedio</b>	<b>9.6</b>	<b>21.1</b>	<b>72</b>	<b>3.1</b>	<b>12</b>	<b>27.0</b>	<b>4.64</b>

Fuente: (CROPWAT 8.0)

Con la información meteorológica ingresada al Cropwat, se obtuvo como resultado la evapotranspiración analizada a través del método Penman – Monteitj desarrollado por la FAO, el mes de septiembre presentó la ETo más alta lo que indica una mayor necesidad de riego en los cultivos, mientras que en el mes de mayo se presentó el valor de ETo más baja lo que indica un requerimiento de riego bajo, presentando un valor promedio de 4.33 mm/día,

La precipitación efectiva, se le conoce a la cantidad de agua que los cultivos aprovechan en realidad, por lo que se puede decir que no toda el agua de la precipitación es provechada en su totalidad, este factor esta influenciado por las condiciones del suelo y la humedad presente al instante de la precipitación. Existen varios tipos de ecuación para la determinación de la precipitación efectiva, pero la utilizada fue la desarrollada por la FAO [30, p. 30].

$$Pe = 0.6 * P - \frac{10}{3} \quad Si, Pmensual \leq \frac{70}{3} \text{ mm}$$

$$Pe = 0.8 * P - \frac{24}{3} \quad Si, Pmensual > \frac{70}{3} \text{ mm}$$

**Ecuación 7.** Precipitación efectiva

El software Cropwat 8.0 determinó la precipitación efectiva mediante la ecuación 7, a partir de los datos mensuales de precipitación.

**Tabla 10. Precipitación efectiva mensual durante los años de 1975 hasta 2014**

MES	PRECIPITACIÓN (mm)	Prec. efec (mm)
ENERO	82.9	71.9
FEBRERO	113.5	92.9
MARZO	114.5	93.5
ABRIL	163.1	120.5
MAYO	102.4	85.6
JUNIO	60.7	54.8
JULIO	26.7	25.6
AGOSTO	26.9	25.7
SEPTIEMBRE	91.3	78.0
OCTUBRE	109.7	90.4
NOVIEMBRE	151.9	115.0
DICIEMBRE	96.7	81.7
Total	1140.3	935.7

La precipitación efectiva, se maneja en valores entre 25.6 mm a 120.5 mm, dando como resultado una precipitación efectiva anual de 935.7 mm. En el mes de Julio existe la menor precipitación efectiva 25.6 mm, mientras que en febrero, octubre y noviembre las plantas aprovechan de mejor forma la precipitación, en comparación con los otros meses del año.

### 3.1.4 Requerimiento de agua para cultivo (RAC)

En el apartado de RAC del software Cropwat 8.0, se determinó la máxima necesidad de agua para los cultivos en cada mes (Ver Tabla 11).

**Tabla 11. Necesidad de riego mensual por cultivo**

Mes	Requerimiento de riego (mm/mes)							RAC Mensual (mm/mes)
	Choclo	Haba	Maíz	Mashua	Melloco	Ocas	Papas	
Marzo		56.5		0		13.2		69.7
Abril	0.0	30.3	0	0		9.7		40.0
Mayo	22.8	62.3	14.8	38.1		44.0	0	182.0
Junio	95.0	61.2	99.8	73.5		71.9	54.8	456.2

Julio	34.0		148.3	115.3		30.4	137.8	465.8
Agosto			123.3	100.2			126.6	350.1
Septiembre			14.7				21.9	36.6
Octubre					22.5			22.5
Noviembre					3.7			3.7
Total	151.8	210.3	400.9	327.1	26.2	169.2	341.1	

Existen cultivos que requieren mayor cantidad de riego como lo es el maíz o las papas, por otra parte, el melloco es el cultivo que demanda menor cantidad de riego. Los valores representados con cero, se debe a que la precipitación es suficiente para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos y no es necesario regar en esos meses. Por otra parte, la máxima necesidad de riego mensual se da en el mes de junio 465.8 mm/mes. El área de cultivo de la comunidad es de 0.054, esta área fue reconocida mediante el programa Google Earth en varias entrevistas que se realizaron durante el proyecto [24]. Tomando en consideración el área de cultivo se aplicó la Ecuación 8.

$$RAC = \frac{465.8 \text{ mm}}{\text{mes}}$$

$$RAC = \frac{\frac{465.8 \text{ L}}{\text{m}^2 * \text{mes}} * \frac{1 \text{ d}}{86400 \text{ sg}} * \frac{10000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} * \frac{1 \text{ mes}}{31 \text{ días}}}{0.8}$$

$$RAC = \frac{2.174 \text{ L}}{\text{sg} * \text{ha}} * 0.054 \text{ ha} = \frac{0.117 \text{ L}}{\text{sg}}$$

**Ecuación 8. Conversión de unidades para el RAC**

En la transformación de unidades de la Ecuación 8, se asumió una eficiencia del 80%. El caudal máximo para riego anual es de 0.117 L/s, mientras que el caudal total de las vertientes es de 1.28 L/s, por lo que se puede decir que si es factible suministrar a la población del caudal de riego máximo. Además, la tabla 11 sirve como calendario para saber el tiempo y la cantidad de agua que es necesario regar cada cultivo.

### 3.1.5 Caudal de diseño

Se calculo la dotación doméstica, agrícola y publica para una población de 172 habitantes. El caudal de riego obtenido por el RAC de 0.117 L/s se lo utiliza en litros (ver tabla 12).



Tabla 12. Consumo de agua

POBLACIÓN	USO	Demanda L/d	Unidades	Dotación L/vis*día	Dotación L/hab*día
<b>172</b>					
<b>Doméstico</b>	Lavado de ropa	56.67	6		1.98
	Riego de jardines	116.67	6		4.07
	Servicio Sanitario	140.00	6		4.88
	Aseo personal	326.67	6		11.40
	Preparación de alimentos	233.33	6		8.14
	Limpieza en general	50.00	6		1.74
	Aseo mascotas	326.67	6		11.40
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>43.60</b>
<b>Agrícola</b>	Parcelas de cultivo	10108.8	1		58.77
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>58.77</b>
<b>Público</b>	Cancha de futbol		900	50.00	261.63
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>261.63</b>

El caudal de diseño a utilizarse es de 1.88 L/s, mismo que necesitan los habitantes de la comuna para llevar a cabo sus actividades domésticas diarias, regar sus campos de cultivo y utilizar en su cancha de futbol, mientras que el caudal captado actualmente es de 1.28 L/s. En este caso la demanda supera al abastecimiento (ver tabla 13).

Tabla 13. Caudal de diseño

<b>Pérdidas</b>	20%	
<b>Consumo Neto</b>	364.00	<b>L/hab*día</b>
<b>Consumo Total</b>	455.01	<b>L/hab*día</b>
<b>Qpromedio</b>	0.91	<b>L/s</b>
<b>k1</b>	1.3	
<b>k2</b>	1.6	
<b>Qmáx diario</b>	1.18	<b>L/s</b>
<b>Qmáx horario</b>	1.88	<b>L/s</b>

La demanda supera el abastecimiento por 0.60 L/s, por lo que es necesario que la comunidad, realice la concepción de un nuevo caudal indicando que este va hacer utilizado para consumo humano y riego y así satisfacer sus necesidades.

### 3.2 Simulación hidráulica en Software Epanet

Con base a la simulación se obtuvo los siguientes resultados hidráulicos: caudal, velocidad y presión del sistema de conducción y la distribución actual.

### 3.2.1 Evaluación de la presión en la conducción

En la conexión n1, n8, n12, n13 y n14 del sistema actual de conducción se presenta valores de presiones negativas, por otro lado, en el resto de conexiones la presión está por debajo de 10 m.c.a. los mismos que no cumplen con la normativa de la EMAAP-Q 2008 en la cual se establecen valores mínimos de presión para parroquias rurales (ver figura 5).

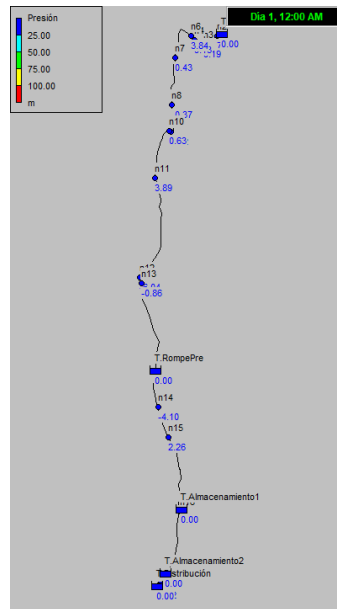


Figura 5. Simulación del sistema actual de la conducción (Presiones)

### 3.2.2 Evaluación de caudal en la conducción

El caudal evaluado como se observa en la figura 6 está en el rango de 3.22 L/s a 3.82 L/s y son mayores al caudal actual que tiene la línea de conducción.

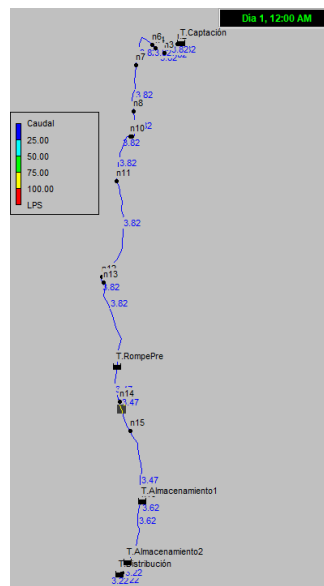
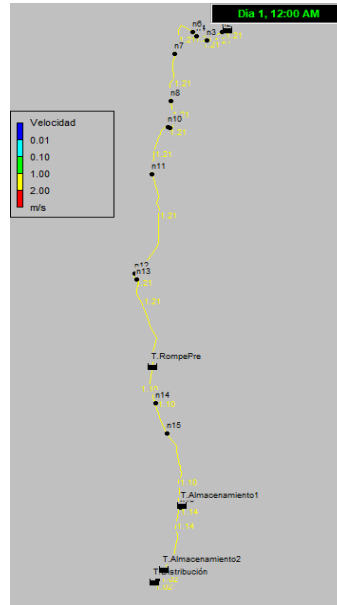


Figura 6. Simulación del sistema actual de conducción (Caudal).

### 3.2.3 Evaluación de velocidades en la conducción

Los resultados de la conducción mostrados en la figura 7 están dentro del rango de 0.6 m/s – 6 m/s para agua no tratada en tubería de PVC, según la normativa de la EPMAP-Q, 2008.



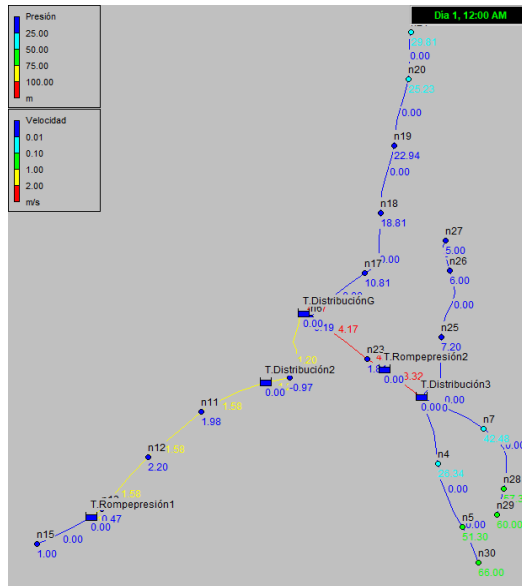
*Figura 7. Simulación del sistema actual de conducción (velocidades).*

En la conducción actual se consiguió los valores de presión, caudal y velocidad como se resumen en la tabla 15, 16 y 17 respectivamente (ver anexo2).

### 3.2.4 Evaluación de presión en la distribución

#### 3.2.4.1 Simulación estática

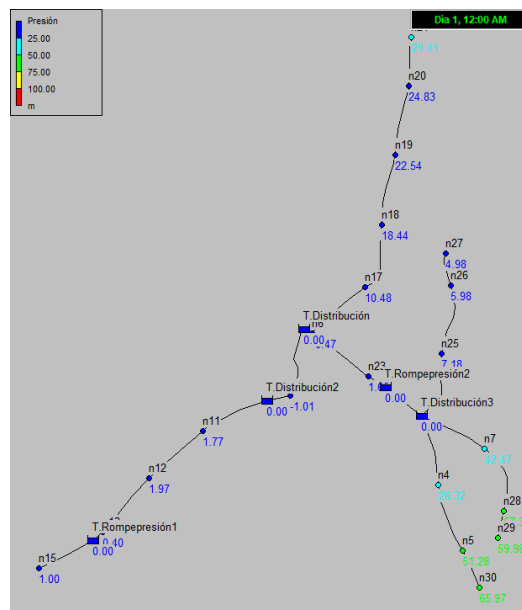
La tubería que actualmente se usa en la línea de distribución tiene un diámetro interno de 63.5 mm soportando presiones de hasta 64.24 m.c.a. dado por el fabricante. En las conexiones n2 y n6 tienen presiones negativas y en la n30 tiene un valor de presión 66 m.c.a, sobrepasando la presión de trabajo de la tubería (ver figura 8) [31].



**Figura 8. Simulación estática del sistema actual de distribución (Presiones).**

### 3.2.4.2 Simulación dinámica

De los resultados como se muestra en la figura 9, presenta presiones negativas en las conexiones n2, n6 y presiones mayores a 25 m.c.a, en las conexiones n4, n5, n7, n19, n21, n28, n29 y n30. En la comunidad se va a utilizar aspersores de riego de tipo impacto que suele trabajar a presiones menores a 25 m.c.a, a mayor presión el aspersor puede sufrir daños en su funcionamiento. [32]



**Figura 9. Simulación dinámica del sistema actual de distribución (Presión)**



Al realizar el procedimiento de la curva integral de consumo se obtuvo un valor de volumen horario de agua en el tanque lleno (V%), mismo que con la multiplicación del valor del caudal máximo diario, se determinó el volumen del tanque de distribución que debe tener para cubrir con las necesidades diarias de la comunidad (ver tabla 15).

**Tabla 15. Volumen del tanque mediante la curva integral de consumo diario.**

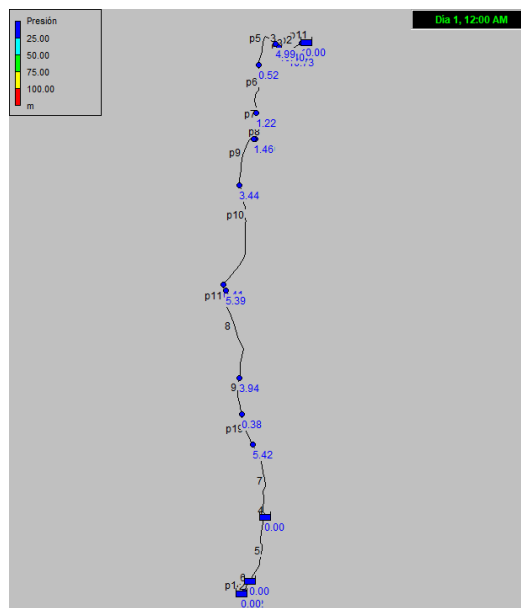
Descripción	Valores obtenidos	Unidades
Volumen horario de agua en el tanque lleno (V%)	23,00	%
Caudal máximo diario (Qmd)	101,95	m3/d
Volumen del tanque (V)	23,45	m3

El valor que se obtuvo de volumen del tanque mediante la curva integral de consumo diario referente al tanque de distribución actual es mayor en 23.27 metros cúbicos.

### 3.3 Propuestas para mejorar el sistema de abastecimiento

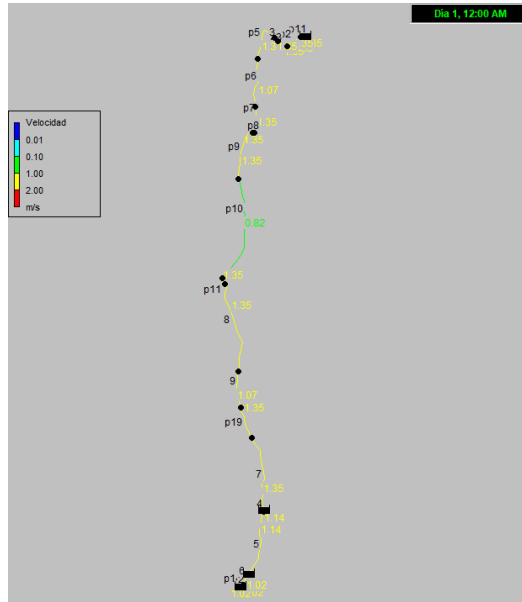
#### 3.3.1 Propuesta de mejora en la conducción

Con base a la simulación realizada de presión en la línea de conducción se propone que para mejorar este parámetro hidráulico se deben modificar los diámetros internos de las tuberías p10 a 81.4 mm, p6 a 71.4 mm y la tubería 9 a 71.4 mm, además de aumentar la altura del tanque de captación a 2 metros, y eliminar el tanque rompe presión. Con estos cambios hubo un incremento de presión en el sistema y facilitó la eliminación de presiones negativas (ver figura 11).



**Figura 11. Simulación de propuesta de repotenciación del sistema de conducción (Presión)**

Además, con los cambios realizados en la conducción se notó que las velocidades se encuentran dentro del rango del rango de 0.6 m/s – 6 m/s para agua no tratada en tubería de PVC (ver figura 12).



**Figura 12. Simulación de propuesta de repotenciación del sistema de conducción (Velocidades)**

Con las propuestas realizadas en la línea de distribución, los resultados obtenidos de presión y velocidad se resumen en las tablas 21 y 22 (ver anexo2).

### 3.3.2 Propuesta de mejora en la distribución

#### 3.3.2.1 Simulación dinámica

Con base a la simulación realizada de presión y velocidades en la línea de distribución se propone que las presiones se acerquen a cumplir con la normativa EMAPS-Q 2008 con las modificaciones de diámetros internos de algunas tuberías (ver tabla 16).

**Tabla 16. Propuestas de cambios diámetros en tuberías.**

Id Tuberías	Diámetro comercial (mm)	Presión máxima de trabajo (m.c.a)
p3	22	160
p12	22	160
p15	22	160
p16	22	160
p17	22	160
p22	22	160
p23	22	160
p24	22	160







### 3.3.3 Propuesta de mejora en el tanque de distribución

Debido a la falta de volumen en el tanque actual de distribución se plantea dos propuestas. La primera construir un nuevo tanque de distribución con un volumen de 23.45 metros cúbicos para tener así un valor mayor de volumen, el cual nos ayude a facilitar la distribución y la segunda propuesta es realizar la distribución a partir del tanque de almacenamiento dos debido a que este tiene un mayor volumen al tanque de distribución actual (ver tabla 17).

*Tabla 17. Ubicación y volumen del tanque de almacenamiento 2*

Ubicación	Coordenada norte	Coordenada Este
	99973451	772357
Descripción	Dimensiones	Unidades
Largo	2,8	m
Ancho	2,8	m
Altura	1,68	m
Volumen del tanque actual	13,1712	m3

### 3.3.4 Operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento

De acuerdo al manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable rurales por gravedad se propone realizar acciones de operación y mantenimiento al sistema de abastecimiento de la Comuna [33].

#### **Operación:**

En la línea de conducción colocar válvulas de desagüe en las partes bajas para facilitar la limpieza y válvulas de aire en las partes altas para evitar el bloqueo durante su llenado.

En el caso de que las tuberías se encuentren a plena vista, colocar en un paso elevado.

Asesoramiento con personal técnico especializado en sistemas de riego y agua potable.

Aplicación de normativas para agua potable y agua de riego durante la gestión.

Crear alianzas estratégicas para llevar a cabo los proyectos que sean de beneficio común.

#### **Mantenimiento**

Realizar mensualmente la limpieza interna y externa y de los alrededores del sistema de abastecimiento (tanques de distribución, tanques rompe presión y tanques de almacenamiento).

Inspeccionar semanalmente las tuberías de conducción y distribución con el fin de verificar el correcto funcionamiento, observando que no se encuentren expuestas a un factor que haga que se rompan o tenga grietas.

Anualmente se debe pintar las piezas metálicas del sistema de abastecimiento con pintura anticorrosiva.

## **4 CONCLUSIONES**

En el levantamiento de información, se obtuvo que el número actual de habitantes en la Comuna Chilibulo Marcopamba La Raya es de 172, quienes hacen uso del agua para la agricultura y un sector reducido de 6 familias para uso doméstico. Además, cuenta con un uso público para la cancha de fútbol que tiene la comuna, donde los fines de semana en tiempos normales llegan aproximadamente 900 personas.

De las propuestas elaboradas para el mejoramiento del sistema de abastecimiento, la que se puede poner en marcha de manera inmediata son las acciones de operación y mantenimiento, ya que mediante las visitas técnicas realizadas se observó que un tramo de la línea de conducción se encontraba desprotegida, siendo esta visible para cualquier persona que pasará por ese lugar.

Se determinó el caudal actual de la fuente de abastecimiento de agua, el cual es 1.28 litros por segundo, sin embargo, este caudal no puede solventar la demanda actual de la población, ya que se necesita un caudal de 1.88 litros por segundo. El valor obtenido de caudal actual no puede satisfacer con las necesidades de la población ya que en el punto de la captación existe un desperdicio de agua que se debe a que el tanque no está dimensionado correctamente.

La máxima necesidad de riego, es en el mes de junio con un requerimiento de 0.226 L/s, siendo los tubérculos como la Mashua y las papas las que necesitan mayor volumen de agua en comparación al resto de cultivos.

De la simulación hidráulica en la conducción las conexiones tienen presiones negativas. Para evitar esto se estableció subir la altura del tanque de captación a 2 metros, reemplazar las tuberías actuales con diferentes diámetros por los planteados en las propuestas de mejoras y quitar el tanque rompe presión.

Se verificó que existen presiones negativas en el sistema estático de distribución, lo que significa que podría generar acumulación de sedimentos en la tubería. Además, se identificó que también hay presiones que están sobre la presión de trabajo de la tubería.

Por lo cual se planteó sustituir las tuberías actuales por unas que soporten las presiones de trabajo de este sistema de abastecimiento.

De la simulación dinámica en la distribución, las conexiones tienen presiones negativas y velocidades muy bajas. Para evitar esto se estimó suplir los diámetros actuales de las tuberías.

En el sistema dinámico de la distribución se evidenció presiones son negativas y mayores a 25 m.c.a. en las conexiones. Para eludir estas presiones, se consideró cambiar los diámetros actuales con soporte de trabajo de presiones altas desde 80 m.ca. hasta 160 m.c.a., además de eliminar el tanque rompe presión. De esta manera tratar de cumplir con la normativa de la EPMAPS-Q 2008.

Se determinó el volumen actual del tanque distribución principal para el caudal máximo diario de 101.95 metros cúbicos por día, por lo cual se plantea que para este caudal el volumen del tanque debe ser de 23.45 m<sup>3</sup>.

## **5 RECOMENDACIONES**

Se debe analizar la posibilidad de captar una fuente y concesionarla para obtener el caudal demandado por la población de 1.88 L/s. Además de construir un nuevo tanque de captación de mayor volumen y a una mayor altura, debido a que actualmente se encuentra casi al ras del suelo.

Las variaciones climáticas de la presente época dificultan las predicciones de riego del programa Cropwat 8.0, por lo que la población debe estar atenta a los cultivos para evitar pérdidas.

Es necesario que la comuna se asesore técnicamente con personal calificado en el manejo de sistemas de agua.

## 6 REFERENCIAS

- [1] C. Ecuador, «Asamblea Consituyente del Ecuador,» 2008. [En línea]. Available: [https://web.oas.org/mla/en/Countries\\_Intro/ecu\\_intro\\_text\\_esp\\_1.pdf](https://web.oas.org/mla/en/Countries_Intro/ecu_intro_text_esp_1.pdf).
- [2] J. Perugachi Cachimuel, La lucha por el agua, Quito: UPS, 2020.
- [3] NTE INEN 1680, «URBANIZACIÓN. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA,» 2014. [En línea]. Available: <https://colegioarquitectosecuador.files.wordpress.com/2013/08/pnte-inen-1680.pdf>.
- [4] J. M. Jiménez Terán, «Manual Para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>.
- [5] M. M. Lossio Aricoché, «Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Para Cuatro Poblados Rurales del Distrito de Lancones,» Abril 2012. [En línea]. Available: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2053/ICI\\_192.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2053/ICI_192.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [6] Universidad Del Norte, «Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano,» 2015. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-FuentesDeAbastecimientoDeAguaParaConsumoHumano-579327.pdf>.
- [7] F. Aguirre Morales, «Abastecimiento de Agua Potable para Comunidades Rurales,» 2015. [En línea]. Available: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64531470/98%20ABASTECIMIENTO%20DE%20AGUA%20PARA%20COMUNIDADES%20RURALES-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1638374112&Signature=Rz2oetn9EFNFw~JDVEOD5oXpBiZAd~HD3BwZn5gMfQBkLsgwUb~xHVt2sfOfchaLbr2wtjKlInrHKzHmnG3SQZoyXOqK7>.
- [8] INEC, «INEC,» Diciembre 2018. [En línea]. Available: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2017/Agua\\_potable\\_alcantarillado-2017/DOCUMENTO\\_METODOLOGICO%20AGUA%202017.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2017/Agua_potable_alcantarillado-2017/DOCUMENTO_METODOLOGICO%20AGUA%202017.pdf).

- [9] D. R. Meneses Carranco, «Evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable y proyecto de mejoramiento en la Población de Nanegal, Cantón Quito, Provincia de Pichincha,» julio 2013. [En línea]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2087/1/T-UIDE-1205.pdf>.
- [10] R. A. Pittman, Agua Potable para poblaciones Rurales, Lima Perú: SER, 1997.
- [11] SIAPA, «Lineamientos Técnicos Para Factibilidades, Sistemas de Agua Potable,» Febrero 2014. [En línea]. Available: [https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo\\_2.\\_sistemas\\_de\\_agua\\_potable-1a.\\_parte.pdf](https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_2._sistemas_de_agua_potable-1a._parte.pdf).
- [12] R. Pérez Carmona, Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carretera, Bogotá: ECOE EDICIONES, 2013.
- [13] eoi, «eoi,» [En línea]. Available: <file:///D:/rec2021/Downloads/componente45475.pdf>.
- [14] «NORMA CO10.7-602,» de *NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS*, Quito, Secretaría del agua, 2010, p. 43.
- [15] Junta de Andalucía, «Manual de Riego para Agricultores Módulo 3,» 2010. [En línea]. Available: [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego\\_por\\_aspersion.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf).
- [16] CONAGUA, Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de redes de distribución de agua potable, 2015.
- [17] EMMAPS, «Estructura de servicio de agua potable,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.aguaquito.gob.ec/4126-2/>.
- [18] EMAAP-Q, Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EMAAP-Q, 2008.
- [19] Grupo REDHISP, «Grupo REDHISP,» Mayo 2017. [En línea]. Available: [https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual\\_esp\\_v20012\\_ext.pdf](https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v20012_ext.pdf).

- [20] Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos, «Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos,» [En línea]. Available: [https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET\\_Manual\\_Usuario.pdf](https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf).
- [21] Ecuador Documents, «Ecuador Documents,» 7 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://fdocuments.ec/document/cropwat-80pdf.html>.
- [22] HidroCHEP, «HidroCHEP,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/hydrotoolbox/herramientas/borrador-herramientas/cropwat>.
- [23] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, «Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,» Marzo 1992. [En línea]. Available: [http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/971/IMTA\\_028.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/971/IMTA_028.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [24] I. Tituaña, Interviewee, *Directivo de la Comuna*. [Entrevista]. Lunes 01 2022.
- [25] A. Kim y J. Ledent, Efectos del viento sobre las plantas., 2014.
- [26] ARISTASUR, «Precipitaciones en meteorología,» s.f s.f 2017. [En línea]. Available: <https://www.aristasur.com/contenido/como-se-miden-las-precipitaciones-en-meteorologia>.
- [27] L. A. Duicela Guambi y R. Corral Castillo, Caracterización física y organoléptica de cafés arábigos en los principales agroecosistemas del Ecuador, Manabí: Consejo Cafetalero Nacional, 2004.
- [28] R. A. López Cualla, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Segunda ed., Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.
- [29] ALEPH, «ALEPH,» 28 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://aleph.org.mx/como-calcular-el-volumen-de-un-tanque-de-agua#:~:text=Mide%20la%20longitud%2C%20la%20anchura,longitud%20x%20anchura%20x%20altura..>
- [30] J. López, Necesidades Hidricas de los Cultivos (Irrigación y Drenaje), Facultad de agronomía, 2007.

- [31] PLASTIGAMA, «Slideshare,» 02 06 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/faustozurita/tuberia-para-canalizaciones-de-agua-potable>.
- [32] R. Fernández Gómez , Manual de Riego para Agricultores Módulo 3: Riego por Aspersión, Sevilla: Junta de Andalucía, 2010.
- [33] unicef, «Manual de Operación y Mantenimiento de sistemas de Agua Potable Rurales por gravedad,» Diciembre 1993. [En línea]. Available: <https://es.ircwash.org/sites/default/files/221-93MA-18138.pdf>.
- [34] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.
- [35] M. Lahlou, Golpe de Ariete (Tecnología en Breve), National Environmental Services Center, 2012.
- [36] D. León y M. Valarezo, DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO PARA EL PROYECTO DE LA HACIENDA GUADALUPE., QUITO: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2011.
- [37] A. W. W. Association, Manual of water supply practices, Air release, Air/ Vacuum and Combination Air Valves, M51 (First), 2011.



## 7 ANEXOS

### 7.1 ANEXO I. TURNITIN

TIC_Cajamarca Edison			
ORIGINALITY REPORT			
10%	10%	1%	3%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS
PRIMARY SOURCES			
1	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Internet Source	1%	
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	1%	
3	<a href="http://repositorio.uladech.edu.pe">repositorio.uladech.edu.pe</a> Internet Source	1%	
4	Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote Student Paper	1%	
5	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet Source	<1%	
6	<a href="http://repositorio.uide.edu.ec">repositorio.uide.edu.ec</a> Internet Source	<1%	
7	Submitted to Universidad Catolica de Trujillo Student Paper	<1%	
8	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Internet Source	<1%	
9	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Internet Source	<1%	

10	<a href="https://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Internet Source	<1 %
11	<a href="https://dspace.uazuay.edu.ec">dspace.uazuay.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
12	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Internet Source	<1 %
13	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
14	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
15	<a href="https://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="https://almaes.com">almaes.com</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="https://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
18	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
19	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
20	<a href="https://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
21	<a href="https://www.grupov.es">www.grupov.es</a> Internet Source	<1 %

22	Submitted to Aliat Universidades Student Paper	<1 %
23	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Student Paper	<1 %
24	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Student Paper	<1 %
25	opac.unellez.edu.ve Internet Source	<1 %
26	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
27	bdigital.zamorano.edu Internet Source	<1 %
28	cienciadigital.org Internet Source	<1 %
29	www.caveguias.com.ve Internet Source	<1 %
30	www.mambiente.munimadrid.es Internet Source	<1 %
31	repositorio.puce.edu.ec Internet Source	<1 %
32	repositorio.unp.edu.pe Internet Source	<1 %
33	worldwidescience.org	

	Internet Source	<1 %
34	<a href="http://www.ceaqueretaro.gob.mx">www.ceaqueretaro.gob.mx</a> Internet Source	<1 %
35	<a href="http://www.cepis.org.pe">www.cepis.org.pe</a> Internet Source	<1 %
36	<a href="http://www.comunidad.madrid">www.comunidad.madrid</a> Internet Source	<1 %
37	<a href="http://www.controlsanitario.gob.ec">www.controlsanitario.gob.ec</a> Internet Source	<1 %
38	<a href="http://axapusco.edomex.gob.mx">axapusco.edomex.gob.mx</a> Internet Source	<1 %
39	<a href="http://deceyec.ife.org.mx">deceyec.ife.org.mx</a> Internet Source	<1 %
40	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
41	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Internet Source	<1 %
42	<a href="http://repositorio.ulvr.edu.ec">repositorio.ulvr.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
43	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
44	<a href="http://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Internet Source	<1 %

45	repositorio.utn.edu.ec Internet Source	<1 %
46	tesis.ucsm.edu.pe Internet Source	<1 %
47	www.nucis.org Internet Source	<1 %
48	www.uasb.edu.ec Internet Source	<1 %
49	MARÍA DEL MAR CARLOS ALBEROLA. "Estudio de la influencia de las ventosas en transitorios hidráulicos con aire atrapado", Universitat Politecnica de Valencia, 2007 Publication	<1 %
50	Xitlali Virginia Delgado Galván. "Aplicación del método de jerarquías analíticas (AHP) a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento", Universitat Politecnica de Valencia, 2011 Publication	<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

## 7.2 ANEXO II. TABLAS

**Tabla 18. Simulación del sistema actual de la conducción (Presiones).**

ID Nudo	Presión (m)
Conexión n1	-0.03
Conexión n2	7.03
Conexión n3	9.19
Conexión n4	9.13
Conexión n6	3.84
Conexión n7	0.43
Conexión n8	-0.37
Conexión n9	2.82
Conexión n10	0.63
Conexión n11	3.89
Conexión n12	-6.04
Conexión n13	-0.86
Conexión n14	-4.10
Conexión n15	2.26
Conexión n16	0.89
Conexión n17	0.16
Conexión n18	0.02
Embalse Captación	0.00
Embalse Distribución	0.00
Embalse T. Almacenamiento1	0.00
Embalse T. Almacenamiento2	0.00
Embalse T. Rompe Presiones	0.00

**Tabla 19. Simulación del sistema actual de conducción (Caudal).**

ID Línea	Caudal (L/s)
Tubería p1	3.82
Tubería p2	3.82
Tubería p3	3.82
Tubería p5	3.82
Tubería p6	3.82
Tubería p7	3.82
Tubería p8	3.82
Tubería p9	3.82
Tubería p10	3.82
Tubería p11	3.82
Tubería p14	3.22
Tubería p19	3.47
Tubería 1	3.82
Tubería 2	3.22
Tubería 3	3.82
Tubería 4	3.62
Tubería 5	3.62
Tubería 6	3.22

Tubería 7	3.47
Tubería 8	3.82

**Tabla 20. Simulación del sistema actual de conducción (Longitud, diámetro, rugosidad, y velocidad).**

ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad (mm)	Velocidad (m/s)
Tubería 1	1	63.5	0.12	1.21
Tubería p1	6.734	63.5	0.12	1.21
Tubería p2	53.03	63.5	0.12	1.21
Tubería p3	35.72	63.5	0.12	1.21
Tubería p4	16.094	63.5	0.12	1.21
Tubería p5	141.5	63.5	0.12	1.21
Tubería p6	161	63.5	0.12	1.21
Tubería p7	94.37	63.5	0.12	1.21
Tubería p8	6.325	63.5	0.12	1.21
Tubería p9	170.2	63.5	0.12	1.21
Tubería p10	358	63.5	0.12	1.21
Tubería p11	25.23	63.5	0.12	1.21
Tubería p12	306.8	63.5	0.12	1.21
Tubería p13	124.8	63.5	0.12	1.10
Tubería p14	106.3	63.5	0.12	1.10
Tubería p15	252.3	63.5	0.12	1.10
Tubería p16	4.123	63.5	0.12	1.14
Tubería p17	219.4	63.5	0.12	1.14
Tubería p18	39.13	63.5	0.12	1.02
Tubería p19	6.403	63.5	0.12	1.02
Tubería 2	1	63.5	0.12	1.02

**Tabla 21. Simulación estática del sistema actual de distribución (Presiones).**

ID Nudo	Presión (m)
Conexión n2	-0.97
Conexión n4	26.34
Conexión n5	51.30
Conexión n6	-0.19
Conexión n7	42.48
Conexión n11	1.98
Conexión n12	2.20
Conexión n13	0.47
Conexión n15	1.00
Conexión n17	10.81
Conexión n18	18.81
Conexión n19	22.94
Conexión n20	25.23
Conexión n21	29.81
Conexión n23	1.81
Conexión n25	7.20
Conexión n26	6.00
Conexión n27	5.00

Conexión n28	57.37
Conexión n29	60.00
Conexión n30	66.00
Embalse Distribución	0.00
Embalse T. Distribución 3	0.00
Embalse T. Rompe presión 2	0.00
Embalse T. Distribución 2	0.00
Embalse T. Rompe presión 1	0.00

**Tabla 22. Simulación dinámica del sistema actual de distribución (Presión)**

ID Nudo	Presión (m)
Conexión n2	-1.01
Conexión n4	26.32
Conexión n5	51.28
Conexión n6	-0.47
Conexión n7	42.47
Conexión n11	1.77
Conexión n12	1.97
Conexión n13	0.40
Conexión n15	1.00
Conexión n17	10.48
Conexión n18	18.44
Conexión n19	22.54
Conexión n20	24.83
Conexión n21	29.41
Conexión n23	1.65
Conexión n25	7.18
Conexión n26	5.98
Conexión n27	4.98
Conexión n28	57.35
Conexión n29	59.98
Conexión n30	65.97
Embalse T. Distribución	0.00
Embalse T. Distribución3	0.00
Embalse T. Rompepresión2	0.00
Embalse T. Distribución2	0.00
Embalse T. Rompepresión1	0.00

**Tabla 23. Simulación dinámica del sistema actual de la distribución (Longitud, diámetro, rugosidad, y velocidad).**

ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad (mm)	Velocidad (m/s)
Tubería p1	100	63.5	0.12	1.21
Tubería p3	100	63.5	0.12	0.05
Tubería p4	12.53	63.5	0.12	4.31
Tubería p7	34.76	63.5	0.12	1.18
Tubería p8	100	63.5	0.12	1.61
Tubería p9	100	63.5	0.12	1.58
Tubería p10	100	63.5	0.12	1.55



Tubería p11	18.96	63.5	0.12	1.52
Tubería p12	85.97	63.5	0.12	0.03
Tubería p13	100	63.5	0.12	0.14
Tubería p14	100	63.5	0.12	0.11
Tubería p15	100	63.5	0.12	0.08
Tubería p16	100	63.5	0.12	0.05
Tubería p17	69.29	63.5	0.12	0.02
Tubería p18	100	63.5	0.12	4.16
Tubería p19	28.13	63.5	0.12	4.13
Tubería p21	100	63.5	0.12	0.04
Tubería p22	46.79	63.5	0.12	0.01
Tubería p23	100	63.5	0.12	0.04
Tubería p24	38.98	63.5	0.12	0.01
Tubería p25	57.55	63.5	0.12	0.02
Tubería 4	65.6	63.5	0.12	3.32
Tubería 5	100	63.5	0.12	0.07
Tubería 6	100	63.5	0.12	0.07
Tubería 7	100	63.5	0.12	0.08

**Tabla 24. Simulación de propuesta de repotenciación del sistema de conducción (Presión).**

<b>ID Nudo</b>	<b>Presión (m)</b>
Conexión n1	1.96
Conexión n2	8.98
Conexión n3	10.73
Conexión n4	10.40
Conexión n6	4.99
Conexión n7	0.52
Conexión n8	1.22
Conexión n9	3.69
Conexión n10	1.46
Conexión n11	3.44
Conexión n12	0.41
Conexión n13	5.39
Conexión n15	0.38
Conexión n16	0.16
Conexión n17	0.02
Conexión n18	0.89
Conexión n20	5.42
Conexión T. Rompe presión	3.94
Embalse Captación	0.00
Embalse Distribución	0.00
Embalse T. Almacenamiento1	0.00
Embalse T. Almacenamiento2	0.00

**Tabla 25. Simulación de propuesta de repotenciación del sistema de conducción (Longitud, diámetro, rugosidad, y velocidad)**

<b>ID Línea</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Rugosidad (mm)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
Tubería p1	6.734	63.5	0.12	1.35
Tubería p2	53.03	63.5	0.12	1.35
Tubería p3	35.72	63.5	0.12	1.35
Tubería p5	141.5	63.5	0.12	1.35
Tubería p6	161	71.4	0.12	1.07
Tubería p7	94.37	63.5	0.12	1.35
Tubería p8	6.325	63.5	0.12	1.35
Tubería p9	170.2	63.5	0.12	1.35
Tubería p10	358	81.4	0.12	0.82
Tubería p11	25.23	63.5	0.12	1.35
Tubería p14	6.403	63.5	0.12	1.02
Tubería p19	106.3	63.5	0.12	1.35
Tubería 1	1	63.5	0.12	1.35
Tubería 2	1	63.5	0.12	1.02
Tubería 3	16.094	63.5	0.12	1.35
Tubería 4	4.123	63.5	0.12	1.14
Tubería 5	219.4	63.5	0.12	1.14
Tubería 6	39.13	63.5	0.12	1.02
Tubería 7	252.3	63.5	0.12	1.35
Tubería 8	306.8	63.5	0.12	1.35
Tubería 9	124.8	71.4	0.12	1.07

**Tabla 26. Simulación dinámica de la propuesta en el sistema de distribución (Presión)**

<b>ID Nudo</b>	<b>Presión (m)</b>
Conexión n2	1.09
Conexión n4	22.71
Conexión n5	46.21
Conexión n6	1.28
Conexión n7	39.32
Conexión n11	1.77
Conexión n12	1.97
Conexión n13	0.40
Conexión n15	0.58
Conexión n17	9.52
Conexión n18	15.75
Conexión n19	15.92
Conexión n20	16.55
Conexión n21	20.91
Conexión n23	2.03
Conexión n25	3.84
Conexión n26	2.54
Conexión n27	1.50
Conexión n28	53.05
Conexión n29	55.65
Conexión n30	60.80

Embalse T.Distribución	0.00
Embalse T.Distribución3	0.00
Embalse T.Rompepresión2	0.00
Embalse T.Distribución2	0.00
Embalse T.Rompepresión1	0.00

**Tabla 27. Simulación dinámica de la propuesta en el sistema de distribución (Longitud, diámetro, rugosidad, y velocidad).**

ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad (mm)	Velocidad (m/s)
Tubería p1	100	99.6	0.12	0.87
Tubería p3	100	22	0.12	0.40
Tubería p4	12.53	70.4	0.12	3.58
Tubería p7	34.76	63.5	0.12	2.12
Tubería p8	100	63.5	0.12	1.61
Tubería p9	100	63.5	0.12	1.58
Tubería p10	100	63.5	0.12	1.55
Tubería p11	18.96	63.5	0.12	1.52
Tubería p12	85.97	22	0.12	0.22
Tubería p13	100	29	0.12	0.68
Tubería p14	100	29	0.12	0.54
Tubería p15	100	22	0.12	0.68
Tubería p16	100	22	0.12	0.43
Tubería p17	69.29	22	0.12	0.17
Tubería p18	100	63.5	0.12	4.25
Tubería p19	28.13	63.5	0.12	4.22
Tubería p21	100	37	0.12	0.13
Tubería p22	46.79	22	0.12	0.12
Tubería p23	100	22	0.12	0.35
Tubería p24	38.98	22	0.12	0.10
Tubería p25	57.55	22	0.12	0.15
Tubería 4	65.6	63.5	0.12	3.32
Tubería 5	100	22	0.12	0.62
Tubería 6	100	22	0.12	0.60
Tubería 7	100	22	0.12	0.65

**Tabla 28. Simulación estática de propuesta de repotenciación del sistema de distribución (Presión).**

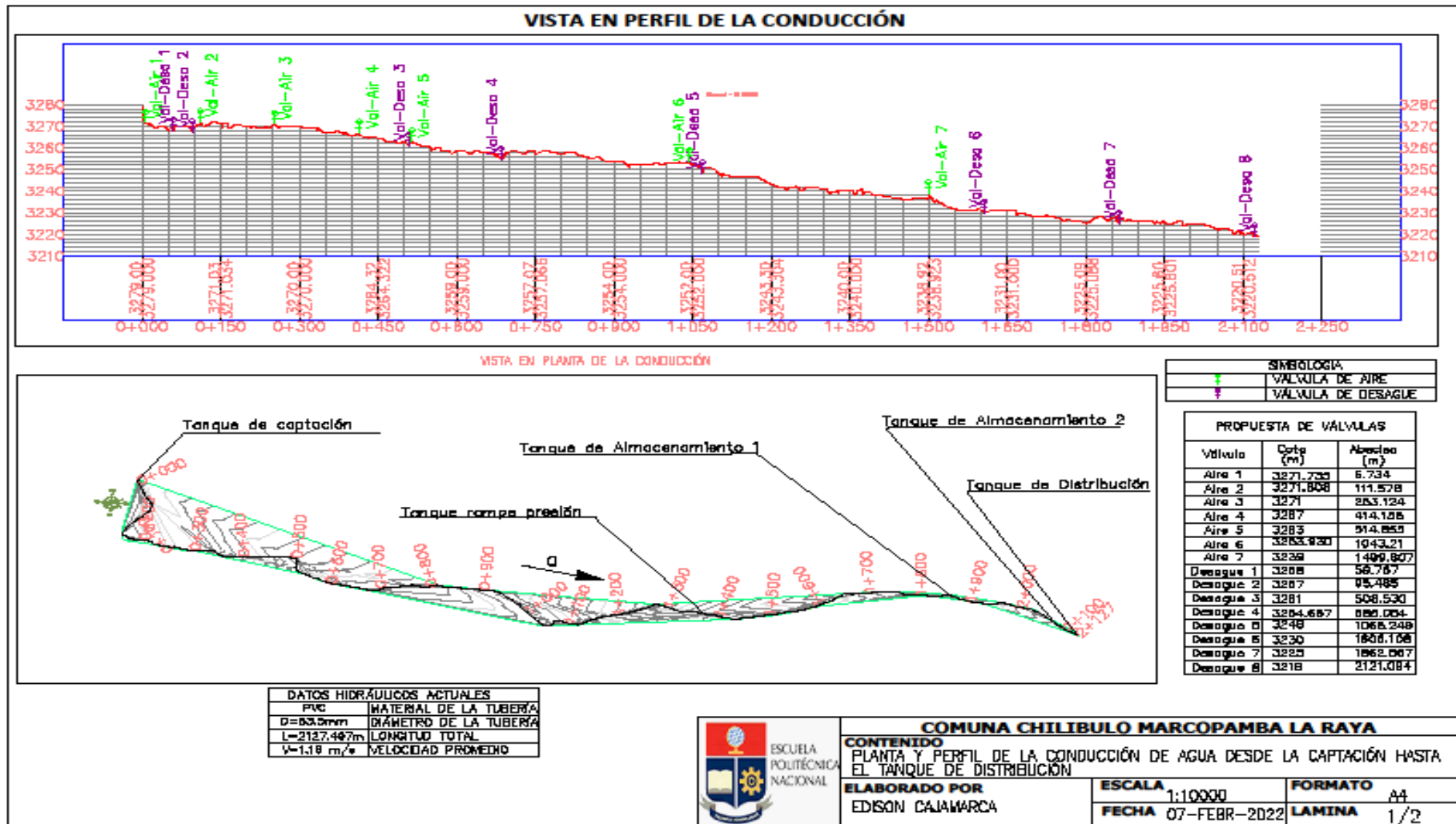
ID Nudo	Presión (m)
Conexión n2	1.11
Conexión n4	26.34
Conexión n5	51.30
Conexión n6	1.46
Conexión n7	42.48
Conexión n11	1.98
Conexión n12	2.20
Conexión n13	0.47
Conexión n15	1.00
Conexión n17	12.46
Conexión n18	20.46

Conexión n19	24.58
Conexión n20	26.88
Conexión n21	31.46
Conexión n23	2.18
Conexión n25	7.20
Conexión n26	6.00
Conexión n27	5.00
Conexión n28	57.37
Conexión n29	60.00
Conexión n30	66.00
Embalse T.Distribución	0.00
Embalse T.Distribución3	0.00
Embalse T.Rompepresión2	0.00
Embalse T.Distribución2	0.00
Embalse T.Rompepresión1	0.00

**Tabla 29. Método de la curva integral de consumo**

HORA	CONSUMO	S CONSUMO	S (%)	S S	D (S-C)	SD (S-C)	V (%)
	(consumo horario)	Curva integral de consumo (consumo acumulado)	Suministro horario continuo	Curva integral de suministro (suministro acumulado)	Déficit horario	Déficit acumulado	Volumen horario del agua en el tanque
1	1,00	1,00	4,17	4,17	3,17	3,17	11,17
2	1,00	2,00	4,17	8,33	3,17	6,33	14,33
3	1,00	3,00	4,17	12,50	3,17	9,50	17,50
4	1,00	4,00	4,17	16,67	3,17	12,67	20,67
5	2,00	6,00	4,17	20,83	2,17	14,83	22,83
6	4,00	10,00	4,17	25,00	0,17	15,00	23,00
7	9,50	19,50	4,17	29,17	-5,33	9,67	17,67
8	8,00	27,50	4,17	33,33	-3,83	5,83	13,83
9	7,00	34,50	4,17	37,50	-2,83	3,00	11,00
10	4,00	38,50	4,17	41,67	0,17	3,17	11,17
11	3,00	41,50	4,17	45,83	1,17	4,33	12,33
12	5,50	47,00	4,17	50,00	-1,33	3,00	11,00
13	9,00	56,00	4,17	54,17	-4,83	-1,83	6,17
14	5,00	61,00	4,17	58,33	-0,83	-2,67	5,33
15	3,00	64,00	4,17	62,50	1,17	-1,50	6,50
16	2,50	66,50	4,17	66,67	1,67	0,17	8,17
17	3,00	69,50	4,17	70,83	1,17	1,33	9,33
18	3,50	73,00	4,17	75,00	0,67	2,00	10,00
19	5,00	78,00	4,17	79,17	-0,83	1,17	9,17
20	9,00	87,00	4,17	83,33	-4,83	-3,67	4,33
21	8,50	95,50	4,17	87,50	-4,33	-8,00	0
22	2,00	97,50	4,17	91,67	2,17	-5,83	-2,17
23	1,50	99,00	4,17	95,83	2,67	-3,17	-4,83
24	1,00	100,00	4,17	100,00	3,17	0,00	-8,00

### 7.3 ANEXO III. PLANOS





## 7.4 ANEXO IV. MEMORIA TÉCNICA

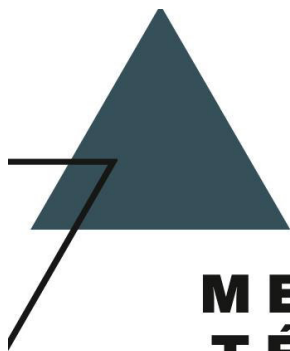


**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE  
MEJORAS AL SISTEMA DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA  
COMUNA CHILIBULO MARCOPAMBA LA  
RAYA – EVALUACIÓN HIDRÁULICA**

**AUTOR:  
EDISON CAJAMARCA**





# MEMORIA TÉCNICA

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA COMUNA CHILIBULO MARCOPAMBA LA RAYA - EVALUACIÓN HIDRÁULICA



01

El presente proyecto busca evaluar los componentes hidráulicos presentes en el sistema de abastecimiento de agua de la comuna Chilibulo Marcopamba La Raya, desde la captación pasando por tanques de almacenamiento, tanques rompe presiones y su sistema de distribución. dentro de esto se realizará visitas técnicas para un levantamiento de información de la población mediante encuestas, así como la recopilación de datos del sistema a fin de conocer las características de consumo y posibles factores que inciden en la adecuación del suministro. Los caudales de consumo actuales y futuros requeridos por la población se evaluarán estimando la dotación de recursos hídricos de cada habitante de la comunidad.





## VISITAS TÉCNICAS

Para el desarrollo del proyecto se realizaron 4 visitas con el fin de realizar las siguientes actividades:



### PRIMERA VISITA

Para la aprobación del proyecto realizó una solicitud dirigida al Señor presidente la comuna, quien delego a dos representantes encargadas del sistema de abastecimiento actual como personal de apoyo durante el desarrollo de todo el Proyecto.



### SEGUNDA VISITA

Reconocimiento de las fuentes de abastecimiento, aforo de caudales, medición de caudales y observaciones del lugar de estudio, tipos de tuberías y la conducción.



### TERCERA VISITA

Con la colaboración del Sr. Raúl Betún, se realizó la toma de los puntos georreferenciados de la línea de conducción con un GPS marca GARMIN GPSMAP 64ST.



### CUARTA VISITA

Para finalizar se tomó puntos georreferenciados de la línea distribución, a partir del tanque de distribución.

# LEVANTAMIENTO DE PUNTOS GEORREFERENCIADOS

En la toma de los puntos georreferenciados de la conducción y distribución, se tuvo un manejo adecuado del GPS, para obtener la precisión y ubicación adecuada de cada uno de los puntos.



Se realizó mediante un recorrido a lo largo de las líneas de conducción y distribución, donde se tomaron puntos de interés como tanques de almacenamiento, tanques rompe presiones, etc.



03



## DETERMINACIÓN DE POBLACIÓN

Por la situación sanitaria del Covid 19, aún presente en el año 2022, se dificultó la obtención de información del censo de la zona y debido a que las autoridades comunitarias no poseen datos del número de habitantes en años anteriores



Se utilizó la población actual para obtener el cálculo del caudal diseño. Se debe tomar en cuenta que existen 6 familias con una media de 5 integrantes que utilizan el caudal de agua de riego para su uso doméstico, 142 personas utilizan el agua exclusivamente para riego, además se utiliza en una cancha futbol con una capacidad de 900 personas.

# ANÁLISIS DEL CLIMA

Se utilizó datos meteorológicos de la estación más cercana a la zona, con la intención de estimar las necesidades hídricas de los cultivos. Debido a la falta de datos meteorológicos de la zona, se utilizó la estación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) con sede en Quito

Meses	Temp min	Temp Max	% Humedad	Viento (m/s)	Insolación	Precip
Enero	9.6	20.5	75	3	12	82.9
Febrero	10	20.8	76	3	12	113.5
Marzo	10	20.7	77	2.9	12	114.5
Abril	10.1	20.8	78	3	12	163.1
Mayo	9.9	20.9	76	2.8	12	102.4
Junio	9.5	21	69	3	12	60.7
Julio	9.2	21.4	64	3.4	12	26.7
Agosto	9.5	21.4	63	3.6	12	26.9
Septiembre	9.3	22.2	66	3.4	12	91.3
Octubre	9.3	21.6	73	3.3	12	109.7
Noviembre	9.3	21.2	75	3.2	12	151.9
Diciembre	9.6	21.2	76	3.1	12	96.7

Tabla 1. Clima medio mensual durante los años 1975 al 2014

Determinar las características climáticas de la zona, ayudará a determinar de manera precisa el caudal de riego requerido para las plantaciones de: habas, papas, melloco, maíz, mashua, choclo, ocas.

La estación se encuentra ubicada a una altitud de 2789 m, su latitud es  $-0.167$  y su longitud es  $-78.483$ . Para estimar el requerimiento hídrico de los cultivos en el programa Cropwat 8.0, fue necesario tener las siguientes variables tales como: precipitación (mm), temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidad del viento (m/s) y humedad atmosférica (%).

# COEFICIENTES DE CULTIVO

En el apartado de cultivo del software Cropwat 8.0, se ingresaron datos de coeficientes de cultivo (Kc), ciclo vegetativo, fecha de siembra, profundidad radicular, agotamiento crítico y altura del cultivo. Estos datos fueron obtenidos de la guía de evapotranspiración de la FAO.

Tabla 2. Coeficiente de cultivo (Kc)

Cultivo	Kc		
	Inicial	Medio	Final
Habas	0.15	1.10	1.05
Papas	0.15	1.10	0.65
Melloco	0.15	1	0.85
Maiz	0.15	1.15	0.5
Mashua	0.15	0.95	0.85
Choclo	0.15	1.1	1
Ocas	0.15	0.95	0.85

Tabla 3. Etapas de crecimiento, mes de siembra y altura de cultivo

Cultivos	Mes de siembra	Etapas (días)					Altura de cultivo (m)
		Inicial	Desarrollo	Media	Fin de temporada	Total	
Habas	Noviembre	90.0	45.0	40.0	60.0	235.0	1.5
Papas	Mayo	25.0	30.0	45.0	30.0	130.0	0.4
Melloco	Octubre	10.0	10.0	15.0	5.0	40.0	0.8
Maiz	Abril	30.0	40.0	50.0	50.0	170.0	5.0
Mashua	Marzo	30.0	45.0	90.0	15.0	180.0	0.4
Choclo	Abril	30.0	30.0	30.0	10.0	100.0	5.0
Ocas	Febrero	25.0	30.0	90.0	15.0	160.0	0.4

Tabla 4. Profundidad radicular, factor de agotamiento y factor de respuesta

Cultivos	Profundidad radicular (m)		Factor Agotamiento			Factor de Respuesta					
	Inicial	Final	Inicial	medio	final	F1	F2	F3	F4	F5	f promedio
Habas	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.9	1.0	1.3	1.4	1.2	1.2
Papas	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1
Melloco	0.7	0.5	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1
Maiz	1.5	0.6	1.5	0.6	0.6	0.9	1.5	1.4	1.4	1.1	1.3
Mashua	0.7	0.4	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1
Choclo	1.0	0.5	1.0	0.6	0.6	0.9	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3
Ocas	0.7	0.4	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1

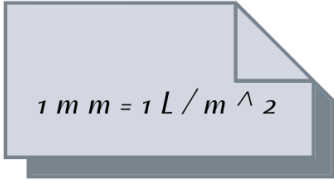




## COEFICIENTES DE CULTIVO

Después de ingresar los datos de clima, precipitación y cultivo al Cropwat 8.0, se efectuó el cálculo del requerimiento de agua para cultivo (RAC). El requerimiento de riego (mm/dec) es el resultado de la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva.

El total de requerimiento del agua se expresa como milímetros por cada diez días (mm/dec), para expresar estos valores en unidades de volumen es necesario un factor de conversión que equivale a


$$1 \text{ m m} = 1 \text{ L} / \text{m}^2$$

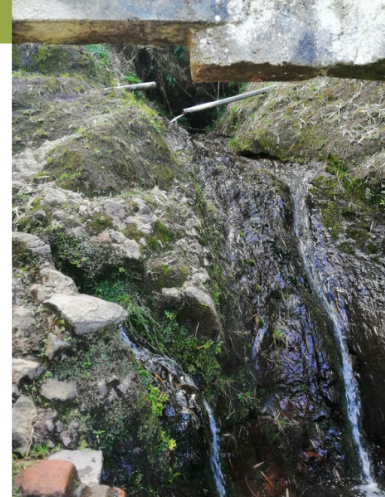
Después de ingresar los datos de clima, precipitación y cultivo al Cropwat 8.0, se efectuó el cálculo del requerimiento de agua para cultivo (RAC). El requerimiento de riego (mm/dec) es el resultado de la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva

## CAUDAL DE LA FUENTE

El caudal que proporciona la fuente a la población es de 0.0128 metros cúbicos por segundo. Es decir, el caudal que actualmente utiliza la población es de 1.28 litros por segundo.

Fuente	Método	Volumen	Tiempo	Q	Qpromedio
		ml	Seg	(m <sup>3</sup> /seg)	(m <sup>3</sup> /s)
Tanque de captación	Ultrasonido	-	-	-	0.00044
Vertiente Ashnituro aguas abajo	Volumétrico	510	7.42	0.00069	0.0083
		480	5.24	0.00092	
		500	5.64	0.00089	
<b>Total</b>					<b>0.00128</b>

Tabla 5.- Volumen y tiempo de los afloros.



## REQUERIMIENTO DE AGUA PARA CULTIVO (RAC)

Existen cultivos que requieren mayor cantidad de riego como lo es el maíz o las papas, por otra parte, el melloco es el cultivo que demanda menor cantidad de riego. Los valores representados con cero, se debe a que la precipitación es suficiente para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos y no es necesario regar en esos meses.

Mes	Requerimiento de riego L/seg							
	Choclo	Haba	Maíz	Mashua	Melloco	Ocas	Papas	Q Anual
Marzo		0.014		0.000		0.003		0.018
Abril	0.000	0.008	0.000	0.000		0.002		0.010
Mayo	0.006	0.016	0.004	0.010		0.011	0.000	0.046
Junio	0.024	0.015	0.025	0.019		0.018	0.014	0.115
Julio	0.009		0.037	0.029		0.008	0.035	0.117
Agosto			0.031	0.025			0.032	0.088
Septiembre			0.004				0.006	0.009
Octubre						0.006		0.006
Noviembre						0.001		0.001

Tabla 6. Necesidad de riego mensual por cultivo.

## CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño a utilizarse es de 2.17 L/s, es la cantidad de agua que necesita la población para llevar a cabo sus actividades domesticas diarias, regar sus campos de cultivo y utilizar en su cancha de futbol, mientras que el caudal captado actualmente es de 1.28 L/s. La demanda supera el abastecimiento por 0.89 L/s, por lo que es necesario que la comunidad, realice la concepción de un nuevo caudal indicando que este va hacer utilizado para consumo humano y riego para satisfacer sus necesidades.

Pérdidas	20%	
Consumo Neto	364.00	L/hab*día
Consumo Total	455.01	L/hab*día
Qpromedio	0.91	L/s
k1	1.3	
k2	1.6	
Qmáx diario	1.18	L/s
Qmáx horario	1.88	L/s

Tabla 7. Caudal de diseño

POBLACION	USO	Demanda L/d	Unidades	Dotación L/vis*día	Dotación L/hab*día
172					
Doméstico	Lavado de ropa	56.67	6		1.98
	Riego de jardines	116.67	6		4.07
	Servicio Sanitario	140.00	6		4.88
	Aseo personal	326.67	6		11.40
	Preparación de alimentos	233.33	6		8.14
	Limpieza en general	50.00	6		1.74
	Aseo mascotas	326.67	6		11.40
	<b>SUBTOTAL</b>				
Agrícola	Parcelas de cultivo	10108.8	1		58.77
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>58.77</b>
Público	Cancha de futbol		900	50.00	261.63
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>261.63</b>

Tabla 8. Consumo de agua



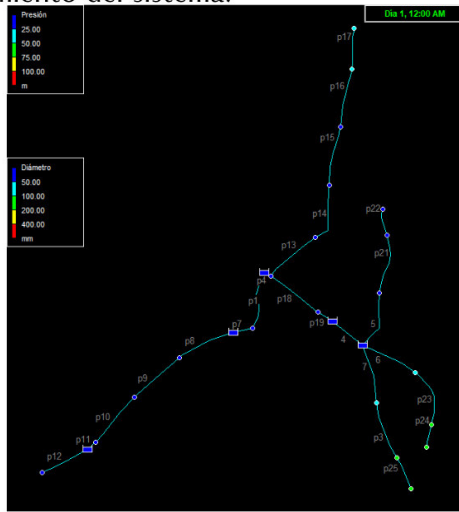
# PROPUESTAS

## LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN

Tuberías propuestas para ser cambiadas

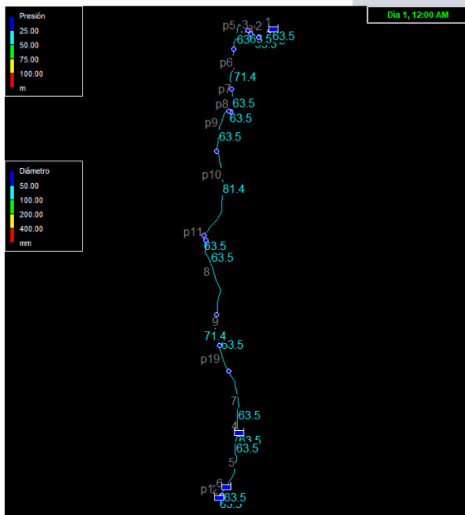
Id Tuberías	Diámetro comercial (mm)	Presión máxima de trabajo (m.c.a)
p3	22	160
p12	22	160
p15	22	160
p16	22	160
p17	22	160
p22	22	160
p23	22	160
p24	22	160
p25	22	160
5	22	160
6	22	160
7	22	160
p13	29	125
p14	29	125
p21	37	100
p4	70.4	80
p1	99.6	125

Cambio de diámetros internos de la tubería en la línea de distribución, para evitar presiones negativas y velocidades bajas, que no permita un correcto funcionamiento del sistema.



## LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN

Cambio de diámetros internos de la tubería en la línea de conducción, con el fin de eliminar presiones negativas y tener presiones adecuadas de funcionamiento.



## TANQUE DE CAPTACIÓN

Diseñar un nuevo tanque de captación, este debe ser más grande para evitar las pérdidas de caudal y con una mayor altura para aumentar la carga hidráulica.



## TANQUE DE DISTRIBUCIÓN

Diseñar un nuevo tanque de distribución con un volumen de 23.45 m<sup>3</sup> cúbicos, esto nos ayudará a facilitar la distribución.



## ADMINISTRACIÓN Y OPERACIÓN.

Actualmente la estructura no posee mantenimiento preventivo, solo correctivo es decir cada vez que un componente del sistema resulta con un daño irreversible. Es necesario que se asesoren técnicamente con personal capacitado en el manejo de sistemas de agua y de esta forma se vaya estableciendo un control dentro del sistema. Asesorarse con personal técnico especializado en sistemas de riego y agua potable. Crear alianzas estratégicas para llevar a cabo los proyectos que sean de beneficio común.

En la línea de conducción a partir del tanque de captación colocar válvulas de desagüe en las partes bajas para facilitar la limpieza y válvulas de aire en las partes altas para evitar el bloqueo durante su llenado.



PROPUESTA DE VÁLVULAS		
Válvula	Cota (m)	Abscisa (m)
Aire 1	3271.735	6.734
Aire 2	3271.808	111.578
Aire 3	3271	253.124
Aire 4	3267	414.158
Aire 5	3263	514.855
Aire 6	3253.930	1043.21
Aire 7	3239	1499.807
Desague 1	3268	59.767
Desague 2	3267	95.485
Desague 3	3261	508.530
Desague 4	3254.667	685.054
Desague 5	3248	1068.249
Desague 6	3230	1606.108
Desague 7	3225	1862.567
Desague 8	3219	2121.094

## MANTENIMIENTO.

Se debe llevar a cabo diversas actividades, como lo es la impermeabilización de los tanques de almacenamiento, las tuberías que conducen el agua deben estar enterradas, esto se puede lograr con un programa de mantenimiento preventivo. La revisión continua del sistema en busca de fugas para obtener el mayor rendimiento del sistema. El área de captación debe tener su respectivo cuidado, se debe eliminar factores que alteren la calidad del agua como la presencia de animales, entrada de polvo y plantas creciendo a los alrededores, al igual que limpiezas mensuales de las estructuras críticas para el funcionamiento del sistema.

## MEDIDAS DE SEGURIDAD








Dentro de las instalaciones se debe utilizar equipo de protección personal como lo es: botas, casco y guantes. Además, se debe colocar una señalética adecuada para la prevención de accidentes, cuidar las herramientas, accesorio y verificar el correcto funcionamiento de cerramiento. Aplicación de normativas para agua potable y agua de riego durante la gestión.



## CONCLUSIONES

- ✓ En el levantamiento de información, se obtuvo que la población actual de la Comuna Chilibulo Marcopamba La Raya es de 172 habitantes, quienes hacen uso del agua para la agricultura y un sector reducido de 6 familias para uso doméstico. Además, cuenta con un uso público para la cancha de fútbol que tiene la comuna, donde los fines de semana en tiempos normales llegan aproximadamente 900 personas.
- ✓ De las visitas técnicas realizadas para evaluar la situación actual hidráulica del sistema permitieron observar que en la línea de conducción en unos tramos la tubería estaba visible y colgada.
- ✓ Se determinó el caudal actual de la fuente de abastecimiento de agua que proporciona a la comuna es de 1.28 litros por segundo, pero que no es el adecuado para satisfacer la demanda de agua, ya que se necesita para cubrir la demanda de la población un caudal de 2.17 litros por segundo. Además, que en el tanque de captación existe un desperdicio de agua debido a que el tanque es demasiado pequeño y no tiene una estructura adecuada.
- ✓ La máxima necesidad de riego, es en el mes de junio con un requerimiento de 0.226 L/s, siendo los tubérculos como la Mashua y las papas las que necesitan mayor volumen de agua en comparación al resto de cultivos.

-  De la simulación hidráulica en la conducción las conexiones tienen presiones negativas. Para evitar esto se estimó subir la altura del tanque de captación y cambiar los diámetros actuales de las tuberías por los descritos en las propuestas de mejoras.
  
-  En el sistema estático de distribución se constató que existen presiones negativas, lo que significa que podría generar acumulación de sedimentos en la tubería. Además, se identificó que también hay presiones que sobrepasan la presión de trabajo de la tubería. Por lo cual se planteó cambiar los diámetros de las tuberías por unas que soporten las presiones de trabajo de este sistema de abastecimiento.
  
-  De la simulación dinámica en la distribución, las conexiones tienen presiones negativas y velocidades muy bajas. Para evitar esto se estimó cambiar los diámetros actuales de las tuberías.
  
-  En el sistema dinámico de la distribución se evidenció presiones son negativas y mayores a 25 m.c.a. en las conexiones. Para eludir estas presiones, se consideró cambiar los diámetros actuales con soporte de trabajo de presiones altas desde 80 m.c.a. hasta 160 m.c.a., además de eliminar el tanque rompe presión. De esta manera tratar de cumplir con la normativa de la EPMAPS-Q 2008
  
-  Se determinó el volumen actual del tanque distribución principal para el caudal máximo diario de 101.95 metros cúbicos por día, por lo cual se plantea que para este caudal el volumen del tanque debe ser de 23.45 m<sup>3</sup>



## RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe analizar la posibilidad de captar una fuente y concesionarla para obtener el caudal demandado por la población de 2.17 L/s. Además de construir un nuevo tanque de captación de mayor volumen y a una mayor altura, debido a que actualmente se encuentra casi al ras del suelo.
- ✓ Las variaciones climáticas de la presente época dificultan las predicciones de riego del programa Cropwat 8.0, por lo que la población debe estar atenta a los cultivos para evitar pérdidas.
- ✓ Se recomienda en la conducción colocar válvulas de aire y válvulas de desagüe en la parte alta y baja respectivamente, para evitar daños en las tuberías
- ✓ Es necesario que la comuna se asesore técnicamente con personal capacitado en el manejo de sistemas de agua.