

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil:

TRABAJO DE TITULACIÓN

**“MEJORA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE  
MEDIANTE GESTIÓN Y MODELACIÓN MATEMÁTICA DE UN SISTEMA  
RURAL ANDINO”.**

**AUTOR:**

Cristian Octavio Salazar Asqui

**TUTORA:**

Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez MSc.

**Riobamba - Ecuador 2022**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Salazar Asqui Cristian Octavio**, con cédula de ciudadanía **060424222**, autor del trabajo de investigación titulado: **“MEJORA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE MEDIANTE GESTIÓN Y MODELACIÓN MATEMÁTICA DE UN SISTEMA RURAL ANDINO”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



---

Sr. Salazar Asqui Cristian Octavio

C.I. 060412422-2

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**MEJORA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE MEDIANTE GESTIÓN Y MODELACIÓN MATEMÁTICA DE UN SISTEMA RURAL ANDINO**” presentado por **Cristian Octavio Salazar Asqui** con cedula de identidad **0604124222**, bajo la tutoría de **MSc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez**. Certificamos que recomendamos la **APROBACION** de este con fines de titulación.

Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchado la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de mayo de 2022.

PhD. Manuel Antonio Meneses Freire  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



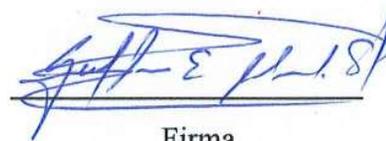
Firma

Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

PhD. Guillermo Edvin Machado Sotomayor  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutora y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: “**MEJORA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE MEDIANTE GESTIÓN Y MODELACIÓN MATEMÁTICA DE UN SISTEMA RURAL ANDINO**”, presentado por **Cristian Octavio Salazar Asqui**, con cédula de identidad **0604124222**, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchado la sustentación por parte de su tutor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de mayo de 2022.

Para constancia de lo expuesto firman:

PhD. Manuel Antonio Meneses Freire  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Firma

Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Firma

PhD. Guillermo Edvin Machado Sotomayor  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Firma

MSc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez  
**TUTORA**

Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **SALAZAR ASQUI CRISTIAN OCTAVIO** con CC: 060412422-2, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**MEJORA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE MEDIANTE GESTIÓN Y MODELACIÓN MATEMÁTICA DE UN SISTEMA RURAL ANDINO**", que corresponde al dominio científico **DESARROLLO TERRITORIAL-PRODUCTIVO Y HÁBITAT SUSTENTABLE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA** y alineado a la línea de investigación **INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**, cumple con el 4 %, reportado en el sistema antiplagio **Urkund**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 21 de abril de 2022



Firmado electrónicamente por:  
**MARIA GABRIELA  
ZUÑIGA  
RODRIGUEZ**

---

MSc. María Zúñiga  
**TUTORA**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mis padres, María y Ángel, quienes son una parte fundamental para lograr finalizar esta meta y que con su apoyo y su guía me formaron para ser la persona que actualmente soy.

También este trabajo está dedicado a mis hermanos, que a pesar de todo siempre estuvieron a mi lado, en los buenos y malos momentos y nunca perdieron la esperanza que yo lograría cumplir esta meta.

*Cristian Octavio Salazar Asqui*

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermanos, quienes en todo momento estuvieron pendientes y me apoyaron en el proceso de formación académica.

También una especial gratitud a mis sobrinos que me estuvieron apoyando todo este tiempo, en especial durante los momentos difíciles, muchas gracias.

A todos mis amigos con los cuales vivimos muchas experiencias y se forjó una gran amistad y compañerismo.

*Cristian Octavio Salazar Asqui*

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	14
1.1. Introducción.....	14
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo General.....	16
1.2.2. Objetivos Específicos.....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Red de agua potable.....	17
2.2. Red de distribución.....	18
2.3. Modelación Matemática .....	18
3. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Antecedentes.....	23
3.2. Sistema actual de agua potable.....	24
3.3. Sectorización actual de la red.....	26
3.4. Problemática del sistema.....	26
3.5. Balance hídrico de la red .....	27
3.5.1. Rendimiento volumétrico del sistema de agua potable.....	29
3.6. Modelo matemático de la red de agua potable para la ciudad de Guamote.....	31
3.7. Fases de la elaboración del modelo matemático de la red.....	31
3.7.1. Recolección de información .....	32
3.7.2. Encuesta .....	32
3.7.3. Esqueletización de la red de agua potable.....	33
3.7.4. Colocación de demandas, alturas y tamaño de tubería.....	37
3.7.5. Balance hídrico técnico.....	40
3.7.6. Modulación de la demanda.....	43
3.7.7. Validación del modelo matemático.....	45
3.7.8. Coeficiente emisor .....	47
3.8. Modelo Validado .....	49
3.9. Análisis del sistema Guamote.....	51
3.9.1. Presión del sistema.....	51
3.9.2. Velocidades.....	52
3.9.3. Caudal .....	53
3.9.4. Perdidas de carga.....	55

3.9.5.	Análisis de la evolución del caudal.....	56
3.9.6.	Evaluación del costo anual del agua potable .....	58
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	60
4.1.	Análisis de la simulación del modelo de la red EPANET.....	60
4.2.	Mejoras en el sistema. ....	60
4.3.	Gestión de presiones.....	60
4.4.	Válvulas Reductoras de presión .....	60
4.5.	Evaluación de presiones. ....	63
4.6.	Balance hídrico final. ....	63
4.7.	Rendimiento del sistema con gestión de presiones. ....	65
4.8.	Evaluación Económica.....	66
4.9.	Discusión.....	67
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	69
5.1.	Conclusiones. ....	69
5.2.	Recomendaciones.....	70
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
7.	ANEXOS .....	74

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa de la provincia de Chimborazo .....	14
Ilustración 2. Desarrollo de la investigación.....	22
Ilustración 3. Zona de estudio cabecera cantonal de Guamote .....	23
Ilustración 4. Esquematación del sistema de agua potable .....	24
Ilustración 5. Horarios de servicio agua potable y puntos de reserva Guamote .....	26
Ilustración 6. Fases de elaboración del modelo matemático.....	31
Ilustración 7. Líneas sistema agua potable longitudes y tamaños de tubería.....	34
Ilustración 8. Esqueletización total del sistema de agua potable. ....	34
Ilustración 9. Transformación de líneas mediante EpaCAD a formato EPANET.....	36
Ilustración 10. Datos entregados en formato AutoCAD Civil3D para la colocación de demandas cotas y diámetros de tubería.....	37
Ilustración 11. Colocación de datos en nudos y líneas en el programa EPANET. ....	39
Ilustración 12. Asignación de cotas implementadas en el modelo de la red.....	40
Ilustración 13. Demanda base ingresada al programa EPANET. ....	42
Ilustración 14. Curva de Modulación de Demanda para el cantón Guamote ingresada al programa EPANET.....	45
Ilustración 15. Ubicación de presiones tomadas en campo. ....	47
Ilustración 16 Balance de caudales en el sistema. ....	49
Ilustración 17. Evolución de Caudales.....	50
Ilustración 18 Presiones máximas y mínimas actuales del sistema. ....	52
Ilustración 19 Velocidades del sistema antes de la gestión. ....	53
Ilustración 20 Caudales del sistema. ....	54
Ilustración 21 Caudales en líneas del sistema antes de la gestión. ....	55
Ilustración 22 Perdidas unitarias antes de la gestión. ....	56
Ilustración 23 Costo del agua potable anual .....	59
Ilustración 24. Colocación de VRP en el modelo matemático. ....	61
Ilustración 25 Presiones antes de la gestión (izquierda) y después de la gestión de presión (derecha). ....	62
Ilustración 26 Evolución de caudales con gestión de presiones. ....	64
Ilustración 27 Comparación de caudales con gestión vs sin gestión. ....	65
Ilustración 28 Costos después de la gestión.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fuentes hídricas del cantón Guamote .....	25
Tabla 2 Tarifa de consumos agua potable.....	25
Tabla 3 Caudal inyectado y facturado a la red de agua potable Guamote.....	28
Tabla 4 Rendimiento volumétrico mensual y promedio de la red de agua potable.....	30
Tabla 5. Resumen del balance hídrico técnico.....	42
Tabla 6. Datos de la curva de modulación Guamote. ....	43
Tabla 7. Presiones tomadas in situ vs obtenidas en el modelo (EPANET) .....	46

Tabla 8. Datos necesarios para el cálculo del coeficiente emisor inicial.....	48
Tabla 9 Ajuste del coeficiente emisor.....	49
Tabla 10 Calculo del caudal fugado del sistema.....	51
Tabla 11 Resumen de presiones del sistema.....	52
Tabla 12 Calificación del rendimiento global del sistema.....	57
Tabla 13 Volumen global del sistema.....	57
Tabla 14 Costo de agua potable por mes y año .....	58
Tabla 15 VRP colocadas para mejorar la gestión del sistema. ....	62
Tabla 16 Comparación de caudales con gestión vs sin gestión. ....	64
Tabla 17 Comparación del rendimiento global del sistema.....	65
Tabla 18 Volúmenes y costos del sistema después de la gestión. ....	66

### **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 Caudal de agua inyectado a la red de agua potable Guamote.....	28
Gráfico 2 Caudal de agua facturado a la red de agua potable Guamote. ....	29
Gráfico 3 Rendimiento mensual del sistema de agua potable Guamote datos año 2020. ....	30
Gráfico 4 Curva de modulación de la demanda – Guamote .....	44
Gráfico 5 Porcentaje volumétrico - rendimiento global del sistema.....	58
Gráfico 6 Diferencia de presiones con gestión y sin gestión.....	63

## RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo, generar una propuesta de mejora en el sistema actual de agua potable del cantón Guamate, mediante la creación del modelo matemático de la red, en el programa EPANET, el que proporcionara un punto de vista general, para determinar el estado actual del sistema y posteriormente, generar una mejora en la gestión del sistema.

En la creación del modelo se dispone de datos proporcionados por la Subdirección de Agua Potable y Alcantarillado del GADMCG del año 2020, que se utilizó para realizar el balance hídrico de la red, y determinar el rendimiento volumétrico del sistema.

Con los planos e información del sistema, se procedió a la creación de la esqueletización de la red, y posterior al ingreso de datos en líneas y nudos. La validación del modelo matemático se efectuó con el cálculo del coeficiente global de emisores y comparando la toma de presiones en campo con las obtenidas en el modelo de la red.

Finalizada la investigación, se diseñó el modelo matemático de la red, permitiendo efectuar el análisis del estado actual del sistema, conocer los principales problemas y realizar una propuesta de mejora técnica y económicamente factible.

**Palabras clave:** Modelo matemático de la red, Epanet, gestión de presiones.

## ABSTRACT

The objective of the research work is to generate a proposal for improvement in the current drinking water system of the Guamate canton, through the creation of the mathematical model of the network, in the EPANET program, which will provide a general point of view, to determine the current state of the system and subsequently, generate an improvement in the management of the system.

In the creation of the model, data provided by the Subdirection of Potable Water and Sewerage of the GADMCG for the year 2020 is available, which was used to carry out the water balance of the network and determine the volumetric performance of the system.

With the plans and information of the system, the skeletonization of the network was created, and after the data entry in lines and nodes. The validation of the mathematical model was carried out by calculating the global coefficient of emitters and comparing the pressures taken in the field with those obtained in the network model.

Once the investigation was completed, the mathematical model of the network was designed, allowing the analysis of the current state of the system, knowing the main problems, and making a proposal for technically and economically feasible improvement.

**Keywords:** Mathematical model of the network, Epanet, pressure management.



Firmado electrónicamente por:  
**EDISON RAMIRO**  
**DAMIAN ESCUDERO**

Reviewed by:  
MSc. Edison Damian Escudero  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C.0601890593

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1.Introducción

La cabecera cantonal de Guamote se encuentra ubicada al sur de la provincia de Chimborazo, en el callejón interandino a 45 Km de la ciudad de Riobamba, con una topografía irregular debido a la influencia de las cordilleras Central y Occidental de los Andes, de acuerdo con el último censo, la población total de 2648 (INEC,2010), mediante proyecciones realizadas por el GADM de Guamote la población al año 2020 es de 3136 habitantes. La zona de influencia del proyecto se encuentra conformada por siete barrios en la zona urbana de Guamote, con un área total de 143Ha.



*Ilustración 1* Mapa de la provincia de Chimborazo

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (2010)

De acuerdo con el informe de la UNESCO (2019) acerca de los recursos hídricos, señala que el uso del agua ha aumentado un 1% a partir de los años 80 y se espera que continúe

incrementándose de esta forma hasta el año 2050 lo que representa un 20% al 30% del uso actual, esto debido al incremento demográfico y socioeconómico, esto genera que 4000 millones de personas sufran de escasez grave del líquido vital, al menos un mes al año.

El agua potable es un elemento fundamental en el desarrollo de la vida diaria de una sociedad, este servicio público, debe garantizar que el agua tenga un tratamiento adecuado para el consumo humano, con niveles de calidad, demanda y presiones, que se encuentre en los rangos permitidos por la normativa vigente del país, el sistema que conduce agua potable hasta llegar al usuario final está compuesto por una captación, tratamiento, almacenamiento, conducción y finalmente la distribución. El análisis de esta investigación está enfocado en un sistema rural andino, el cual será la red de agua potable ubicado en la parroquia Matriz, cabecera cantonal de Guamote, que posee una población total de 2.648 habitantes según censo del INEC en el año 2010.

Esta investigación, tiene como principal objetivo mejorar el funcionamiento de un sistema de agua potable de un sector rural andino, mediante la creación de un modelo matemático en el software EPANET, de la red de agua potable de la cabecera cantonal de Guamote. El modelo matemático de simulación hidráulica aplicado al sistema ayudaría a determinar cuál es la eficiencia actual y posteriormente proponer mejoras a la red actual.

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Proyectar la mejora del funcionamiento de un sistema de agua potable mediante la gestión y modelación matemática de un sistema rural andino.

### **1.2.2. Objetivos Específicos.**

- Recopilar información necesaria para la elaboración del modelo matemático del sistema de agua potable de un sistema rural andino.
- Conocer cuál es el comportamiento actual del sistema de conducción y distribución de agua potable, mediante la aplicación de un modelo matemático (EPANET), el cuál simulará el funcionamiento real de dicho sistema.
- Diagnosticar la red del sistema de agua potable de un sistema rural andino, y así detectar posibles fallas o problemas en la red.
- Identificar los sectores críticos y problemáticos del sistema actual.
- Implementar soluciones a los problemas encontradas en el análisis del modelo matemático de la red de un sistema rural andino, mediante un análisis económico de las mejoras que se plantean.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1.Red de agua potable**

Las redes de agua potable son sistemas formados por varios elementos tales como captación, conducción y distribución, que trabajan a gravedad o impulsión dependiendo de la topografía del lugar donde se realicen estas infraestructuras, tienen como objetivo garantizar agua potable a las viviendas, comercios, industrias e instituciones. Estos sistemas deben ser gestionados y mantenidos de una manera adecuada para que funcionen de acuerdo las normativas vigentes en el país.

Una correcta gestión de la red de agua potable, garantizará que la población cuente con un adecuado suministro de líquido continuo, y a su vez evite las pérdidas producidas por las fugas ocasionados por un ineficiente control de todo la red, según Chuquin (2016), los sistemas de distribución de agua potable son parte fundamental en el transcurso cotidiano, el bienestar y el desarrollo de la población.

En una red de agua potable, también es necesario controlar las velocidades, presiones, pendientes y tamaño de las tuberías que conforman la red, puesto que el objetivo es abastecer con agua a la población en las mejores condiciones, para ello habrá que garantizar unas condiciones mínimas de servicio (Santander, 2015).

Tzatchkov et al. (2014) señala que ningún sistema de distribución de agua potable es completamente hermético, y normalmente se presentan fugas en la red de diferente tamaño. Las infiltraciones se controlan manteniendo en la red la presión señalada en las normas técnicas de diseño. El modelo hidráulico puede predecir en que parte de la red es posible que se obtengan bajas presiones y así definir las zonas susceptibles a contaminación y tomar las medidas necesarias para evitarla.

## **2.2. Red de distribución**

De acuerdo a Ayad et al. (2013), las redes de distribución de agua representan una parte importante de la inversión en infraestructura urbana y se consideran un componente crítico de las obras públicas. Por esta razón es importante un correcto funcionamiento de todos los elementos del sistema.

Según Salguero (2011) en las redes de distribución de agua potable, no todo el volumen de agua inyectada en la red tiene como destino el consumo por parte del usuario. Esto debido, en gran medida, a la presencia de numerosos escapes de agua al exterior, llamados coloquialmente fugas, a lo largo de todos los tramos de tuberías y elementos auxiliares, produciéndose así cuantiosas pérdidas de agua, la cual fue tratada mediante un proceso químico para el consumo humano. También es importante indicar que dichas fugas podrían contaminarse y afectar la calidad, produciendo problemas de salud a los usuarios finales.

En la actualidad las instituciones encargadas de la dirección y distribución del agua buscan la implementación de herramientas las cuales logren mejorar las tareas de mantenimiento en las redes de sistemas de agua potable, como pueden ser la reparación y el cambio de elementos en la red, de esta manera disminuir fugas, en redes de distribución de agua para consumo personal, las fugas son una característica común ,que identifica a cada sistema (Medina & Benavides, 2009).

## **2.3. Modelación Matemática**

Según Ríos (1995), un modelo matemático es uno de los tipos de modelo que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables de las operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad,

la función de los modelos matemáticos es simular de manera simplificada el funcionamiento y comprobar el comportamiento real de los elementos del sistema.

La utilización de softwares computacionales especializados, ayudan a realizar simulaciones que representen de forma cercana a la realidad, para obtener escenarios futuros en donde se analizan: redes de tuberías, accesorios, demandas, presiones, entre otros parámetros que mejoran el control del sistema y garantizan una adecuada distribución del agua potable (Chuquin Vasco, 2016).

También se puede entender a un modelo matemático como, una herramienta de planificación a futuro, siendo útiles para diseño, análisis de calidad de agua y ayuda en la operación del sistema. (Zúñiga Rodríguez et al., 2019).

De acuerdo a Baños (2016), los modelos de redes de suministro de agua se construyen en función de dos elementos importantes que son las líneas y nudos, donde cada línea representa las tuberías de distribución que conectan con los nudos, y cada nudo a su vez representa los puntos de consumo de la red .

Medina & Benavides (2009) considera que el agua no contabilizada es la diferencia que existe entre el volumen de entrada al sistema y el consumo facturado. En sistemas normales representan del 20% al 30% del agua producida, pero en sistemas antiguos o ineficientes pueden superar el 50%. Otros problemas que afectan el funcionamiento de la red son: fugas y agua no contabilizada; integridad física de la red; calidad de agua a distribuir; fiabilidad y calidad de la base de datos de los sistemas de distribución de agua(Campbell Gonzalez, 2013).

De acuerdo a Cabrera & Tzatchkov (2012) menciona que las normas de diseño convencionales, basadas en operación continua de las redes, exigen cierta presión mínima en cada punto de demanda de la red. En México, la presión mínima de acuerdo con la normatividad de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2007b) es de 15 metros de columna de agua

(mca) en zonas urbanas y 10 mca en zonas rurales. El diseño de las redes en este caso normalmente consiste en determinar los diámetros de las tuberías y las cargas de tanques y bombeos, de forma tal que se garantice esa presión mínima.

Ranedo (2009) indica que, en una red de agua potable, es muy recomendable utilizar un modelo matemático calibrado de la red para identificar los puntos de suministro y las necesidades de los sectores formados, de manera que se evite la situación en la que un depósito no sea capaz de abastecer a los sectores diseñados. También señala que la creación del modelo permite identificar qué partes de la red están sobredimensionadas, lo cual podría derivar en problemas de calidad de agua. El sobredimensionamiento de la red suele estar originado tras un cambio en los planes del desarrollo de la ciudad o municipio de estudio, como consecuencia de la falta de análisis hidráulicos tras la reconfiguración de la red.

Santander (2015) indica que en su estudio que para la realización del modelo partido de un plano en formato PDF, el cual realizó la conversión al programa AutoCAD y posteriormente al EPANET mediante el programa Epcad. A raíz del modelo obtenido en EPANET, se enfocó en el ajuste necesario para conseguir un modelo lo más semejante posible al modelo real de la red de Meliana. Para ello, necesito información sobre algunas características de los elementos que componían la red (datos de consumos de los depósitos y lecturas de contadores, niveles de agua de los depósitos, localización de elementos de regulación).

Según Redhisp (2017) EPANET es un programa orientado al análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el seguimiento de la calidad del agua en los mismos. También Rossman (1999) indica que el software es una herramienta de investigación que mejore nuestro conocimiento del movimiento y destino del agua potable y sus constituyentes en una red de aguas. Entre la multitud de aplicaciones de EPANET cabe destacar la planificación de mejoras en las redes, el trazado y selección de nuevos elementos, la regulación

de las presiones en la red, la reducción de los costes de operación, la regulación del uso de los depósitos para reducir los tiempos de retención del agua, la sectorización de la red para el control de fugas, etc.

En el futuro los modelos deben constituir un soporte de uso continuado para la toma de decisiones de carácter técnico en todas las empresas encargadas de la distribución del agua potable.

Entre las ecuaciones que maneja el programa tenemos la fórmula de pérdidas de carga.

$$h_L = Aq^B$$

Donde  $h_L$ =pérdida de carga,  $A$  =coeficiente de resistencia,  $q$  =caudal,  $B$  =exponente del caudal, en esta ocasión se usó un el exponente de caudal de Darcy Weisbach adoptando así un valor para el exponente del caudal de 2.

$$CR = 0.0826 f(\varepsilon, d, q)d^{-5}L$$

Donde  $CR$  =coeficiente de resistencia de Darcy Weisbach,  $f$  =factor de fricción (depende de  $(\varepsilon, d$  y  $q)$ ),  $\varepsilon$  =Coeficiente de rugosidad Darcy Weisbach (m) (PVC 0.0015 ), $d$  =diámetro de la tubería (m),  $L$ =longitud de la tubería (m),  $q$ =caudal (m<sup>3</sup>/s). Es importante señalar que el factor de fricción es adimensional y también depende del número de Reynolds (Re).

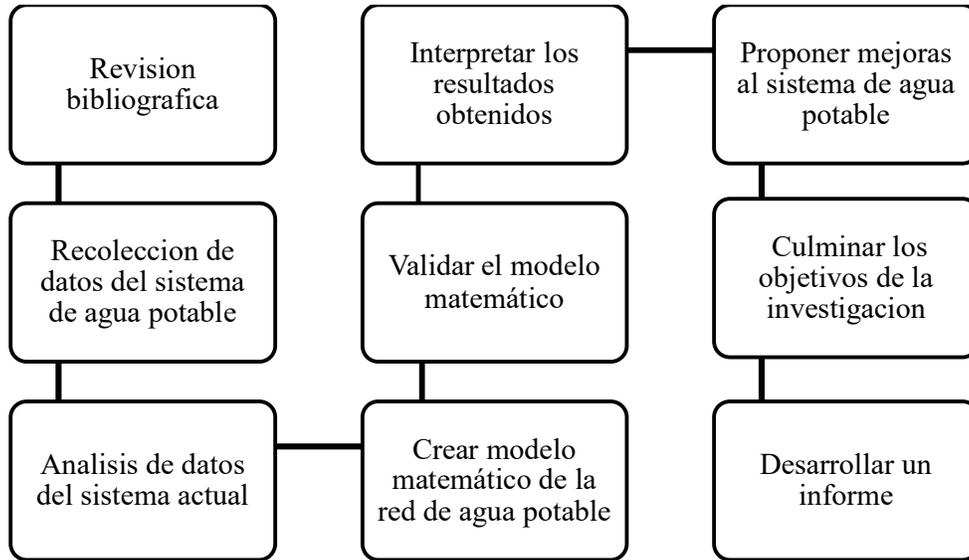
Otra de las ecuaciones utilizadas por el programa es la de perdidas menores que se muestra a continuación:

$$h_L = k \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Donde  $K$ =coeficiente de pérdidas menores,  $v$  =velocidad del flujo (m/s),  $g$  =aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

### 3. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará en el desarrollo de la investigación se muestra a continuación:



*Ilustración 2.* Desarrollo de la investigación.

**Fuente:** Elaboración propia 2021

El proyecto de investigación iniciará con una revisión bibliográfica a través de motores de búsqueda como: Google académico, Scopus, SciELO, Dialnet, ERIC y repositorios digitales de varias universidades. Para así obtener información referente, a los problemas respecto al manejo y gestión de presiones, en sistemas de agua potable ubicados en zonas rurales andinas, garantizando de esta manera que la información obtenida sea actualizada y avalada por la comunidad científica.

### 3.1. Antecedentes



*Ilustración 3. Zona de estudio cabecera cantonal de Guamate*  
**Fuente:** Google Earth Pro y Elaboración propia

La red de agua potable está diseñada para que tenga una vida útil de 25 años, proyectada hasta el año 2039, esto de acuerdo con el último estudio realizado en el Plan Maestro de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial, en el año de 2016, el cual finalizó su construcción en 2019 con la repotenciación del sistema antiguo mediante la construcción de una nueva planta de tratamiento, mejoras en las captaciones, la conducción, distribución y la instalación de nuevos medidores domiciliarios.

Al realizar la medición de los micromedidores estos tienen un error por sub-medición del 7 %, el cálculo se muestra a continuación, este valor se obtuvo de un análisis realizado por la Subdirección de Agua.

### 3.2.Sistema actual de agua potable

La red está dividida en tres sectores, Carapungo, San Juan Alto y San Juan bajo, la cabecera cantonal se abastece de cuatro captaciones, que están descritas en la tabla 1, las cuales son dirigidas a dos plantas de tratamiento de San Juan Alto (9 l/s) y San Jua Bajo (10 l/s).

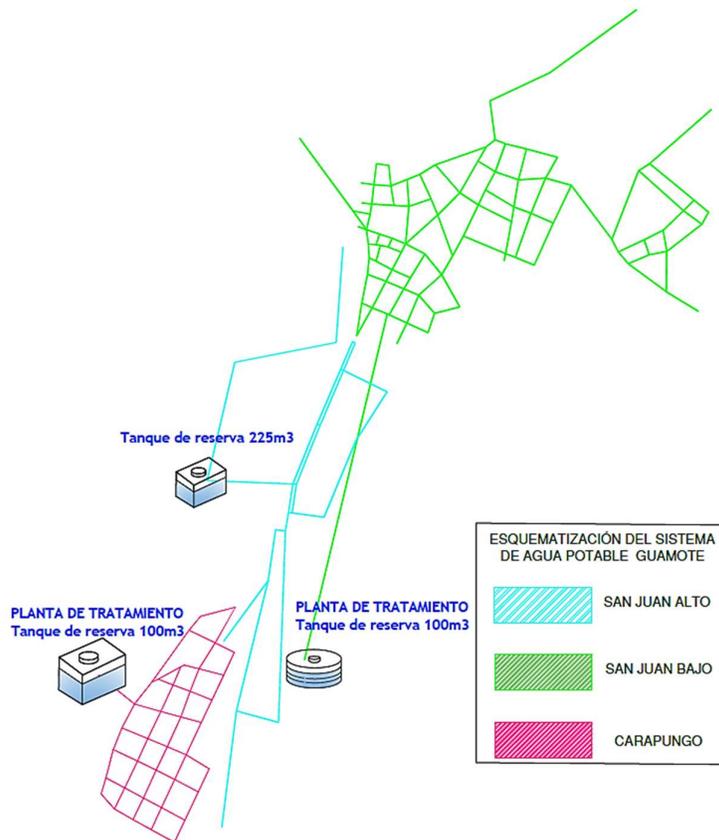


Ilustración 4. Esquematización del sistema de agua potable  
Fuente: Elaboración Propia

En la actualidad existen tres tanques de reserva, el primero es un tanque de hormigón armado rectangular semienterrado de una capacidad de 225 m<sup>3</sup>, que capta el agua de la fuente Chacaza Santa Rosa y está ubicado el sector San Juan Alto, la segunda reserva está formada por un tanque de hormigón armado semienterrado de 140 m<sup>3</sup>, que se encuentra en el sector Carapungo junto con la planta de tratamiento tipo paquete , la cual recibe el agua de Ambato Poggio y Chipó Chico y la tercera reserva es un tanque de hormigón armado circular de tipo

superficial de 100 m<sup>3</sup> de capacidad de la fuente Chacaza Matiapanga para el sector San Juan Bajo y también existe una planta de tratamiento superficial.

Las tuberías usadas en la conducción varían de tamaño dependiendo de las necesidades 63, 90, 110, 160 mm PVC y un tramo está conformado de tubería de 2" PE. Los diámetros de las tuberías de distribución parten de (32, 40, 50, 63, 90, 110, 140) mm hasta 160 mm PVC, las que están enterradas a una profundidad de 0.80 m y con conexiones domiciliarias de 1/2" las cuales se toman con collarines y abrazaderas de hierro galvanizado.

Tabla 1 *Fuentes hídricas del cantón Guamote*

Fuente	Captación	Dotación
Chacaza Matiapanga	San Juan Alto	2.81 l/s
Chacaza Santa Rosa	San Juan Alto	6.34 l/s
Chipo Chico	San Juan Bajo	2.44 l/s
Ambato Pogio	San Juan Bajo	7.14 l/s

**Fuente:** Subdirección de Agua Potable GADMCG, 2020 **Elaborado por:** Equipo técnico PDOT-GADMCG

**Nota:** Estos caudales son los adjudicados en las sentencias y su aforo se lo realizó en época de estiaje, el año y mes no fueron proporcionados.

De acuerdo con la Subdirección de agua potable, la cobertura del servicio es del 97.24%, por lo que deben pagar una tarifa como la que se describe en la **Tabla 2**, el consumo oficial hace referencia a instituciones públicas como centro educativo, de salud entre otros. Las horas de servicio que la población dispone de agua potable, son las 24 horas en el sector de Carapungo y en San Juan Bajo mientras que en San Juan alto la población solo tiene un horario que está comprendido entre 09:00 – 15:00 horas.

Tabla 2 *Tarifa de consumos agua potable*

RANGO DE CONSUMO		TARIFA USD / MES		
		Residencial	Comercial	Oficial
<b>Básico</b>	0 m <sup>3</sup> a 15 m <sup>3</sup>	6,72	8,90	6,00
<b>Adicional</b>	(15 m <sup>3</sup> a 50 m <sup>3</sup> ) / m <sup>3</sup>	0,145	0,484	0,048
	(50 m <sup>3</sup> >) / m <sup>3</sup>	0,193	0,967	0,242

**Fuente:** Subdirección de Agua Potable GADMCG, 2020

### 3.3.Sectorización actual de la red.

Como se muestra en la **Ilustración 5** el sistema de agua potable en la actualidad está dividido en tres sectores bien definidos, los cuales poseen tanques de almacenamiento que dotan de agua al sector de San Juan Alto, San Juan Bajo y Carapungo.

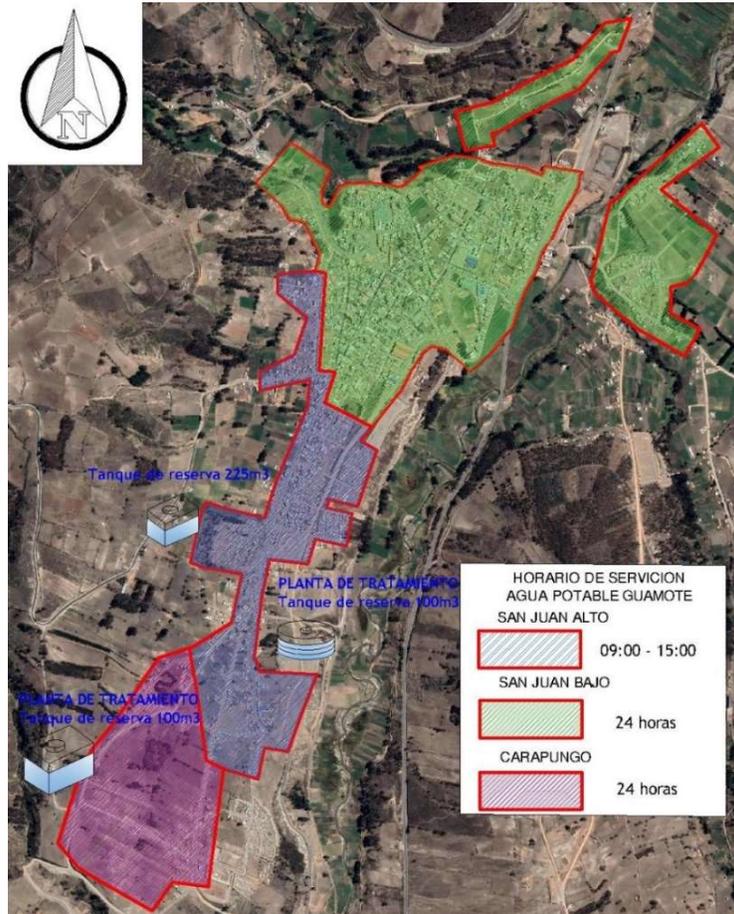


Ilustración 5.Horarios de servicio agua potable y puntos de reserva Guamote

### 3.4.Problemática del sistema.

El principal problema del sistema de agua potable de Guamote se encuentra en la red de distribución. Las presiones se encuentran fuera de los rangos establecidos en la norma (Normalización, 1992) la que señala que el rango mínimo debe ser 10 mca y la presión máxima dinámica 50 mca. En el sistema actual, en la sección más desfavorable se puede encontrar presiones, que superan a los valores máximos permitido. Por ejemplo, es fácil encontrar presiones altas, alrededor de los 80 mca, esto genera que exista un alto caudal de agua fugada,

debido a que se asume que las fugas son dependientes de la presión, también puede existir malas conexiones o deterioro en las tuberías, las altas presiones provocan daño en las instalaciones de los domicilios. Otro problema que afecta a los usuarios es el horario establecido, para el sector San Juan Alto, debido a que no tienen agua las 24 horas y esto genera incomodidad en los usuarios. Con el modelo matemático se pretende identificar los problemas de la red y posteriormente generar soluciones que mejoren la administración del recurso hídrico.

### **3.5. Balance hídrico de la red**

A continuación, este apartado muestra el caudal potabilizado que ha sido inyectado en la red para su respectiva distribución y el caudal que efectivamente se consume, esto con la ayuda de las cartas de cobros del servicio, que fueron entregadas por parte de la Subdirección de agua potable y alcantarillado del GADM de Guamote, debido a que este se encarga de tomar el registro del caudal inyectado, por medio de caudalímetros colocados en la red en los tres sectores **Anexo 5**. Los datos proporcionados por la institución están comprendidos entre los meses de enero y septiembre del año 2020 como se describe en la **Tabla 3**, también se muestra el registro del agua facturada en la **Grafica 2** esto tomado de las facturas de cobro de los meses comprendidos entre enero y septiembre, es importante señalar que los datos entregados se encuentran en un periodo donde existió una cuarentena obligatoria, por lo que esto podría generar alteraciones en los resultados esperados.

Tabla 3 Caudal inyectado y facturado a la red de agua potable Guamote

Sectores (Q=m3/mes)			Volumen facturado (Q=m3/mes)	Meses
Carapungo	San Juan Alto	San Juan Bajo		
8219	10695	32775	22728	Enero
7717	9983	31227	25197	Febrero
8287	11626	39884	16944	Marzo
8219	10695	32775	21932	Abril
9329	12238	35198	30230	Mayo
7512	11212	32260	40472	Junio
8202	10932	33746	28247	Julio
8442	7815	36484	19903	Agosto
8275	7954	36069	21532	Septiembre

Fuente: Subdirección de Agua Potable GADMCG, 2020

Nota: Los datos presentados fueron tomados de las cartas de los usuarios comprendida entre los meses de enero a septiembre de 2020.

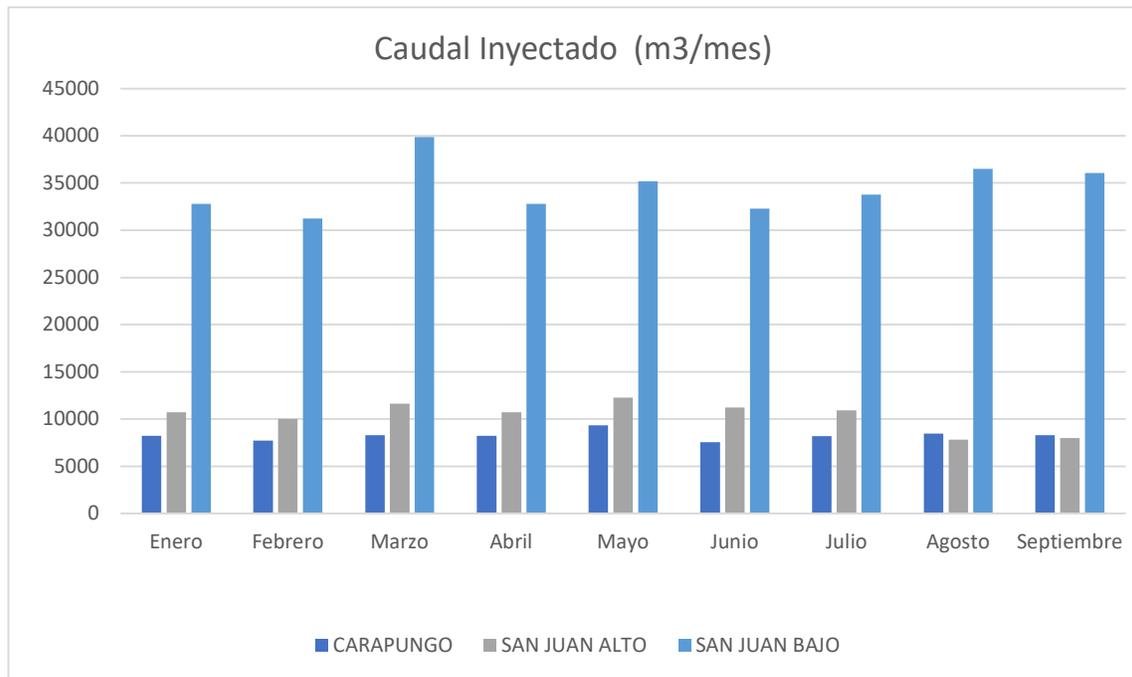


Gráfico 1 Caudal de agua inyectado a la red de agua potable Guamote.

Fuente: Elaboración propia 2022

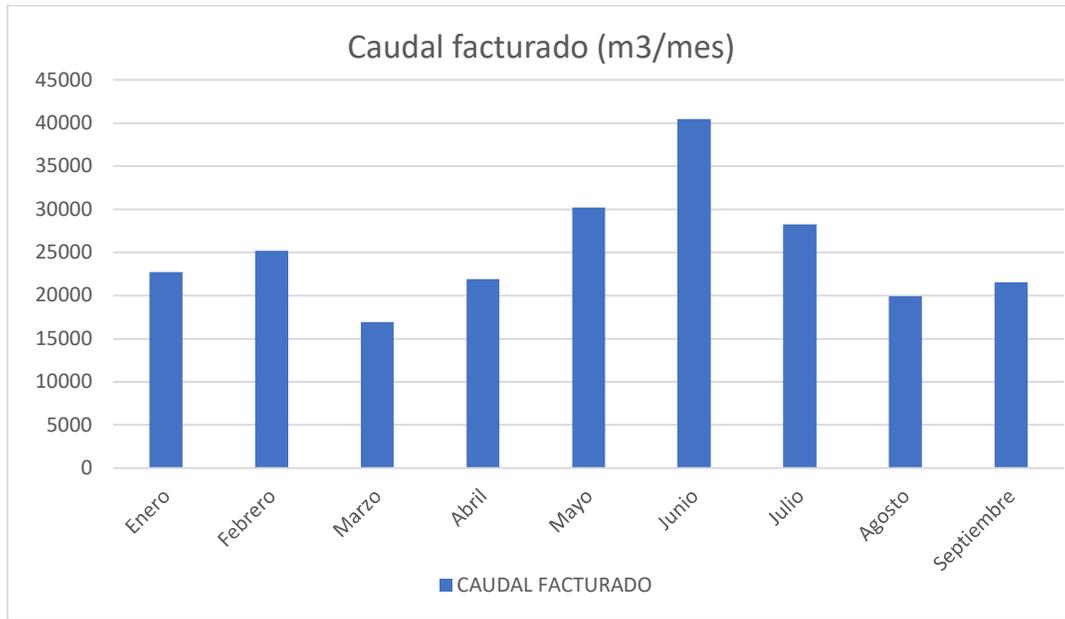


Gráfico 2 Caudal de agua facturado a la red de agua potable Guamote.

Fuente: Elaboración propia 2022

### 3.5.1. Rendimiento volumétrico del sistema de agua potable.

El rendimiento general del sistema que presenta la red es uno de los indicadores más importantes en el estudio debido a que puede ayudar a identificar posibles fugas en las tuberías, un mal desempeño de los contadores, colocados en los domicilios e incluso la inexistencia de los mismos, de acuerdo a (Vela et al., 1994). El rendimiento de la red es igual al cociente entre el volumen facturado y el volumen inyectado **Ecuación 1**, si este valor esta entre valores de 70%, se considera como un desempeño adecuado para la red. En la **Tabla 4** se muestra el rendimiento de la red en los meses de enero a septiembre de 2020.

$$\text{Rendimiento Volumetrico Red} = \frac{\text{Volumen Facturado}}{\text{Volumen Inyectado}} \quad (1)$$

Tabla 4 Rendimiento volumétrico mensual y promedio de la red de agua potable

Mes	Volumen inyectado(m3)	Volumen facturado(m3)	Rendimiento (%)
Enero	51689	22728	43.97
Febrero	48927	25197	51.50
Marzo	59796	16944	28.34
Abril	51689	21932	42.43
Mayo	56765	30230	53.25
Junio	50984	40472	79.38
Julio	52880	28247	53.42
Agosto	52741	19903	37.74
Septiembre	52298	21532	41.17
Promedio	53085	25243	47.55

Fuente: Subdirección de Agua Potable GADMCG, 2020

Con un valor promedio de 47.55% del rendimiento del sistema, se puede evidenciar claramente que el sistema no funciona de forma óptima, lo que provoca que una gran cantidad del volumen inyectado sea incontrolado provocando una pérdida la pérdida del recurso.

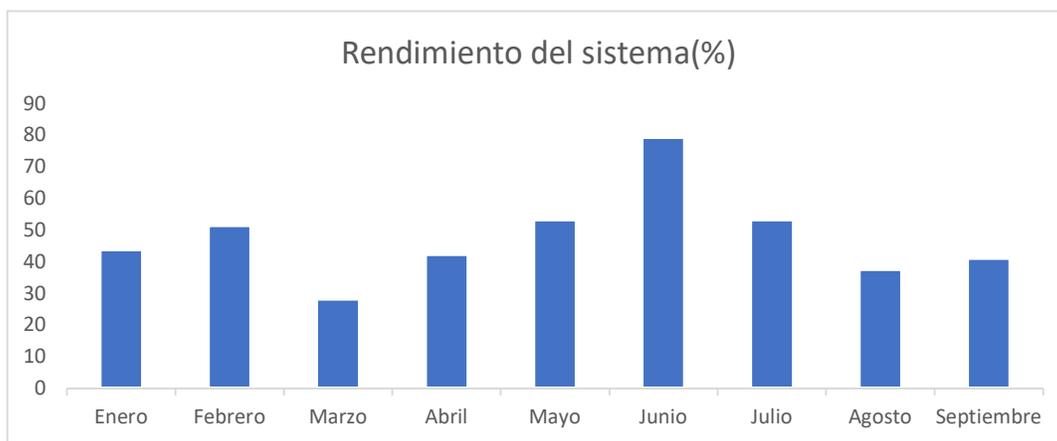


Gráfico 3 Rendimiento mensual del sistema de agua potable Guamate datos año 2020.

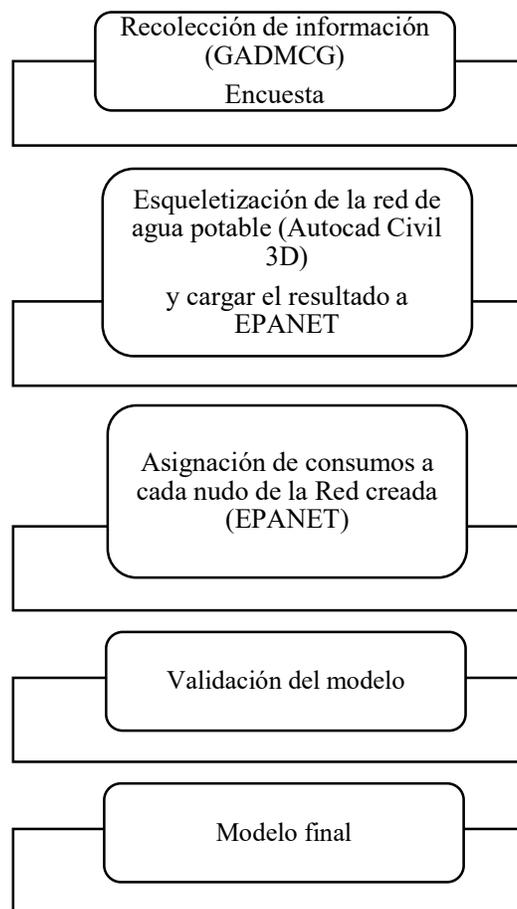
Fuente: Elaboración Propia 2022

En el **Gráfico 3** se observa que el mes marzo tiene el menor rendimiento porcentual esto debido a que la medición, se dificultó en los micromedidores debido al confinamiento. Por otra parte, el mes de junio presenta el mayor rendimiento del sistema, esto fue ocasionado por un posible error en la medición de los macromedidores.

### 3.6. Modelo matemático de la red de agua potable para la ciudad de Guamote.

La elaboración del modelo matemático de la red facilitará la detección de posibles fallas que se generan en el sistema, como puede ser presiones elevadas o muy bajas las cuales se encuentren fuera de los parámetros establecidos por la norma vigente, lo que generalmente produce una pérdida del líquido tratado, ocasionando un sobre coste a la institución y molestias a la ciudadanía, la importancia de la aplicación del modelo consiste en generar soluciones que gestionen de una manera eficiente el uso del agua potable.

### 3.7. Fases de la elaboración del modelo matemático de la red.



*Ilustración 6.* Fases de elaboración del modelo matemático

**Fuente:** Elaboración propia 2021

### **3.7.1. Recolección de información**

Para realizar una correcta modelación del sistema de agua potable de la cabecera cantonal, se procedió a obtener información en la Subdirección de Agua Potable, que es parte del GADM de Guamote y se encargada de administrar el servicio.

La información obtenida se describe a continuación:

- Catastro del cantón Guamote formato .dwg
- Planos As Built del sistema de agua potable formato .dwg
- Delimitación de la zona urbana de la cabecera cantonal formato .dwg
- Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) formato .pdf
- Cartas de consumo de agua potable de los meses enero a septiembre 2020 formato .xlsx
- Agua no contabilizada en los meses enero a septiembre 2020 formato .xlsx

Cabe señalar que los datos de presiones no se registran por parte de la institución, es por esta razón que fue necesario acudir al sitio de estudio y tomarlas manualmente mediante la ayuda de un manómetro. También se realizó una encuesta para determinar el estado actual de la calidad del servicio y conocer cuáles son las horas de consumo de la población dato que servirá para realizar la curva de modulación.

### **3.7.2. Encuesta**

Debido cuenta la institución no cuenta con los datos, para realizar una correcta modelación se optó por efectuar una encuesta tanto cualitativa como cuantitativa para conocer datos objetivos y también conocer la percepción que tiene la población del sistema de agua potable actual. Como población directamente afectada por el proyecto se tomó la población de la zona urbana del cantón con un total de 2.648 habitantes en el año 2010, con una tasa de crecimiento poblacional del 1,70% y un promedio de 3.22 personas por familia, cuya población mediante proyección al año 2020 es 3136 y posee un total de 1427 conexiones domiciliarias de las cuales

1104 están activas la mayor parte del año, con estos datos se aplicó la fórmula de muestreo para una población finita como se muestra a continuación:

El cálculo de la muestra está sustentado en la Ecuación (1) que se muestra a continuación:

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{(e^2 * (N - 1) + (Z^2 * p * q))} \quad (1)$$

Donde:

$Z^2 =$ Nivel de Confianza.	92%	1.75
$N =$ Universo.	1104	
$P =$ Proporción p	0.5	
$q =$ Proporción q	0.5	
$e =$ Error	8%	0,08

$$n = \frac{1.75^2 * 1104 * 0.50 * 0.50}{(0.08^2 * (1104 - 1) + (1.75^2 * 0.50 * 0.50))}$$

$$n = 108.02$$

Por lo tanto, la muestra aplicada a la población de estudio es de 109 encuestas. Las preguntas de la encuesta se detallan en el Anexo 2.

### 3.7.3. Esqueletización de la red de agua potable.

Entre los archivos entregados por parte del GADMCG se obtuvo la siguiente información, plano As Built de la red actual del sistema, esquematización de los barrios, plano hidráulico (**Ilustración 7**) y demandas de consumo en extensión .dwg. Posteriormente con la ayuda del programa AutoCAD Civil 3D se realizó la conversión de todas las tuberías del plano As Built en líneas (**Ilustración 8**), para que así el programa Epacad, identifique toda la red y lo transforme en un formato reconocible por el programa EPANET.

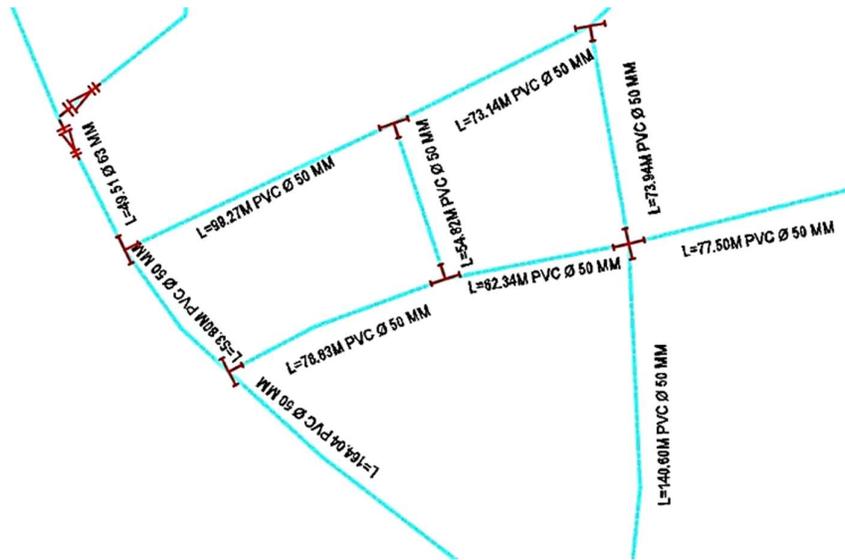


Ilustración 7. Líneas sistema agua potable longitudes y tamaños de tubería.

Fuente: Elaboración propia

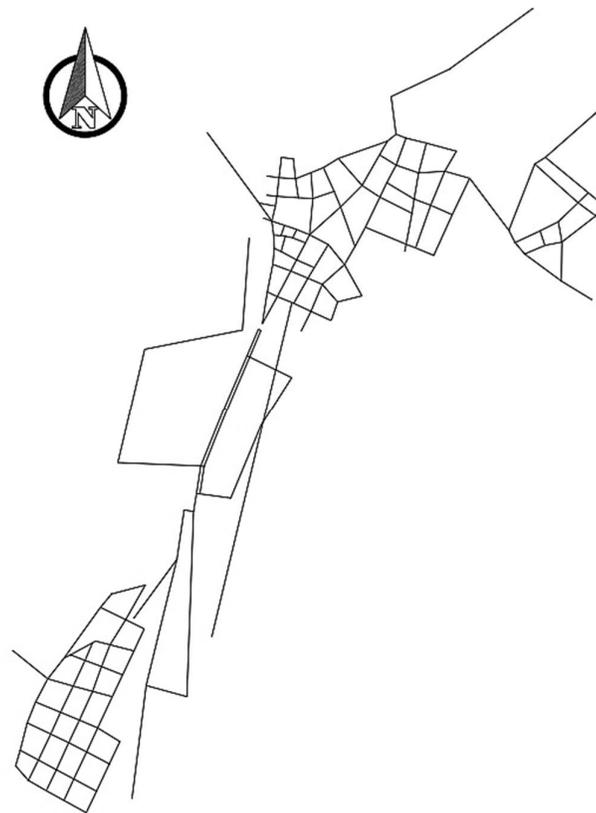


Ilustración 8. Esqueletización total del sistema de agua potable.

Fuente: Elaboración propia

Con la obtención de la esqueletización del sistema, el siguiente paso es cargarlo al programa EpaCAD, y así transformarlo a un formato reconocible por el programa EPANET.

Una vez convertido todo el sistema a líneas, el siguiente paso es cargarlo al programa EPANET. Con la ayuda del programa EpaCAD se procede a transformar todas las líneas en tuberías y las intersecciones en nudos como se muestra en la **Ilustración 9**.

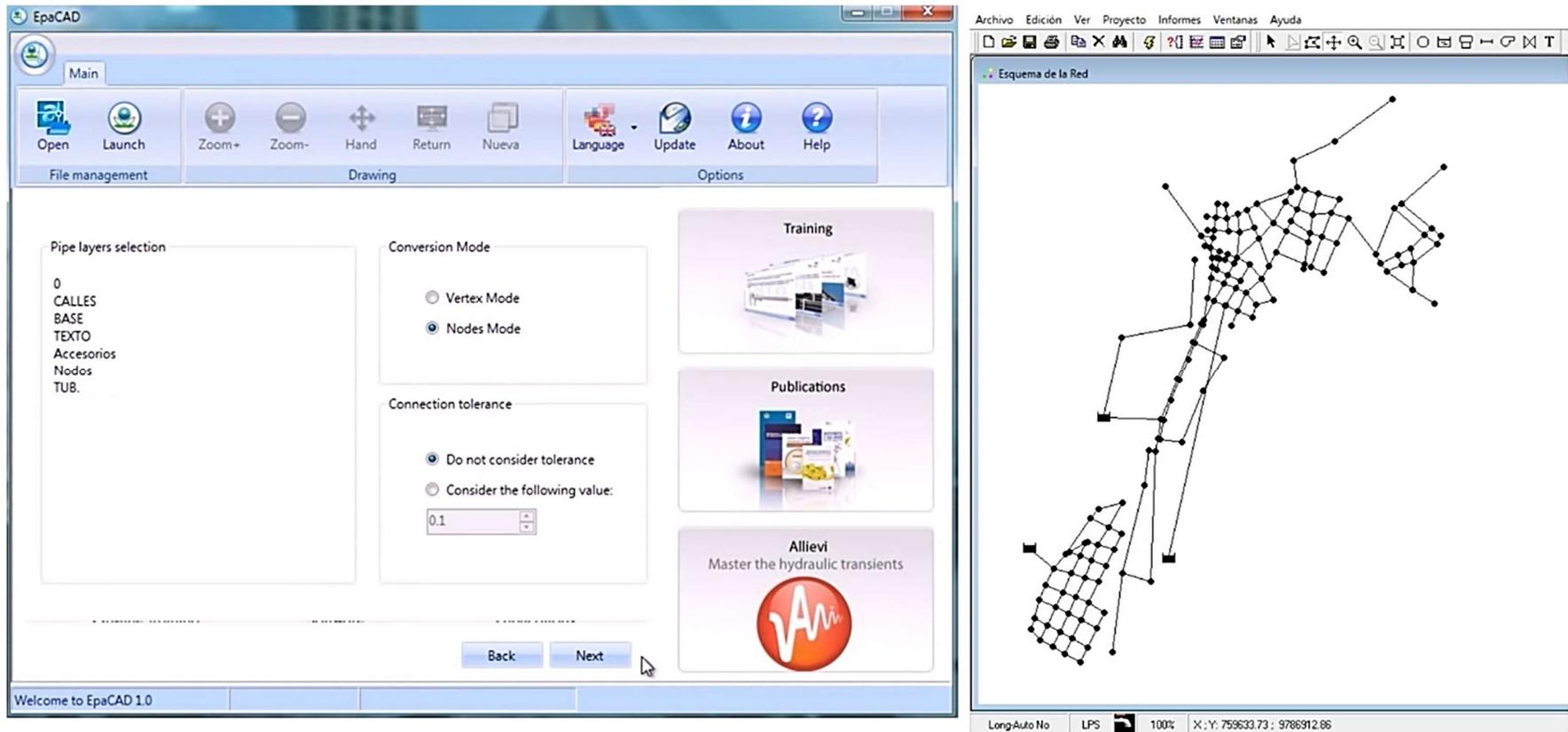
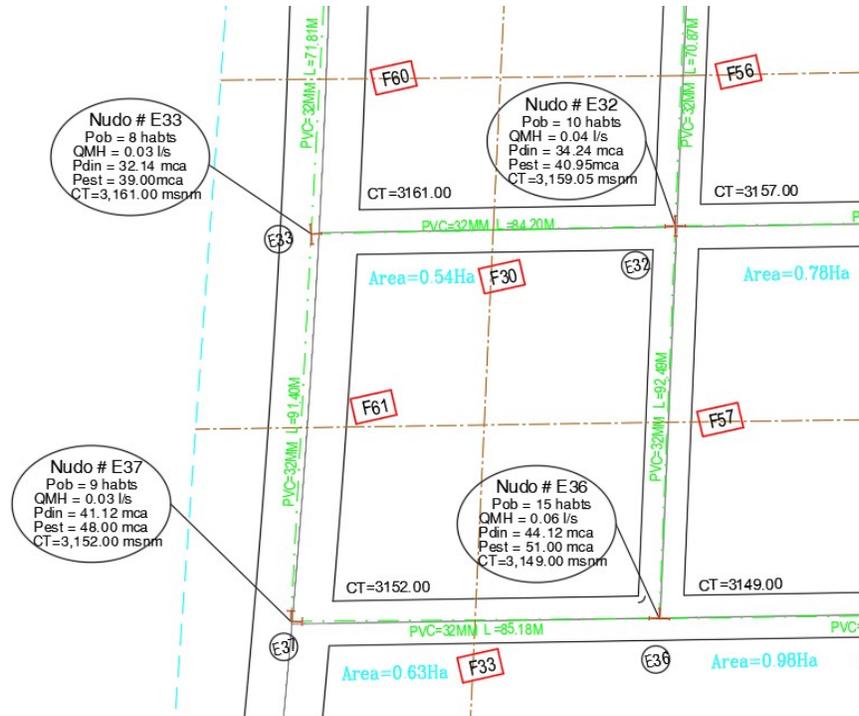


Ilustración 9. Transformación de líneas mediante EpaCAD a formato EPANET  
Fuente: Elaboración propia

Con el esquema finalizado, el siguiente paso es la colocación de datos en los nudos y líneas, las cuales fueron entregadas en los planos AutoCAD Civil 3D **Ilustración 10** y ubicadas en el modelo EPANET.



*Ilustración 10.* Datos entregados en formato AutoCAD Civil3D para la colocación de demandas cotas y diámetros de tubería.

Fuente: Equipo Técnico GADMCG.

### 3.7.4. Colocación de demandas, alturas y tamaño de tubería.

Para la colocación de las demandas se utilizó un archivo base, entregado por parte de la institución el cual contenía las demandas QMH (Caudal máximo horario) para cada nudo, las cotas, rugosidad y diámetros internos de las tuberías **Anexo 3**. Debido a que toda el área del proyecto fue dividida en áreas de aportación y así obtener una población determinada para cada área, con esta información se procede a colocar todos los datos en las líneas y nudos del modelo en el programa EPANET.

Para esta investigación se utilizó la fórmula de Darcy-Weisbach, porque es la que mejores resultados ofrece para análisis hidráulicos, esta fórmula se puede utilizar en todo tipo de regímenes y líquidos.

Con respecto al coeficiente de rugosidad se tomó un valor de 0.0015 como lo señala el manual de EPANET para material plástico y el factor de fricción se calcula dependiendo del tipo régimen con una de las siguientes ecuaciones:

Flujo laminar ( $Re < 2000$ ) se emplea la fórmula de Hazen-Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Flujo turbulento ( $Re > 4000$ ) Se emplea la aproximación de Swamee y Jain a la fórmula de Colebrook-White:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Para flujo de transición ( $2000 < Re < 4000$ ) aplica una interpolación cúbica al diagrama de Moody **Anexo 7**.

Donde  $f$ : Factor de fricción,  $\varepsilon$ : Coeficiente de rugosidad de Darcy Weisbach (m),  $d$ : Diámetro de la tubería (m),  $Re$ : Numero de Reynolds.

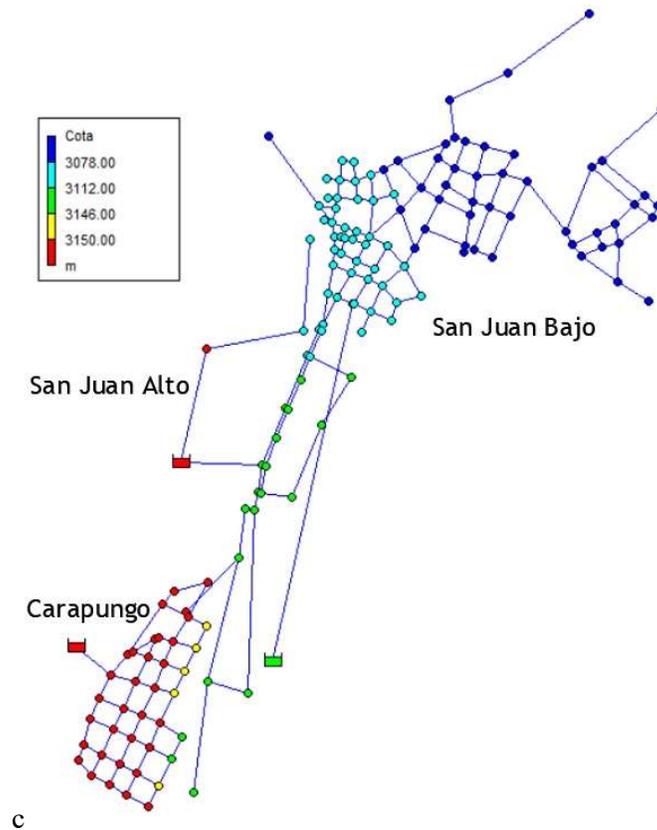
$$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$$

Donde  $\rho$ : densidad (Kg/m<sup>3</sup>),  $u$ : velocidad (m/s),  $D$ : diámetro (m)

Nudo de Caudal C35		Tubería p226	
Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
*ID Nudo de Caudal	C35	*ID Tubería	p226
Coordenada X	753913.88	*Nudo Inicial	C33
Coordenada Y	9784154.00	*Nudo Final	C37
Descripción		Descripción	
Etiqueta		Etiqueta	
*Cota	3144.90	*Longitud	91.3
Demanda Base	0.02	*Diámetro	28.8
Curva Modul. Demanda		*Rugosidad	0.0015
Tipos de Demanda	1	Coef. Pérdidas Menores	0
Coefficiente del Emisor		Estado Inicial	Abierta
Calidad Inicial		Coef. Reacción en el Medio	
Intensidad de la Fuente		Coef. Reacción en la Pared	
Demanda Actual	Sin Valor	Caudal	Sin Valor
Altura Total	Sin Valor	Velocidad	Sin Valor
Presión	Sin Valor	Pérdida Unitaria	Sin Valor
Calidad	Sin Valor	Factor Fricción	Sin Valor
		Velocidad de Reacción	Sin Valor
		Calidad	Sin Valor
		Estado	Sin Valor

Ilustración 11. Colocación de datos en nudos y líneas en el programa EPANET.  
Fuente: Elaboración propia (2022)

En la **Ilustración 12** se puede observar que el sistema tiene una diferencia de altura elevada tomando en cuenta la cota mayor respecto a la menor existe una diferencia de 136m de desnivel. Es importante señalar que cada nudo del modelo se encuentra con su respectiva asignación de cota.



*Ilustración 12.* Asignación de cotas implementadas en el modelo de la red.  
Fuente: Elaboración propia 2022

### 3.7.5. Balance hídrico técnico.

Con los datos recolectados del sistema se realiza un balance hídrico técnico, para determinar la información que será parte del modelo matemático.

- Caudal Inyectado (Q),

El caudal medio inyectado en la red en el año 2020 es el siguiente.

$$Q=20.48 \text{ l/s}$$

- Caudal registrado ( $Q_r$ ).

El caudal medio factura en el año 2020 es el siguiente.

$$Q_f=9.74 \text{ l/s}$$

- Caudal Incontrolado ( $Q_i$ )

La diferencia entre el caudal inyectado y el caudal registrado es el caudal incontrolado.

$$Q_i=Q-Q_r$$

$$Q_i=20.48 \text{ l/s} - 9.74 \text{ l/s}$$

$$Q_i=10.74$$

- Caudal incontrolado consumido y no registrado por error de medida ( $Q_{ice}$ ).

$$Q_r=9.74 \text{ l/s} \rightarrow (93 \%)$$

$$Q_{ice}=0.73 \text{ l/s} \rightarrow (7 \%)$$

$$Q_{ice}=0.73$$

- Caudal incontrolado fugado ( $Q_{if}$ ).

Se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{if}=Q_i-Q_{ice}$$

$$Q_{if}=10.74 \text{ l/s} - 0.73 \text{ l/s}$$

$$Q_{if}=10.01 \text{ l/s}$$

Tabla 5. Resumen del balance hídrico técnico.

DATOS DE LA RED ACTUAL			
Caudal Inyectado	Q	20.48	l/s
Caudal Registrado	Qr	9.74	l/s
Caudal Incontrolado	Qi	10.74	l/s
Caudal incontrolado consumido y no registrado por error de medida	Qice	0.73	l/s
Caudal incontrolado fugado	Qif	10.01	l/s
Rendimiento global del sistema		47.55%	

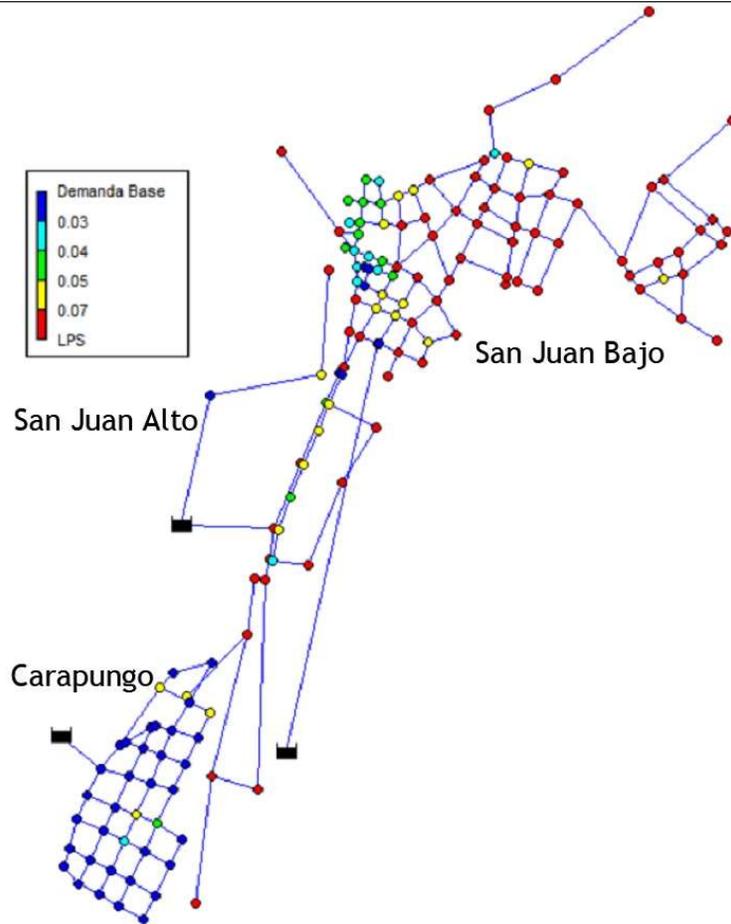


Ilustración 13. Demanda base ingresada al programa EPANET.

Fuente: Elaboración Propia 2022

En la **Ilustración 13**, se aprecia las demandas base las cuales indican el caudal consumido por cada nudo de la red, y se puede observar que los barrios San Juan Alto y San Juan Bajo son los que poseen una gran demanda del suministro de agua potable, debido a que dichos barrios son los que tienen la mayor concentración poblacional.

### 3.7.6. Modulación de la demanda.

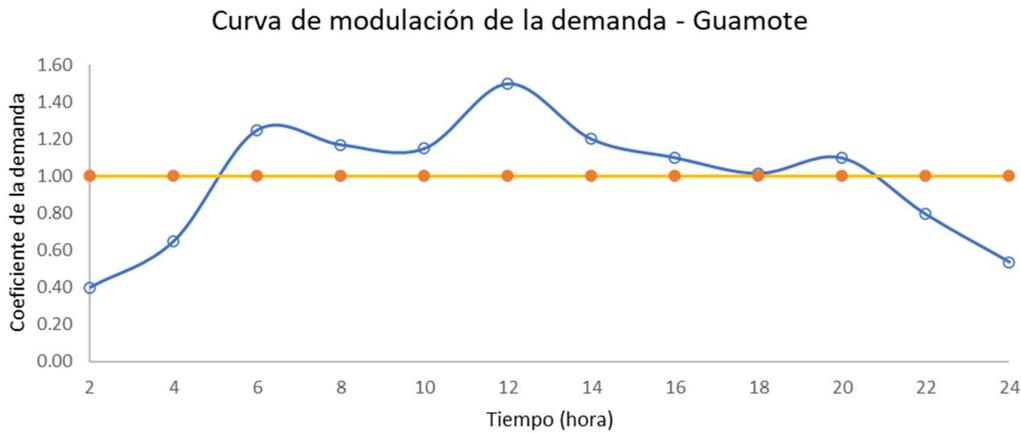
Para realizar la modulación de la demanda en la red de agua potable, se tomó en cuenta las medidas de macromedición en los puntos de distribución proporcionada por la Subdirección de Agua Potable, la curva de modulación se presenta en el **Grafico 4**.

De acuerdo a Rey & Solano (2012) señalan que “la diferencia existente entre los valores instantáneos medidos mediante el concurso de un data-logger o registrador de datos, y el valor del caudal medio obtenido al promediar el volumen total consumido es extremadamente grande. Esto obliga a condensar la información disponible de caudal inyectado, promediándola para un cierto intervalo de tiempo”. De esta forma una curva de evolución temporal de los consumos a partir de valores instantáneos medios.

*Tabla 6. Datos de la curva de modulación Guamote.*

Tiempo	Factor
(0-1)	0.50
(1-2)	0.40
(2-3)	0.48
(3-4)	0.65
(4-5)	1.10
(5-6)	1.25
(6-7)	1.15
(7-8)	1.17
(8-9)	1.13
(9-10)	1.15
(10-11)	1.45
(11-12)	1.50
(12-13)	1.43
(13-14)	1.20
(14-15)	1.10
(15-16)	1.10
(16-17)	1.13
(17-18)	1.02
(18-19)	1.17
(19-20)	1.10
(20-21)	0.81
(21-22)	0.79
(22-23)	0.68
(23-00)	0.54

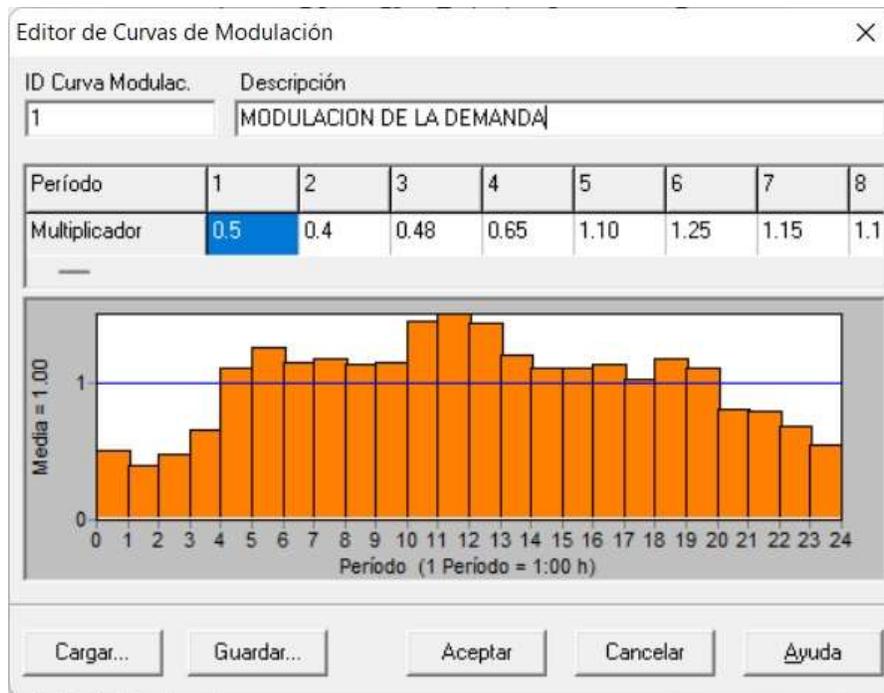
**Fuente:** Elaboración propia 2022



*Gráfico 4 Curva de modulación de la demanda – Guamote*  
**Fuente:** Elaboración propia 2021

Este gráfico muestra, que el mayor consumo de agua potable se realiza en la tarde a las 12:00 horas, con picos importantes a las 06:00 y 20:00 horas, esto debido a que los usuarios realizan sus actividades domésticas y comerciales en esos periodos. También es necesario señalar que en el sector de San Juan Alto no existe un servicio continuo las 24 horas, pero el cálculo se lo realizo para todo el día, porque la institución planifica dotar de agua potable a todos los sectores que comprenden la ciudad de manera ininterrumpida en los próximos años.

Al concluir con la asignación de información en el modelo previamente creado, se procede a verificar que los datos coincidan con los entregados por parte de la institución, también es necesario ingresar la Curva de Modulación de la Demanda previamente calculada **Tabla 6**.



*Ilustración 14.* Curva de Modulación de Demanda para el cantón Guamote ingresada al programa EPANET.  
Fuente: Elaboración propia 2022

### 3.7.7. Validación del modelo matemático.

De acuerdo a Walski (1983) “un paso muy importante en el desarrollo de un modelo de red de distribución de agua es la comparación de los resultados predichos por el modelo con las observaciones tomadas en el campo”. Es de suma importancia que el modelo generado se acople a la realidad, para evitar posibles incongruencias en los resultados. A pesar de ello es muy conocido, que los datos por lo general son escasos o nulos y es aquí donde la validación es un paso fundamental.

Una de las formas de verificar que el modelo se acople con la realidad es mediante, la comparación entre datos de presiones tomadas en campo versus las presiones proporcionadas por el modelo generado en EPANET, también es importante ubicar puntos estratégicos para la toma de muestras.

Tabla 7. Presiones tomadas in situ vs obtenidas en el modelo (EPANET)

Sector	Nudo	Modelo EPANET	In situ	Error %
Carapungo	C33	23.88	24	0.5
	C31	31.93	31	1.35
	C29	35.89	34	5.26
	C26	35.84	36	0.44
	C1	29.89	29	2.98
San Juan Alto	SJ9	23.29	24	2.96
	SJ7	38.00	36	5.26
	SJ19	44.86	45	0.31
	SJ16	50.7	49	3.35
	SJ3	50.95	50	1.9
San Juan Bajo	RB5	33.07	35	5.51
	RB11	39.45	40	1.38
	RB9	38.5	37	3.89
	RB57	77.91	75	3.73
	RB65	77.01	74	3.91
	RB64	76.42	78	2.02
	RB59	78.32	80	2.1

Fuente: Elaboración Propia 2022

En la **Tabla 7**, las presiones obtenidas mediante la modelación matemática comparadas con las registradas in situ mediante un manómetro tienen un error el cual se puede considerar mínimo, esto garantiza que el modelo se asemeja a la realidad en la **Ilustración 15** se puede observar los lugares en los cuales se tomaron in situ.

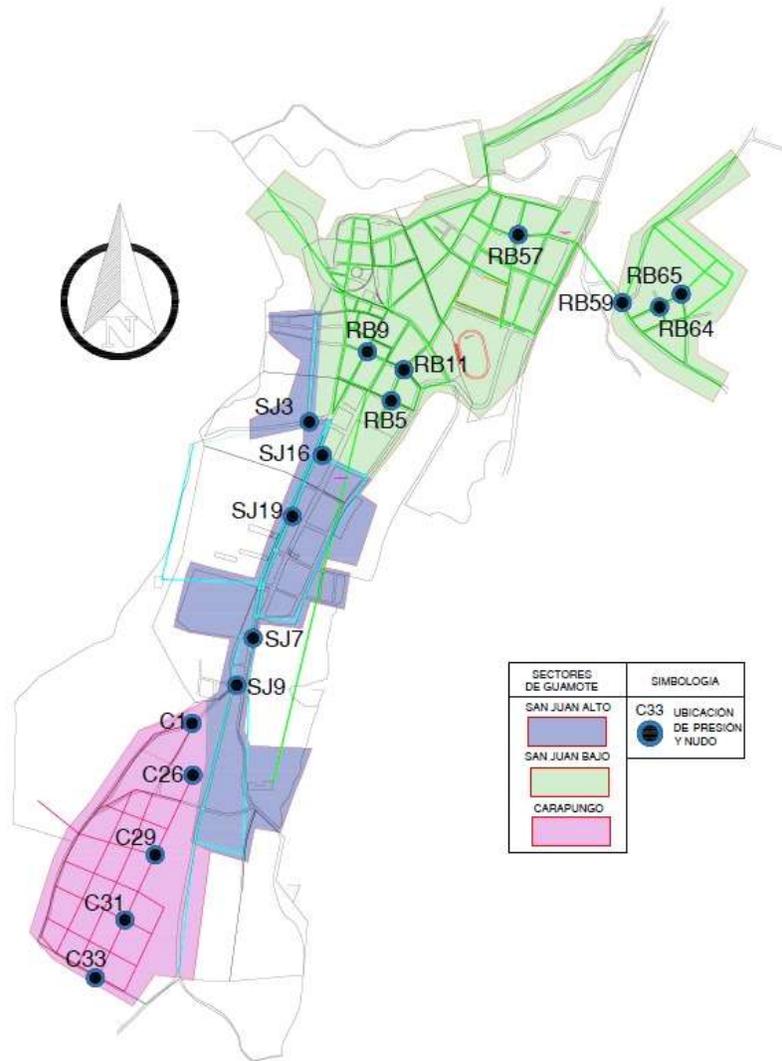


Ilustración 15. Ubicación de presiones tomadas en campo.  
Fuente: Elaboración propia 2022

### 3.7.8. Coeficiente emisor

Con la incorporación de un coeficiente emisor al modelo se pretende, generar un consumo el cual sea dependiente de la presión y así cargarlo en el modelo creado. Esto se realiza para determinar el caudal de fugas para cada nudo del sistema, mediante la ejecución de simulaciones sucesivas en valores medios, se modifica los valores de los coeficientes emisores hasta que el valor del caudal medio en el punto de inyección coincida con el caudal medio inyectado antes calculado.

La ecuación (2) muestra el cálculo para obtener el coeficiente emisor de fugas para la red del sistema de agua potable:

$$Q_{fugado} = Q_f(t) = C_E \cdot \sum_{i=1}^{ND} \sqrt{P_i(t)} \quad (2)$$

Donde  $Q_f(t)$ =Caudal de fugas en el instante t,  $C_E$  =Coeficiente emisor de fugas.  
 $P_i(t)$ =Presión en el nudo i en el instante t,  $ND$ =Nudos de consumo.

Para encontrar el coeficiente emisor global, como primer paso debemos realizar la estimación del coeficiente con los valores de caudal y presión media, obtenida del programa EPANET.

Tabla 8. Datos necesarios para el cálculo del coeficiente emisor inicial.

Información Primera Interacción			
Dato	Valor	Unidad	Descripción
Q medio inyectado	20.48	l/s	Caudal medido
Q medio demandado	9.74	l/s	Caudal registrado
QF	10.01	l/s	Caudal fugado
N	152	nodos	Dato EPANET
Pmedia	47.78	mca	Dato EPANET
CE	0.00984	Coef. Emisor	Primera estimación

Fuente: Elaboración propia 2022

Posterior a esto se procede a realizar iteraciones modificando el coeficiente, obteniendo al final un error mínimo entre el caudal inyectado medio de la institución y el obtenido mediante el modelo de la red **Tabla 9**.

Tabla 9 Ajuste del coeficiente emisor

Iteración	CE	Q medio iny. (l/s)	Q medio iny. (EPANET) (l/s)	ε relativo
Sin fugas	0.00000	20.48	20.02	2.25%
1	0.00984	20.48	20.20	1.37%
2	0.01300	20.48	20.25	1.12%
3	0.01600	20.48	20.31	0.83%
4	0.01700	20.48	20.34	0.68%
5	0.02000	20.48	20.38	0.49%
6	0.02450	20.48	20.48	0.00%

Fuente: Elaboración propia 2022.

En la tabla se presentan los resultados de todas las iteraciones realizadas, esto genero un valor del coeficiente emisor de 0.0245 y un valor de error de 0.00%.

### 3.8. Modelo Validado

Al obtener un error de 0% entre el caudal inyectado por la institución y el obtenido mediante el modelo del programa EPANET, es posible afirmar que dicho modelo se aproxima a la realidad. En la **Ilustración 16**, se muestra el balance final de los caudales del sistema en el transcurso de las 24 horas, del tanque que distribuye el agua para el sector San Juan Bajo.

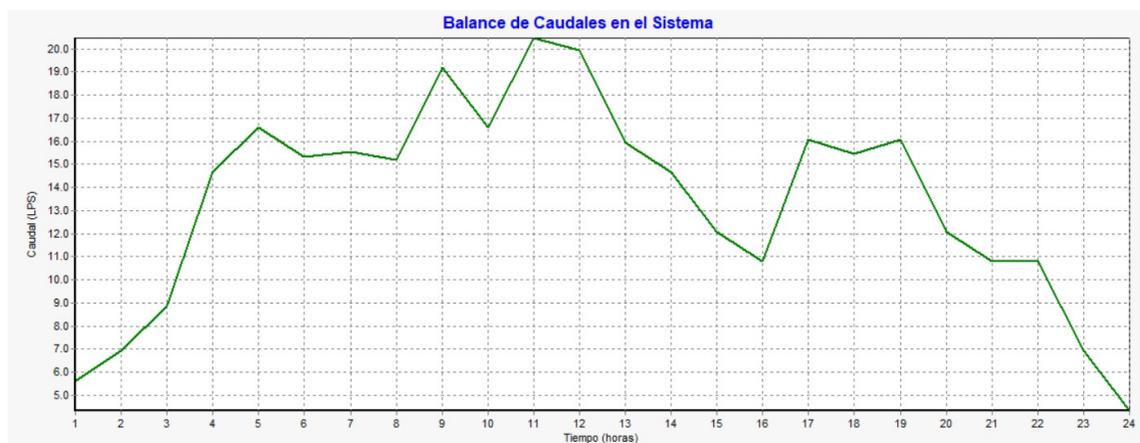
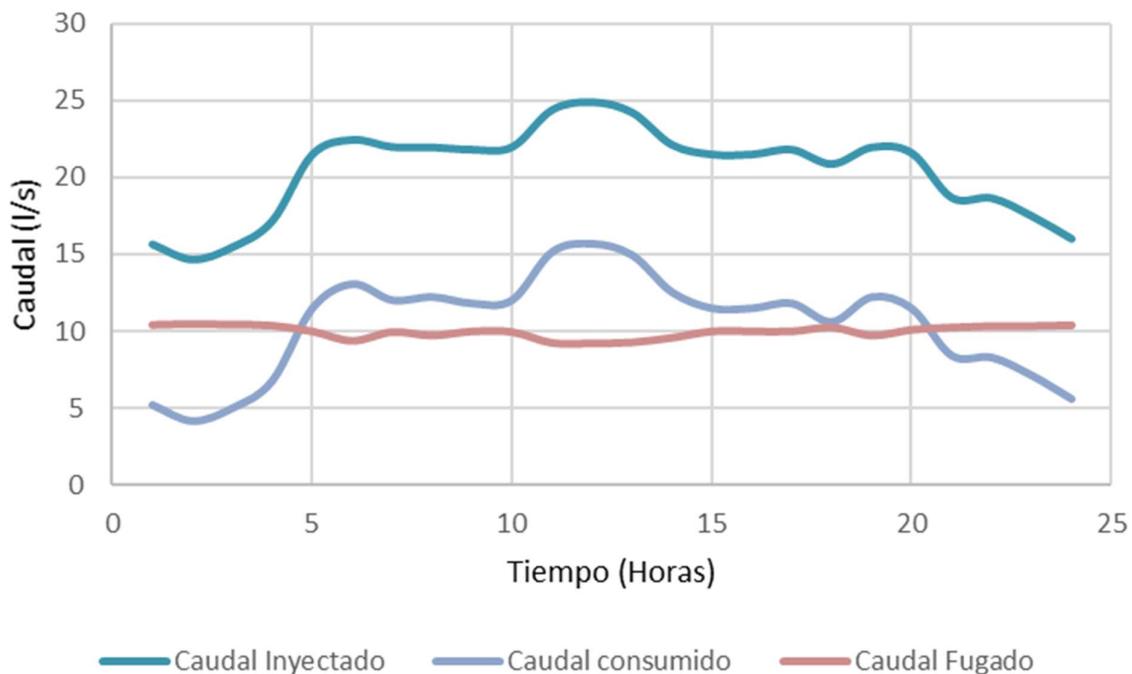


Ilustración 16 Balance de caudales en el sistema.

Fuente: Programa EPANET elaboración propia 2022.



*Ilustración 17.* Evolución de Caudales.

Fuente: Elaboración Propia 2022.

En la **Ilustración 17** se muestra los caudales inyectados, consumidos y fugados del sistema en el transcurso del día.

La **Tabla 10** muestra el resultado final del modelo validado para un intervalo de 24 horas.

Tabla 10 Cálculo del caudal fugado del sistema

INTERVALO HORARIO	CAUDAL INYECTADO EPANET (l/s)	PMEDIA (mca)	PATRON CONSUMO	CAUDAL FACTURADO (l/s)	CAUDAL NO FACTURADO (l/s)	CAUDAL CONSUMIDO (l/s)	CAUDAL FUGADO (l/s)
0-1	13.39	55.86	0.50	4.87	0.37	5.24	<b>8.02</b>
1-2	12.05	55.86	0.40	3.90	0.29	4.19	<b>7.75</b>
2-3	12.91	56.27	0.48	4.68	0.35	5.03	<b>7.75</b>
3-4	14.73	56.27	0.65	6.33	0.47	6.81	<b>7.75</b>
4-5	21.90	55.35	1.10	10.72	0.80	11.52	<b>8.33</b>
5-6	23.52	51.21	1.25	12.18	0.91	13.09	<b>10.09</b>
6-7	22.71	50.47	1.15	11.20	0.84	12.04	<b>10.36</b>
7-8	23.34	50.35	1.17	11.40	0.85	12.25	<b>10.41</b>
8-9	22.70	49.96	1.13	11.01	0.83	11.83	<b>10.56</b>
9-10	22.98	48.73	1.15	11.20	0.84	12.04	<b>10.99</b>
10-11	27.67	45.68	1.45	14.13	1.06	15.18	<b>12.09</b>
11-12	28.20	44.51	1.50	14.61	1.10	15.71	<b>12.51</b>
12-13	27.65	43.99	1.43	13.93	1.04	14.98	<b>12.69</b>
13-14	25.10	44.68	1.20	11.69	0.88	12.57	<b>12.45</b>
14-15	21.90	49.42	1.10	10.72	0.80	11.52	<b>10.74</b>
15-16	21.90	50.97	1.10	10.72	0.80	11.52	<b>10.18</b>
16-17	21.11	52.96	1.13	11.01	0.83	11.83	<b>9.40</b>
17-18	19.80	52.96	1.02	9.89	0.74	10.63	<b>9.40</b>
18-19	22.10	50.22	1.17	11.40	0.85	12.25	<b>9.75</b>
19-20	21.90	50.22	1.10	10.70	0.80	11.50	<b>10.46</b>
20-21	18.20	49.15	0.81	7.85	0.59	8.44	<b>10.85</b>
21-22	17.60	50.35	0.79	7.74	0.58	8.32	<b>10.40</b>
22-23	14.57	53.89	0.68	6.66	0.50	7.16	<b>9.02</b>
23-24	13.79	55.35	0.54	5.23	0.39	5.62	<b>8.34</b>
<b>TOTALES</b>	<b>20.48</b>	<b>51.03</b>	<b>1.00</b>	<b>9.74</b>	<b>0.73</b>	<b>10.47</b>	<b>10.01</b>

Fuente: Elaboración propia (2022)

### 3.9. Análisis del sistema Guamote

#### 3.9.1. Presión del sistema

Al evaluar el sistema actual se encontró que las presiones máximas se las obtuvo a las 01:00 con un porcentaje de 38% con presiones mayores a 50mca, y el escenario de presiones mínimas se genera a las 12:00 con un porcentaje de 31% como se puede ver en la **Tabla 11**.

Tabla 11 Resumen de presiones del sistema

Presiones	Hora	Nudos					
		<10 mca	%	10 mca < n < 50mca	%	>50 mca	%
Máximas	01:00	2	1	93	61	57	38
Mínimas	12:00	7	5	98	64	47	31

Fuente: Elaboración Propia 2022.

En la **Ilustración 18** se observa las presiones máximas a las 01:00 (derecha) y las presiones mínimas a las 12:00 (izquierda), se puede verificar que el sector de San Juan Bajo tiene la mayor cantidad de presiones elevadas.

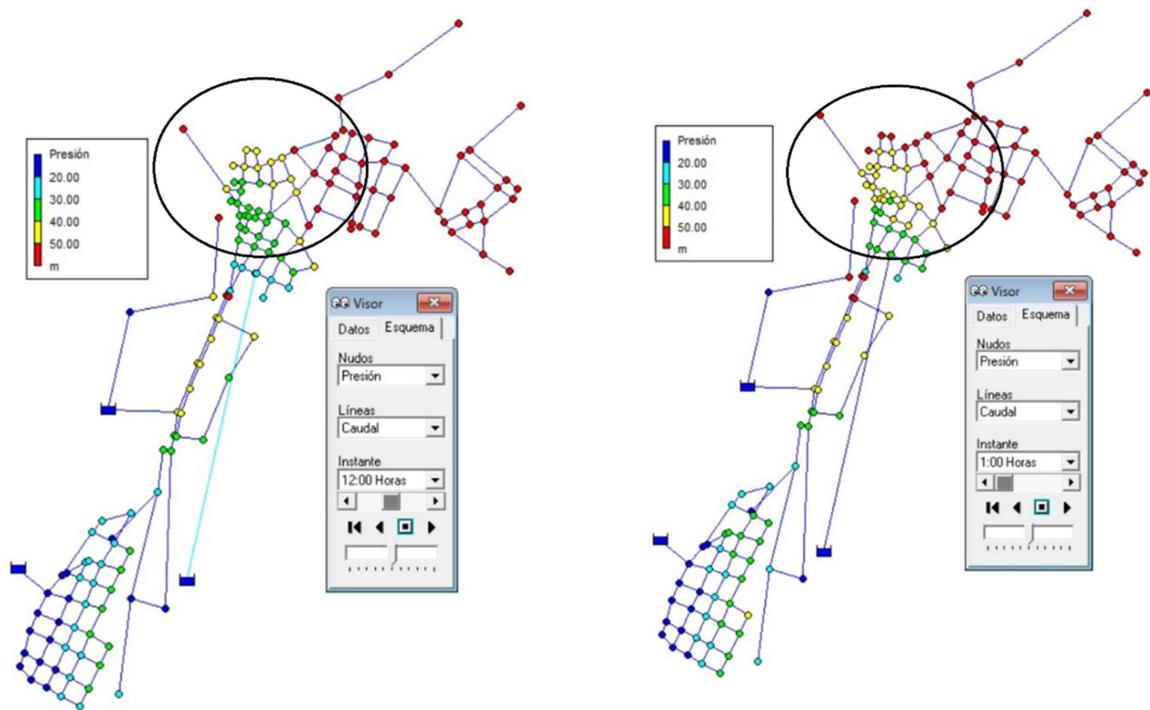
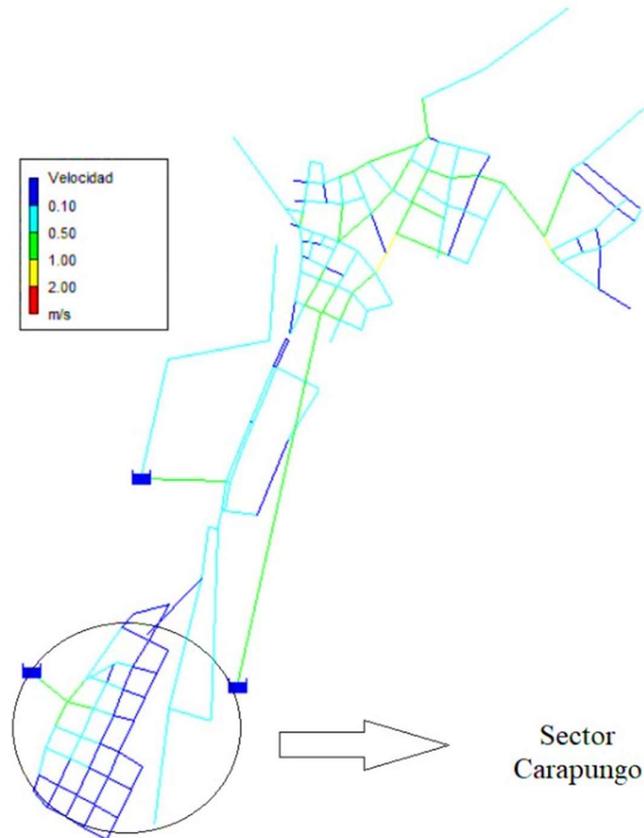


Ilustración 18 Presiones máximas y mínimas actuales del sistema.  
Fuente: Elaboración propia (EPANET) 2022.

### 3.9.2. Velocidades

Al analizar las velocidades es importante, verificar que esta no sea muy baja debido a que puede ocasionar sedimentación en las tuberías, y tampoco debe ser muy alta esto provocará que exista un mayor desgaste en la tubería. La norma INEN establece valores de velocidad entre 0.6 y 2.5 m/s.

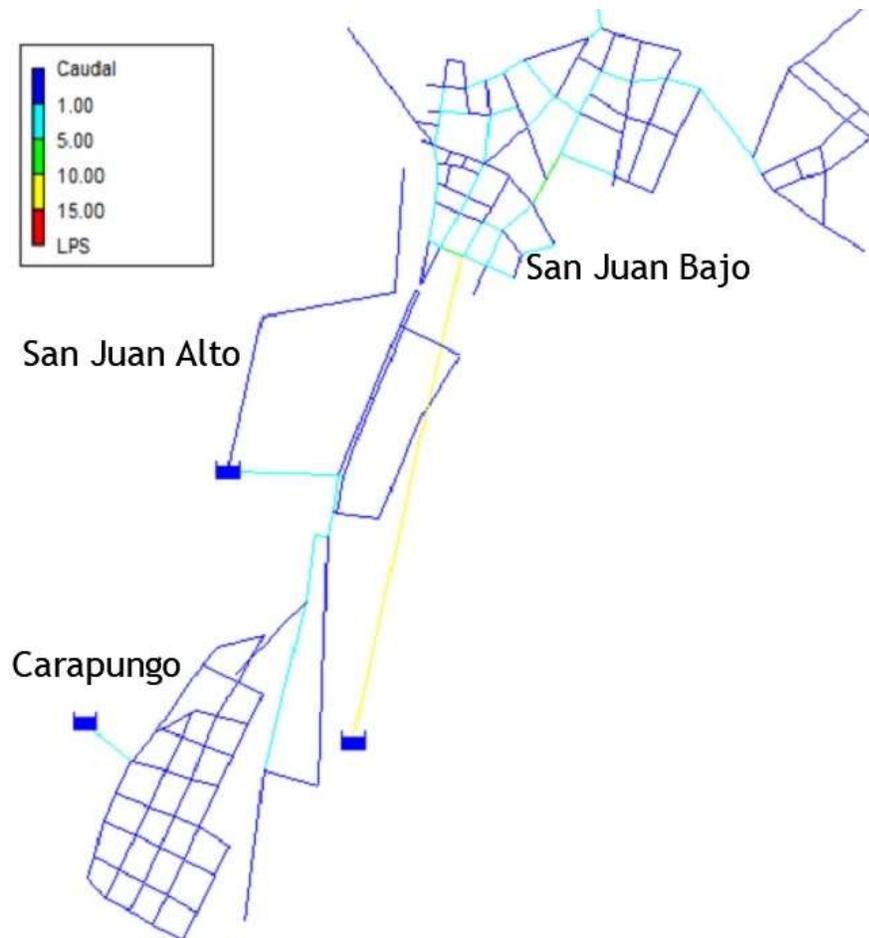
La verificación de las velocidades del sistema se encuentra en los rangos permitidos por la norma como se observa en la **Ilustración 19**, pero es importante acotar que las velocidades en el sector denominado Carapungo son bajas, esto debido a que en la actualidad el sector no se encuentra totalmente poblado y se espera que en un futuro la demanda se incremente, de esta forma se mejore las velocidades del sector.



*Ilustración 19* Velocidades del sistema antes de la gestión.  
Fuente: Elaboración propia (EPANET) 2022

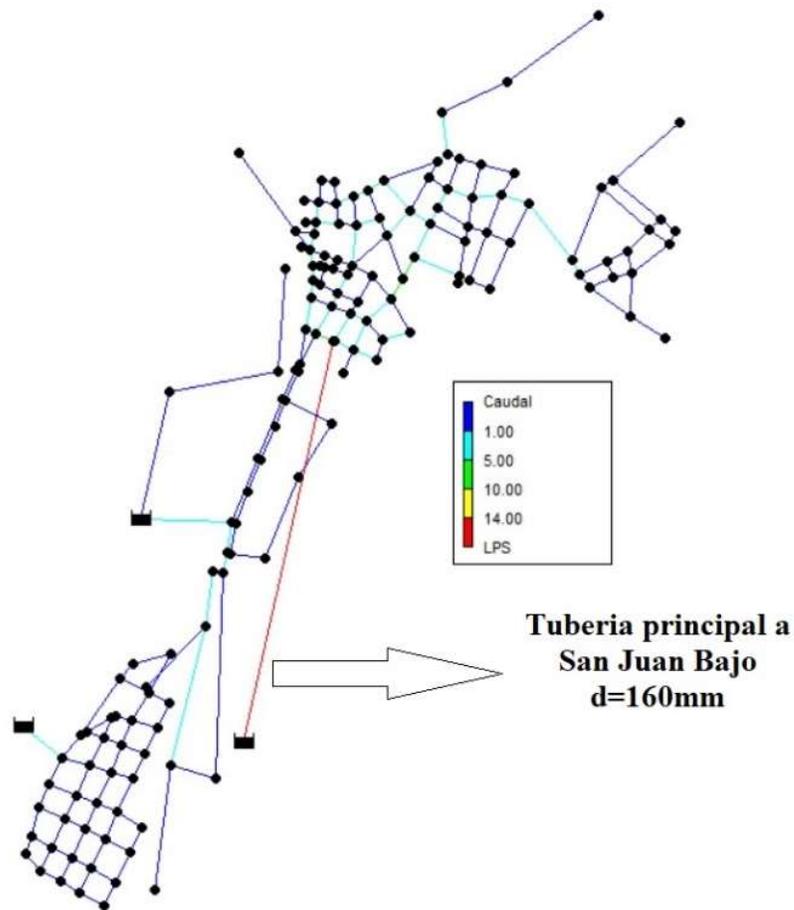
### 3.9.3. Caudal

El máximo caudal inyectado en la red se presenta en a las 12:00 horas con un valor de 28.20 l/s ver **Ilustración 20**.



*Ilustración 20 Caudales del sistema.*

En la tubería principal, la cual parte del tanque de reserva hasta el sector San Juan Bajo (tubería 160mm) es la que tiene la mayor demanda de caudal, esto debido a que este sector es donde se asienta la mayor cantidad de población, respecto a los otros sectores y por lo tanto genera mayor demanda en el consumo.



*Ilustración 21* Caudales en líneas del sistema antes de la gestión.

Fuente: Elaboración propia (EPANET)

#### 3.9.4. Pérdidas de carga.

En general, todo el sistema no posee tuberías las cuales se encuentren con pérdidas unitarias mayores a 15m/Km, como se puede ver en la **Ilustración 22**, por lo tanto, no es necesario reemplazar tuberías, considerando que hace pocos años se construyó el plan maestro de agua potable del cantón.

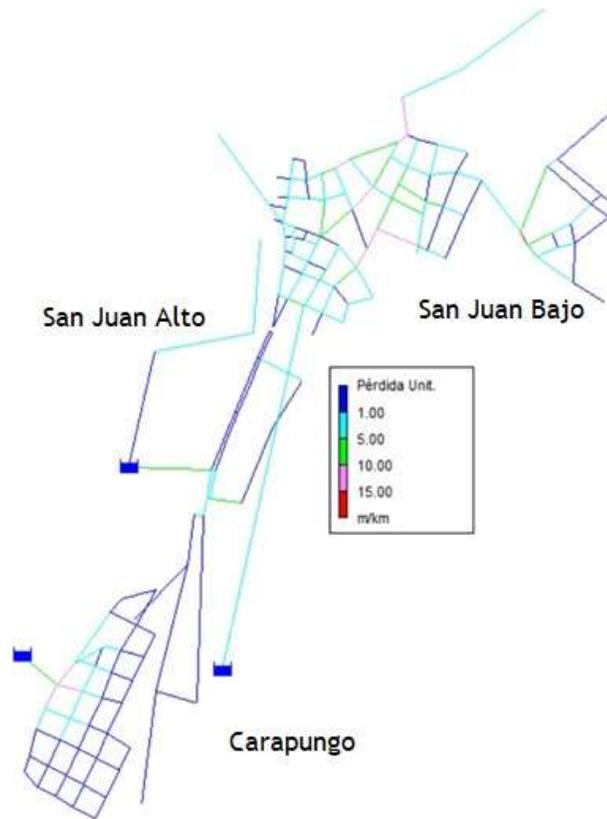


Ilustración 22 Pérdidas unitarias antes de la gestión.  
Fuente: Elaboración propia (EPANET) 2022.

### 3.9.5. Análisis de la evolución del caudal.

Con el balance hídrico técnico calculado en la **Tabla 5** se procede al cálculo del rendimiento del sistema.

$$\text{Rendimiento global del sistema} = \frac{Q_r}{Q}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{9.74 \text{ l/s}}{20.48 \text{ l/s}}$$

$$\text{Rendimiento} = 47.55\%$$

De acuerdo a Cabrera et al. (1999) la calificación de la gestión de un abastecimiento en función de su rendimiento global  $\eta_s$ , es ligeramente distinto al que recomienda la International Wáter Supply Association (IWSA) **Tabla 12**, para el sistema de agua potable de Guamote el rendimiento es de 47.55% y se encuentra con la calificación de **Inacceptable**.

Calificación del rendimiento global del sistema.

Rango	Calificación
$\eta S > 0.9$	Excelente
$0.8 < \eta S < 0.9$	Muy bueno
$0.7 < \eta S < 0.8$	Bueno
$0.6 < \eta S < 0.7$	Regular
$0.5 < \eta S < 0.6$	Malo
$0.5 > \eta S$	Inaceptable

Fuente: Cabrera et al. (1999)

En la **Tabla 16** se puede observar el rendimiento volumétrico que tiene el sistema actual, sin gestión de presiones y en el **Gráfico 2** se representa la distribución porcentual del volumen.

*Tabla 12 Volumen global del sistema*

Volumen	m3/mes	Porcentaje
V. inyectado	53085	100%
V. registrado	25242	47.55%
V. incontrolado	27842	52.45%

Fuente: Elaboración propia (EPANET) 2022.

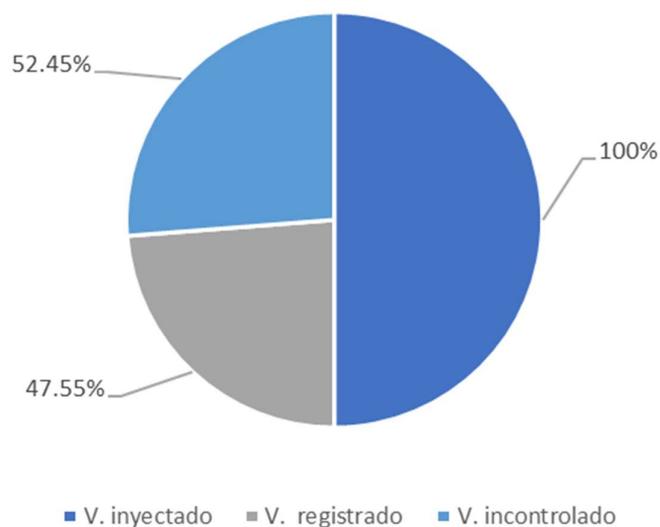


Gráfico 5 Porcentaje volumétrico - rendimiento global del sistema

Fuente: Elaboración propia 2022

### 3.9.6. Evaluación del costo anual del agua potable

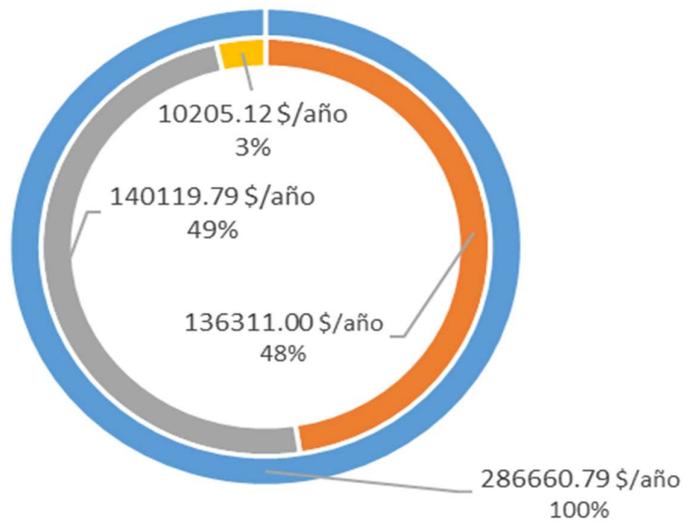
En este apartado se muestra como incide en el aspecto económico la fuga del agua en el sistema, para el análisis se manejó un precio unitario de 0.45 \$/m<sup>3</sup>, este valor esta instaurado por la institución encargada de la administración del suministro.

En la **Tabla 17** se muestra que el volumen de agua fugado y no facturado el cual representa 150324.91 \$/año, dicho valor es mayor al del agua facturado que equivale a 136311.00 \$/año, la **Ilustración 22** muestra que el porcentaje de agua fugada y no facturada es de 51% del total.

Tabla 13 Costo de agua potable por mes y año

Descripción	Volúmenes		Precio	
Volumen inyectado	53085	m3/mes	23888	\$/mes
	637023	m3/año	286661	\$/año
Volumen registrado	25242	m3/mes	11360	\$/mes
	302913	m3/año	136311.00	\$/año
Volumen fugado	25948	m3/mes	11677	\$/mes
	311377	m3/año	140119.79	\$/año
Volumen no facturado	1889	m3/mes	850.00	\$/mes
	22678	m3/año	10205.12	\$/año

Fuente: Elaboración propia 2022.



- Volumen inyectado      ■ Volumen registrado
- Volumen fugado        ■ Volumen no facturado

*Ilustración 23* Costo del agua potable anual

Fuente: Elaboración propia 2022

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis de la simulación del modelo de la red EPANET.**

Una vez obtenido el modelo validado de la red de agua potable, se procede a realizar el análisis técnico, para determinar los problemas que existen y proponer mejoras.

### **4.2. Mejoras en el sistema.**

En la red del sistema de agua potable del cantón Guamote el mayor problema que se presenta es la presión elevada que existe en el sector de San Juan Bajo, esto genera una mayor cantidad de fugas a la red, tomando en cuenta que la normativa permite un valor máximo 50 mca y mínimo de 10 mca.

Debido a que las presiones se encuentran fuera de los rangos, el cambio que se realizará en el sistema actual es la gestión de presiones, mediante la incorporación de válvulas reductoras de presión en lugares estratégicos del sistema.

### **4.3. Gestión de presiones.**

Según Lambert (2000), una correcta gestión de presiones puede implicar tanto incrementos como reducción de presiones, en diferentes momentos del año. En cualquier caso, existe una influencia en el volumen anual de pérdidas reales inevitables.

La red de Guamote presenta una elevada cantidad, con nudos de consumo en los cuales se evidencia una sobrepresión. Para solucionar este problema se utilizó la incorporación de válvulas reductoras de presión en el modelo matemático, estos son elementos de control hidráulico, las que se ubicaran en lugares estratégicos con los cuales se ayuda a reducir la presión presente en la red.

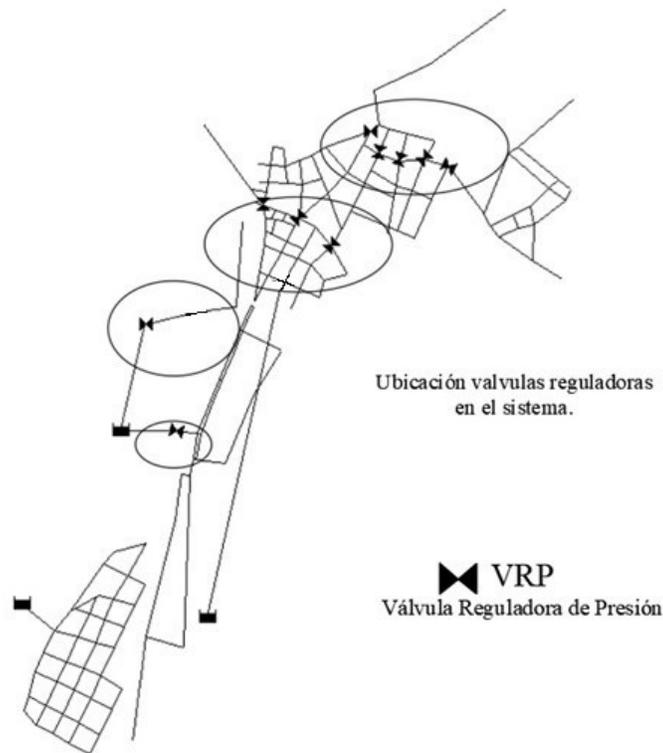
### **4.4. Válvulas Reductoras de presión**

El principal objetivo al instalar una válvula reductora de presión es el de mantener una presión constante aguas abajo del punto en el cual se instala dicha válvula, son utilizadas en

redes de agua potable por su bajo costo y fácil colocación. Esta válvula trabaja en tres posiciones abierta, cerrada o regulando el caudal (Rodríguez Pacheco, 2020).

Según Fernández & Huertas (2016) el principio básico de la regulación es tener una presión de entrada, mediante la restricción de flujo, que genera una pérdida, garantizando así una presión de servicio aguas debajo de la reductora.

De acuerdo con Rodríguez (2020) al momento de ingresar una válvula reductora de presión en EPANET, es indispensable crear nodos extras con las mismas cotas del punto donde se instalara, el valor de la consigna depende de la presión a la cual se requiera ajustar, en la **Ilustración 23** , se muestra el resultado de la colocación de la VRP en el modelo matemático.



*Ilustración 24.* Colocación de VRP en el modelo matemático.

Fuente: Elaboración propia 2022.

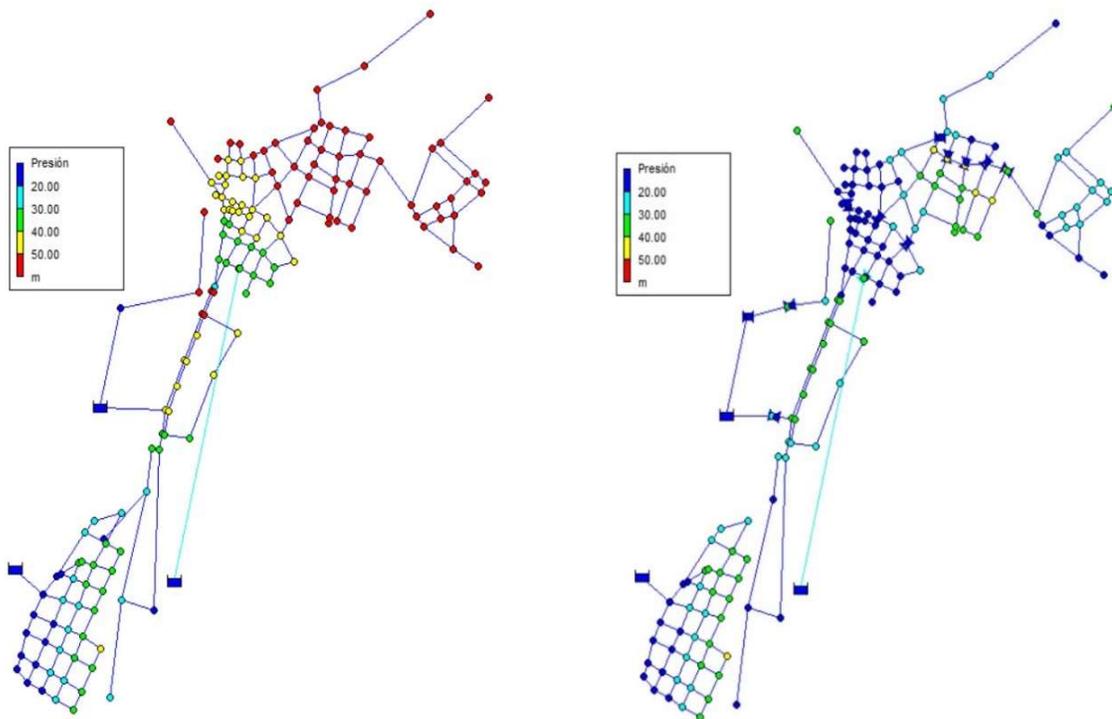
Posterior a colocar las válvulas se observa una disminución en las presiones, de esta manera se consiguió solucionar el problema de las sobrepresiones en su gran mayoría, como

se muestra en la **Ilustración 24**, y la **Tabla 18** se puede apreciar las ubicaciones de todas las válvulas colocadas en el sistema de agua potable de Guamote.

*Tabla 14* VRP colocadas para mejorar la gestión del sistema.

Ubicación	Id	Diámetro (mm)	Cota(msnm)	Tubería EPANET
San Juan Alto	V1	63	3133.3	TB21
	V2	63	3152.9	TB19
	V3	110	3099.05	TB5
	V4	110	3086.1	TBP21
	V5	63	3090.6	TBP20
San Juan Bajo	V6	63	3091	TBP17
	V7	50	3054	TB24
	V8	50	3057.5	TB29
	V9	50	3055.5	TB28
	V10	50	3053.1	TBP40

Fuente: Elaboración propia 2022



*Ilustración 25* Presiones antes de la gestión (izquierda) y después de la gestión de presión (derecha).

#### 4.5. Evaluación de presiones.

En el **Gráfico 3**, se muestran las presiones obtenidas antes de la gestión (color naranja) y se observa que los valores superan los 50 mca, mientras que los datos de las presiones después de la gestión (color azul), son menores a 50 mca y mayores a 10 mca.

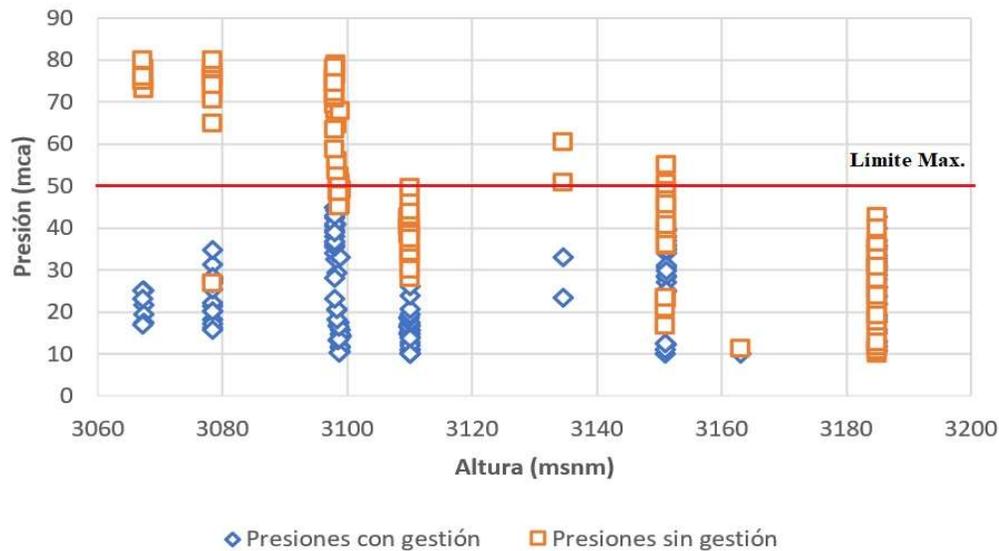


Gráfico 6 Diferencia de presiones con gestión y sin gestión.  
Fuente Elaboración Propia 2022

El valor de la media de las presiones antes de la gestión es 47.78 mca y después de realizar la gestión con la incorporación de VRP es de 23.78 mca.

#### 4.6. Balance hídrico final.

Al realizar la incorporación de VRP al sistema, se redujo el caudal de agua inyectado, pasando de 20.48 l/s a 17.70 l/s después de la gestión de presiones ver **Tabla 19**, esto representa 2.71 l/s. El porcentaje de agua fugada pasa de 48.88% a 40.84%.

Tabla 15 Comparación de caudales con gestión vs sin gestión.

Caudal		Sin Gestión		Con Gestión	
		Valor	Unidad	Valor	Unidad
Caudal Inyectado	Q	20.48	l/s	17.7	l/s
Caudal Registrado	Qr	9.74	l/s	9.74	l/s
Caudal Incontrolado	Qi	10.74	l/s	7.96	l/s
Caudal incontrolado consumido y no registrado por error de medida	Qice	0.73	l/s	0.73	l/s
Caudal incontrolado fugado	Qif	10.01	l/s	7.23	l/s
% Agua Fugada		48.88	%	40.84	%

Fuente: Elaboración propia 2022.

En la **Ilustración 25**, se muestra la evolución de los caudales con la gestión de presiones en el sistema.

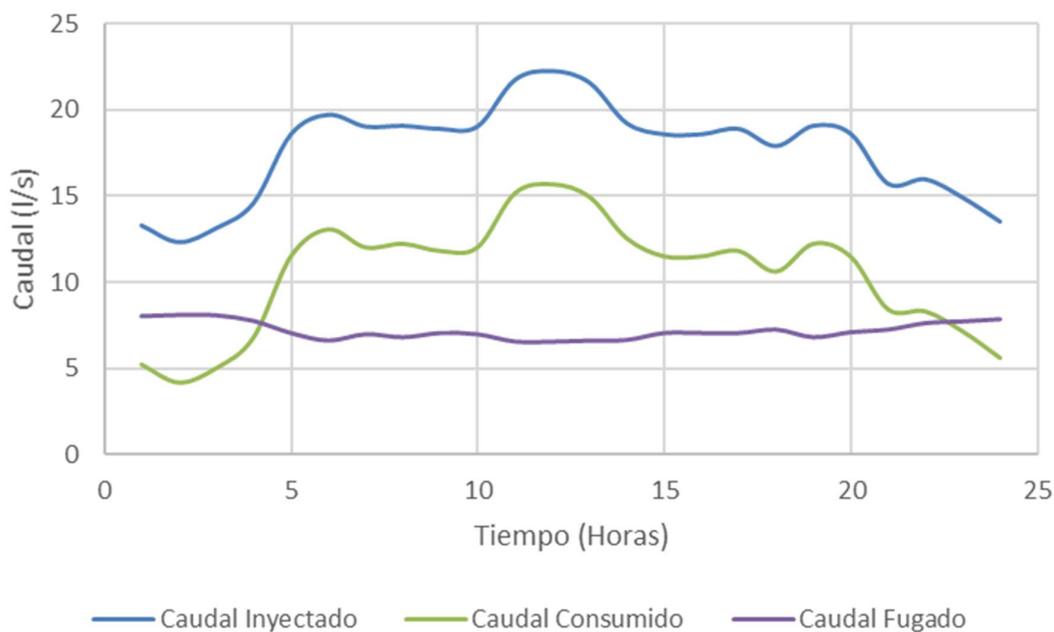


Ilustración 26 Evolución de caudales con gestión de presiones.

Fuente: Elaboración propia 2022.

En la **Ilustración 26** se presenta la diferencia existente entre el caudal fugado e inyectado con gestión de presiones vs sin gestión de presiones, también es importante resaltar que el caudal consumido no tiene una variación debido a que el análisis, se realizó en el mismo periodo.

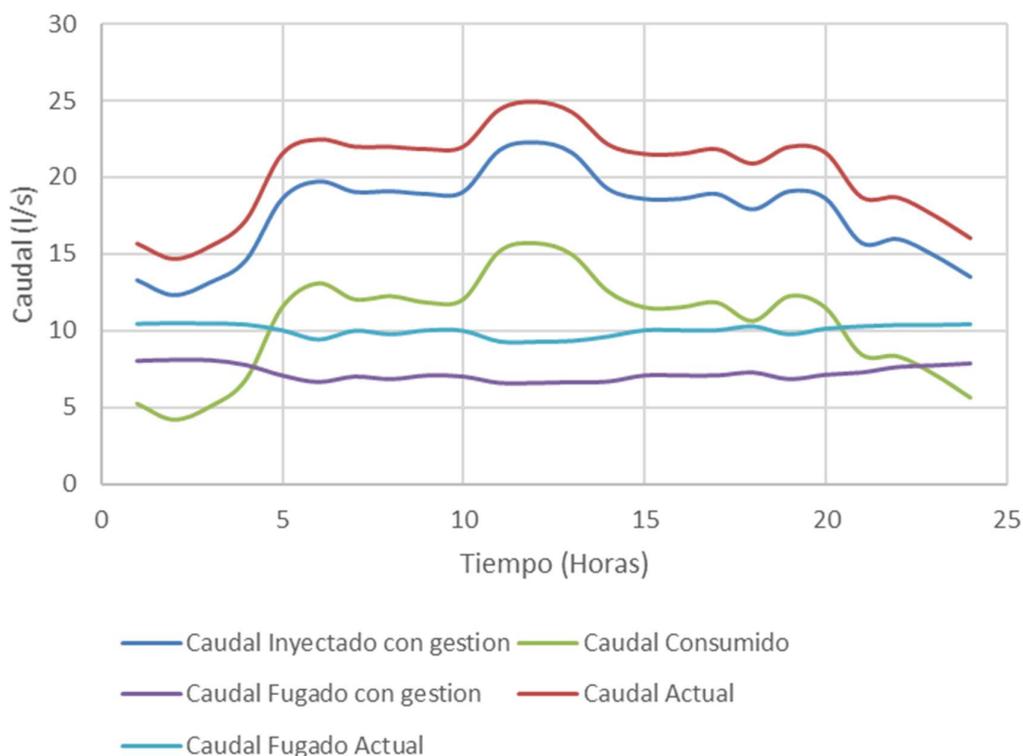


Ilustración 27 Comparación de caudales con gestión vs sin gestión.

Fuente: Elaboración propia (2022).

#### 4.7. Rendimiento del sistema con gestión de presiones.

En la **Tabla 17** se muestra el rendimiento global del sistema el cual paso de un 47.55% a un 55.03% esto significa que, de acuerdo con la **Tabla 12** el sistema pasaría a clasificarse en una condición catalogado como **malo**.

Tabla 16 Comparación del rendimiento global del sistema.

Descripción	Id	Sin gestión	Con gestión	Unidad
Caudal inyectado	a	20.48	17.70	l/s
Caudal consumido, autorizado y registrado	b	9.74	9.74	l/s
Caudal consumido, autorizado y no registrado	c	0.73	0.73	l/s
Caudal fugado	d= a-(b+c)	10.01	7.23	l/s
% fugas	f=d/a	0.49	0.41	%
Rendimiento global del sistema	s=b/a	47.55	55.03	%
Valoración del rendimiento		Inaceptable	Malo	

#### 4.8. Evaluación Económica

En la **Tabla 18** se puede ver los volúmenes y costos del sistema, después de realizar la gestión de presiones y en la **Ilustración 28** se representa los costos anuales, después de la mejora.

Tabla 17 Volúmenes y costos del sistema después de la gestión.

Descripción	Volúmenes		Precio	
Volumen inyectado	45878.40	m3/mes	20645.28	\$mes
	550540.80	m3/año	247743.36	\$año
Volumen registrado	25242.78	m3/mes	11359.25	\$mes
	302913.33	m3/año	136311.00	\$año
Volumen fugado	18810.14	m3/mes	8464.56	\$mes
	225721.73	m3/año	101574.78	\$año
Volumen no facturado	1890.19	m3/mes	850.59	\$mes
	22682.28	m3/año	10207.03	\$año

Fuente: Elaboración propia 2022.

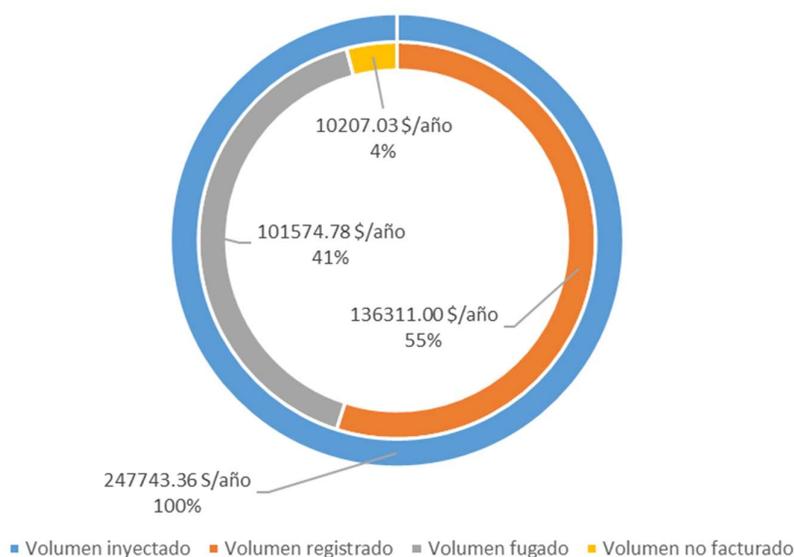


Ilustración 28 Costos después de la gestión.

Fuente: Elaboración propia 2022.

Después de realizar la gestión de presiones se logró obtener un ahorro en el volumen fugado de 85651.36 m3/año, eso representa 38543.11 \$/año a la institución.

En el **Anexo 7**, se muestra el presupuesto referencial para las mejoras propuestas en la gestión que equivale a 25053.47 \$/año, esto demuestra que en menos de un año de implementación la institución podría recuperar el monto de la inversión.

#### **4.9. Discusión**

De acuerdo a Chuquin (2016), una parte esencial en la gestión óptima y eficaz del agua de los sistemas de distribución depende principalmente del nivel de fugas que se tienen en el abastecimiento, es por eso que una gestión adecuada puede mejorar el control del caudal fugado.

Es importante señalar que el modelo matemático se lo realizó basado en los datos proporcionados exclusivamente por la Subdirección de Agua potable del GAD de Guamote, tanto el caudal inyectado como el caudal fugado y dichos datos fueron recopilados en los meses donde el país pasaba por una etapa de cuarentena, esto puede alterar los resultados debido a que los patrones de consumo se ven afectados por estas circunstancias.

Los resultados de la mejora al sistema de agua potable de Guamote son favorables debido a que posterior a la validación del modelo matemático tanto mediante la utilización del coeficiente emisor de fugas, se logró obtener una reducción en la cantidad de agua fugada pasando de 10.01 l/s a 7.23 l/s esto con la ayuda de una correcta gestión en las presiones y colocación de válvulas reductoras de presión en lugares estratégicos.

Otro aspecto importante es la reducción de caudal inyectado en el sistema que se genera al mejorar la gestión de las presiones, debido a que antes de las mejoras el caudal inyectado se encuentra en 20.48 l/s y después de la gestión obtenemos 17.70 l/s, de acuerdo a la clasificación realizados por Cabrera et al. (1999), basados en parámetros indicados por la IWA, pasamos de un rendimiento del sistema de 47.55% (Inaceptable) a 55.03% (Malo).

En la investigación realizada por parte de Rodríguez (2020), señala que los modelos hidráulicos pueden ser implementados en la práctica, pero se recomienda realizar primero la calibración previa al modelo matemático para que de esta forma garantizar que dicho modelo funcione de la manera más óptima.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones.**

Con la culminación del trabajo de investigación, se logró elaborar un modelo matemático de la distribución de la red de agua potable del cantón Guamote en el programa EPANET, el cual permitió obtener un diagnóstico general del estado del sistema, y así de esta manera identificar los problemas, para posteriormente de una forma técnica proponer mejoras que ayuden a incrementar el aprovechamiento del recurso hídrico.

La validación del modelo matemático se la realizó de dos formas, la primera mediante la medición de presiones in situ para posteriormente compararlas con las obtenidas en el programa y verificando que dichos valores no varíen en gran medida, otra forma de validación se la concibió mediante la estimación del coeficiente global de emisores.

En la etapa de diagnóstico se obtuvo el balance hídrico de la red, el cual mostraba que la red en general tiene un rendimiento bajo llegando a obtener un valor de 47.55% que se considera inaceptable y después de la gestión paso a tener un rendimiento con un valor de 55.03% catalogado como malo.

En esta investigación se detectó que uno de los mayores problemas que presenta la red de distribución, son las presiones elevadas las cuales se encuentran fuera de los límites que señala la normativa, en la red se registró una presión media de 47.78 mca, y después con las mejoras planteadas se logró reducir a 23.98 mca, mediante la implementación de 10 válvulas reductoras de presión en puntos estratégicos. Con la reducción de las presiones elevadas en los nudos, adicionalmente se logró reducir el volumen de agua fugada del sistema, lo cual es un indicativo a que reduciendo presiones se reduce el caudal de agua fugada.

La cantidad de agua fugada se redujo de 10.01 l/s a 7.23 l/s, representando un ahorro de 85652 m<sup>3</sup> al año, esto significa una mejora económica para la institución de 38543 \$/año. Si

se compara el costo de la inversión 25053 \$/año en las mejoras propuestas con respecto al gasto que genera las fugas se observa que existe un beneficio para el municipio.

Por último, se destaca que los objetivos de la investigación se concluyeron de forma satisfactoria, debido a que, mediante la creación del modelo matemático y posteriormente su validación, nos servirá para mejorar la gestión en la red de agua potable tanto económicamente y también lograr una mejora en el rendimiento general del sistema actual.

## **5.2. Recomendaciones.**

Al finalizar la mejora del sistema se describen varias recomendaciones, que se detallan a continuación.

Se recomienda optimizar el registro de caudal inyectado y facturado en el sistema, esto debido a que mientras obtengamos mayor y mejor calidad de datos recolectados, ayudará a que el modelo matemático se asemeje a la realidad, para mejorar su administración y gestión.

Se plantea realizar la revisión y mantenimiento constante en los macromedidores para de esta forma garantizar un óptimo registro del caudal suministrado al sistema, por lo que con esta implementación lograremos obtener más información de caudal inyectado y el registro de reparaciones, datos que posteriormente se podrían utilizar para corregir el modelo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR. (2000). *Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes*. Norma UNE-EN 805.
- Ayad, A., Awad, H., & Yassin, A. (2013). Developed hydraulic simulation model for water pipeline networks. *Alexandria Engineering Journal*, 52(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2012.11.005>
- Baños Caballero, D. (2016). Modelado hidráulico y simulación de la calidad del agua en una red de abastecimiento municipal: implementación y validación del método en el municipio de Alcantarilla. *Repositorio Digital - UPCT*, 1–199. <http://hdl.handle.net/10317/5731>
- Cabrera Bejar, J. A., & Tzatchkov, V. (2012). Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 5–25. <http://www.pigoo.gob.mx/>
- Cabrera, E., Almandoz, J., Arregui, F., & García-Serra, J. (1999). Auditoría de redes de distribución de agua. *Ingeniería Del Agua*, 6, 291.
- Campbell Gonzalez, E. (2013). *Sectorización de redes de abastecimiento*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Chuquin Vasco, N. S. (2016). *Análisis Y Elaboración Del Modelo Matemático De La Red De Distribución De Agua Potable De La ciudad De RIOBAMBA-ECUADOR*. Universidad Pontificia de Valencia.
- Fernández, L. J., & Huertas, E. Z. (2016). *Implementation and Management of pressure reducing valves with dynamic control in distribution networks*.
- Lambert, A. (2000). What Do We Know About Pressure: Leakage Relationships in Distribution Systems? *IWA Conference on Systems Approach to Leakage Control and Water*

*Distribution System Management*, 1–8. <http://www.sciepub.com/reference/180840>

Medina, G. M., & Benavides, H. M. (2009). *Política para el control activo de fugas*. Universidad Técnica Particular de Loja.

Normalización, I. E. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para la poblaciones mayores a 1000 habitantes: Instituto Ecuatoriano de Normalización*.

[https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5 Parte\\_9-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5_Parte_9-1.pdf)

Ranedo, M. (2009). *Elaboración del modelo matemático de la red de agua potable de Maspalomas (Gran Canaria), y estudio de sectorización de la misma*. Universidad Politécnica de Valencia .

Redhisp, G. (2017). *Manual del Usuario Versión 2.00.12*.

Rey, P. L. I., & Solano, J. M. (2012). *Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante EPANET 2 vE. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*.

Ríos, S. (1995). *Modelización. Alianza Universidad*.

Rodríguez Pacheco, D. A. (2020). *Modelo matemático de la red de distribución de agua potable del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago, Ecuador: análisis, diagnóstico y propuestas de mejora*.

Rossman, L. A. (1999). *Computer models/EPANET*. In *Water distribution systems handbook*.

Salguero, F. (2011). *Criterios de eficiencia energética y de coste de gestión de fugas como fundamentos para la sectorización de una red de distribución de agua urbana. Aplicación a un caso práctico*. Universidad Pontificia de Valencia.

Santander, D. G. (2015). *Elaboración del modelo matemático de la red de abastecimiento*

*potable de Meliana. Propuestas de mejora de su funcionamiento actual.*

Tzatchkov, V., Alcocer, V., Bourguett, V., & Arreguin, F. (2014). *Avances en la hidráulica de redes de distribución de agua potable.* (G. Martínez (ed.)). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2015/07/avances\\_hidraulica\\_distribucion\\_agua\\_potable.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2015/07/avances_hidraulica_distribucion_agua_potable.pdf)

UNESCO. (2019). *Objetivos de Desarrollo Sostenible agua y saneamiento.* [www.unwater.org](http://www.unwater.org).

Vela, A., Martínez, F., García-Serra, J., & Pérez, R. (1994). Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento. In *Ingeniería del agua* (Vol. 1, Issue 1). <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2630>

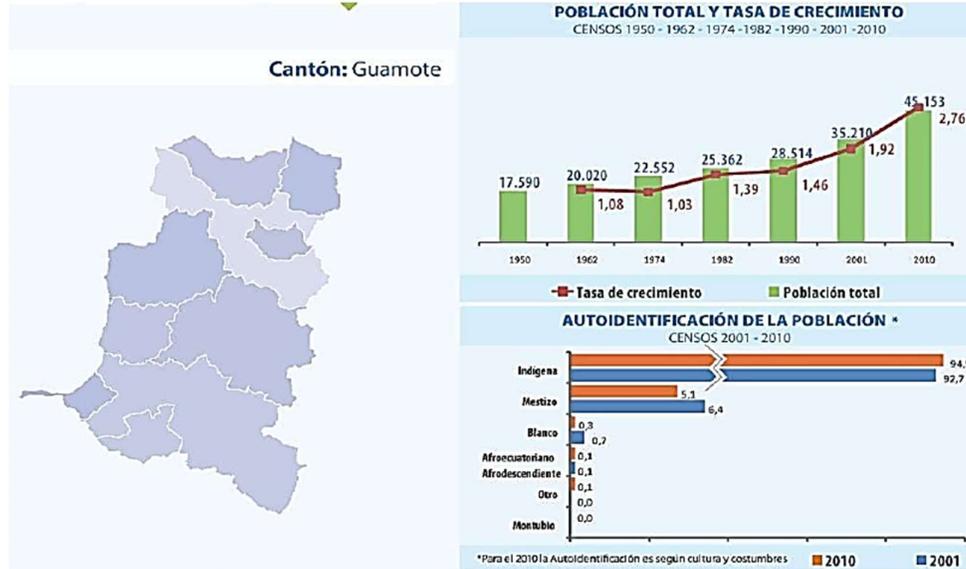
Walski, T. M. (1983). Technique for Calibrating Network Models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 109(4), 360–372. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1983\)109:4\(360\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1983)109:4(360))

Zúñiga Rodríguez, M. G., Martínez Solano, F. J., & Iglesias Rey, P. L. (2019). *Análisis Y Diagnóstico De La Red Del Sistema De Agua Potable De La Cabecera Cantonal Del Cantón Guano, Provincia De Chimborazo, Ecuador.* Universidad Pontificia de Valencia.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1 Cálculo de la población futura

#### INFORMACIÓN POBLACIONAL DEL INEC



#### INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LOS CENSOS DE POBLACIÓN

AÑO	POBLACIÓN CANTONAL	% CRECIM	POBLACIÓN URBANA	% CRECIM
1950	17 590			
1962	20 020	1.08%		
1974	22 552	1.00%		
1982	25 362	1.48%		
1990	28 514	1.48%	1 976	
2001	35 210	1.94%	1 912	-0.30%
2010	45 153	2.80%	2 648	3.68%

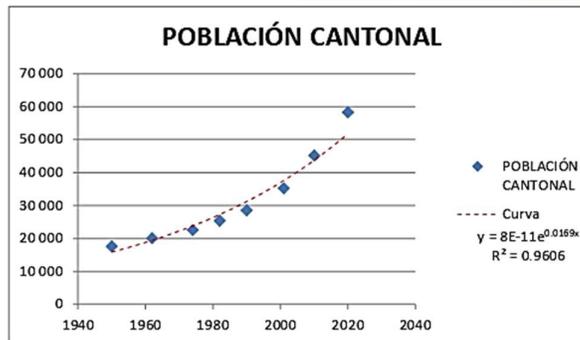
FUENTE: INEC

#### PROYECCIÓN 2010 - 2020 GUAMOTE

AÑO	POBLACIÓN CANTONAL	% CRECIM
2010	45 153	
2011	47 773	5.80%
2012	48 920	2.40%
2013	50 073	2.36%
2014	51 233	2.32%
2015	52 398	2.27%
2016	53 571	2.24%
2017	54 746	2.19%
2018	55 924	2.15%
2019	57 105	2.11%
2020	58 291	2.08%

#### RESUMEN DE DATOS PARA ANÁLISIS DE LA TASA DE CRECIMIENTO

AÑO	POBLACIÓN CANTONAL	% CRECIM
1950	17 590	
1962	20 020	1.08%
1974	22 552	1.00%
1982	25 362	1.48%
1990	28 514	1.48%
2001	35 210	1.94%
2010	45 153	2.80%
2020	58 291	2.08%



#### PROYECCIÓN POBLACIONAL OBTENIDA PARA LA ZONA URBANA DE GUAMOTE

AÑO	POBLACIÓN	% CRECIM
1950	16 416	
1962	20 107	1.70%
1974	24 627	1.70%
1982	28 192	1.70%
1990	32 274	1.70%
2001	38 867	1.70%
2010	45 252	1.70%
2020	53 584	1.70%

#### DEL ANÁLISIS SE CONCLUYE QUE:

Población Urbana 2010: 2 648 hab  
 Población Urbana 2020: 3 136 hab

**% CRECIMIENTO ADOPTADO: 1.70%**

Proyección con el método Geométrico:  $Pf=Pi*(1+i)^n$

Fuente: Elaboración técnicos GADM de Guamote – Sub-Dirección de Agua potable y alcantarillado

*Anexo 2* Modelo de encuesta realizado en la cabecera cantonal de Guamote



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



ENCUESTA ACERCA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN LA CABECERA CANTONAL DE GUAMOTE

Encuesta N.º \_\_\_\_\_

Nombre del encuestador: Cristian Salazar

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del participante \_\_\_\_\_

1. ¿Está usted conforme con el servicio de agua potable?

- Si
- No

Si no está conforme. ¿Cuál es la razón?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. ¿Qué piensa usted de la calidad del agua potable que llega a su domicilio?

- Excelente
- Buena
- Regular
- Mala

3. ¿Cuál es el nivel de presión del agua que presenta en su domicilio?

- Excelente
- Buena
- Regular
- Mala

4. ¿Cuáles son las horas de mayor consumo de agua que se presenta en el domicilio?

En la mañana \_\_\_\_\_

En la tarde \_\_\_\_\_

En la noche \_\_\_\_\_

PRESIÓN DEL AGUA MEDIDA EN EL DOMICILIO: \_\_\_\_\_

**Nota:** Esta encuesta permitirá realizar un análisis de las presiones y calidad del agua

Fuente: Elaboración propia (2022.)

Anexo 3 Tabulación de la encuesta

ENCUESTA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN LA CABECERA CANTONAL DE GUAMOTE																
Participante	Pregunta 1		Pregunta 2				Pregunta 3				Pregunta 4			Presion (PSI)	Presion (mca)	Sector
	SI	NO	Excelente	Buena	Regular	Mala	Excelente	Buena	Regular	Mala	Mañana	Tarde	Noche			
1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	35	24.00	Carapungo
2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	5:00:00	11:00:00	17:00:00	40	28.00	Carapungo
3	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	38	26.00	Carapungo
4	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	19:00:00	28	19.00	Carapungo
5	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	7:00:00	13:00:00	14:00:00	30	21.00	Carapungo
6	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	7:00:00	14:00:00	18:00:00	28	19.00	Carapungo
7	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	8:00:00	12:00:00	18:00:00	49	34.00	Carapungo
8	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	6:00:00	12:00:00	19:00:00	34	23.00	Carapungo
9	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	9:00:00	11:00:00	18:00:00	52	36.00	Carapungo
10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	20:00:00	34	23.00	Carapungo
11	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	8:00:00	12:00:00	18:00:00	36	25.00	Carapungo
12	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	28	19.00	Carapungo
13	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	5:00:00	11:00:00	17:00:00	30	21.00	Carapungo
14	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	32	22.00	Carapungo
15	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	19:00:00	45	31.00	Carapungo
16	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	7:00:00	13:00:00	14:00:00	30	21.00	Carapungo
17	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	7:00:00	14:00:00	18:00:00	28	19.00	Carapungo
18	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	8:00:00	12:00:00	18:00:00	44	30.00	Carapungo
19	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	34	23.00	Carapungo
20	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	9:00:00	11:00:00	18:00:00	42	29.00	Carapungo
21	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	20:00:00	34	23.00	Carapungo
22	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	10:00:00	12:00:00	18:00:00	36	25.00	Carapungo
23	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	36	25.00	Carapungo
24	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	5:00:00	11:00:00	17:00:00	24	16.00	Carapungo
25	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	35	24.00	San Juan Alto
26	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	54	38.00	San Juan Alto
27	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	5:00:00	11:30:00	18:00:00	52	36.00	San Juan Alto
28	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	14:00:00	19:00:00	58	40.00	San Juan Alto
29	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	35	24.00	San Juan Alto
30	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	54	38.00	San Juan Alto

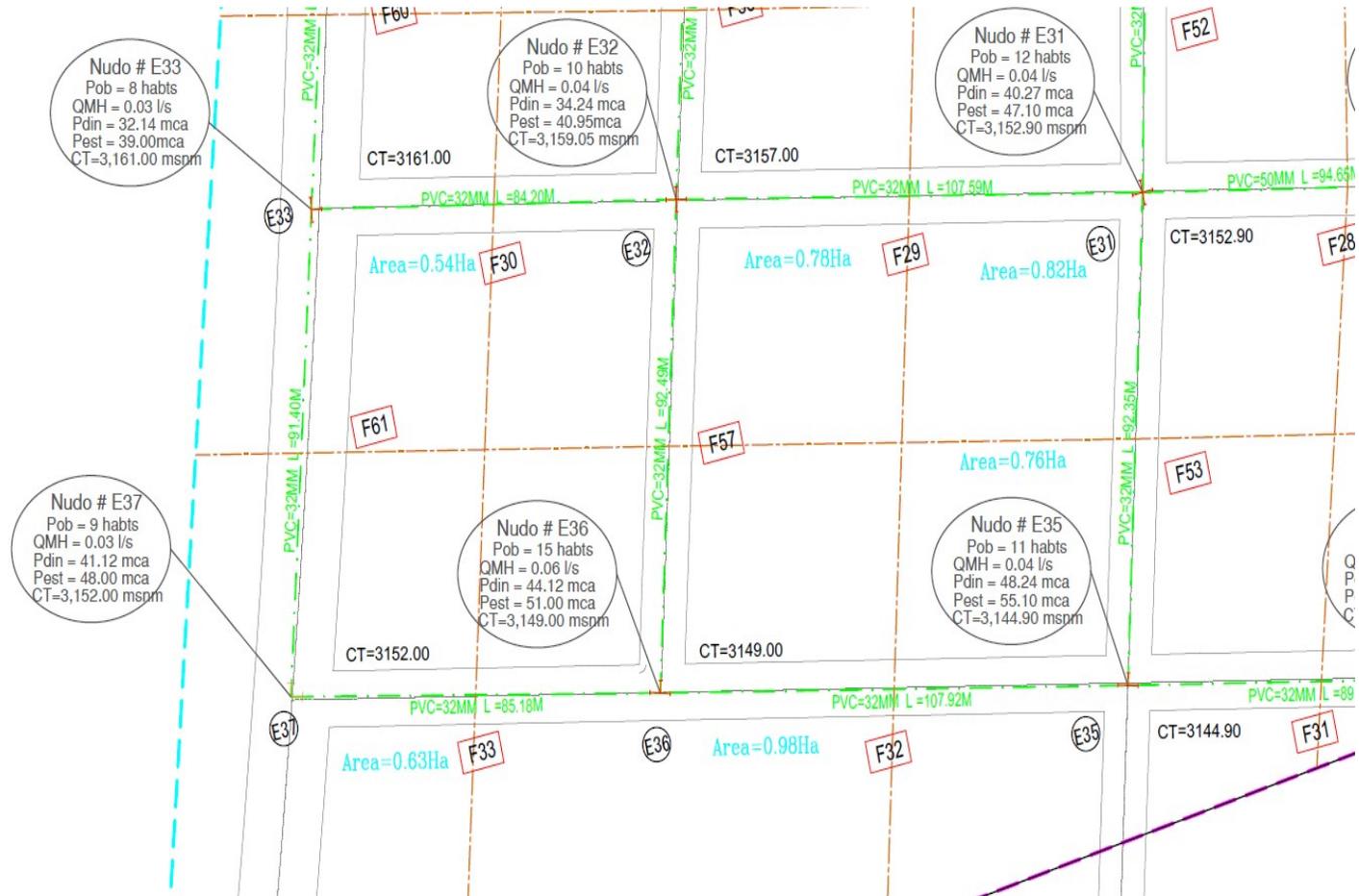
ENCUESTA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN LA CABECERA CANTONAL DE GUAMOTE																
Participante	Pregunta 1		Pregunta 2				Pregunta 3				Pregunta 4			Presion	Presion	Sector
	SI	NO	Excelente	Buena	Regular	Mala	Excelente	Buena	Regular	Mala	Mañana	Tarde	Noche	(PSI)	(mca)	
31	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	5:00:00	11:30:00	18:00:00	50	35.00	San Juan Alto
32	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	14:00:00	18:00:00	52	36.00	San Juan Alto
33	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	70	49.00	San Juan Alto
34	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	54	38.00	San Juan Alto
35	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	6:00:00	11:30:00	17:00:00	65	45.00	San Juan Alto
36	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	7:00:00	14:00:00	19:00:00	28	19.00	San Juan Alto
37	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	35	24.00	San Juan Alto
38	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	54	38.00	San Juan Alto
39	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	6:00:00	11:30:00	19:00:00	72	50.00	San Juan Alto
40	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	14:00:00	18:00:00	60	42.00	San Juan Alto
41	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	7:00:00	14:00:00	18:00:00	54	38.00	San Juan Alto
42	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	35	24.00	San Juan Alto
43	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	6:00:00	12:00:00	19:00:00	54	38.00	San Juan Alto
44	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	6:00:00	11:30:00	18:00:00	50	35.00	San Juan Alto
45	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	14:00:00	18:00:00	36	25.00	San Juan Alto
46	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	6:00:00	13:00:00	19:00:00	25	17.00	San Juan Alto
47	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	54	38.00	San Juan Alto
48	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	7:00:00	11:30:00	18:00:00	50	35.00	San Juan Alto
49	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	14:00:00	18:00:00	58	40.00	San Juan Alto
50	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	14:00:00	19:00:00	58	40.00	San Juan Alto
51	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8:00:00	13:00:00	17:00:00	50	35.00	San Juan Bajo
52	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	18	12.00	San Juan Bajo
53	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	16	11.00	San Juan Bajo
54	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	58	40.00	San Juan Bajo
55	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8:00:00	13:00:00	19:00:00	50	35.00	San Juan Bajo
56	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	53	37.00	San Juan Bajo
57	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	36	25.00	San Juan Bajo
58	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	70	49.00	San Juan Bajo
59	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8:00:00	13:00:00	19:00:00	60	42.00	San Juan Bajo
60	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	64	45.00	San Juan Bajo

ENCUESTA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN LA CABECERA CANTONAL DE GUAMOTE																
Participante	Pregunta 1		Pregunta 2				Pregunta 3				Pregunta 4			Presion	Presion	Sector
	SI	NO	Excelente	Buena	Regular	Mala	Excelente	Buena	Regular	Mala	Mañana	Tarde	Noche	(PSI)	(mca)	
61	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	68	47.00	San Juan Bajo
62	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	7	4.00	San Juan Bajo
63	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8:00:00	13:00:00	19:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
64	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	86	60.00	San Juan Bajo
65	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	90	63.00	San Juan Bajo
66	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	100	70.00	San Juan Bajo
67	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
68	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	11:00:00	17:00:00	85	59.00	San Juan Bajo
69	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6:00:00	12:30:00	18:00:00	90	63.00	San Juan Bajo
70	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	110	77.00	San Juan Bajo
71	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	90	63.00	San Juan Bajo
72	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
73	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	11:00:00	17:00:00	75	52.00	San Juan Bajo
74	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6:00:00	12:30:00	18:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
75	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	90	63.00	San Juan Bajo
76	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
77	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	70	49.00	San Juan Bajo
78	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	11:00:00	17:00:00	70	49.00	San Juan Bajo
79	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6:00:00	12:30:00	18:00:00	60	42.00	San Juan Bajo
80	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	70	49.00	San Juan Bajo
81	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
82	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	90	63.00	San Juan Bajo
83	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	75	52.00	San Juan Bajo
84	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	65	45.00	San Juan Bajo
85	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	68	47.00	San Juan Bajo
86	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	19:00:00	65	45.00	San Juan Bajo
87	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	70	49.00	San Juan Bajo
88	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	110	77.00	San Juan Bajo
89	1	0	0	1	0		0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	19:00:00	107	75.00	San Juan Bajo
90	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	60	42.00	San Juan Bajo

ENCUESTA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN LA CABECERA CANTONAL DE GUAMOTE																
Participante	Pregunta 1		Pregunta 2				Pregunta 3				Pregunta 4			Presion	Presion	Sector
	SI	NO	Excelente	Buena	Regular	Mala	Excelente	Buena	Regular	Mala	Mañana	Tarde	Noche	(PSI)	(mca)	
91	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	65	45.00	San Juan Bajo
92	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	5:00:00	12:00:00	18:00:00	70	49.00	San Juan Bajo
93	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	106	74.00	San Juan Bajo
94	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
95	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	60	42.00	San Juan Bajo
96	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	112	78.00	San Juan Bajo
97	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6:00:00	13:00:00	18:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
98	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	19:00:00	90	63.00	San Juan Bajo
99	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	115	80.00	San Juan Bajo
100	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	12:00:00	18:00:00	95	66.00	San Juan Bajo
101	1	0	0	1	0		0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	19:00:00	95	66.00	San Juan Bajo
102	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	7:00:00	13:00:00	18:00:00	94	66.00	San Juan Bajo
103	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	100	70.00	San Juan Bajo
104	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	5:00:00	12:00:00	18:00:00	110	77.00	San Juan Bajo
105	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	120	84.00	San Juan Bajo
106	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	70	49.00	San Juan Bajo
107	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	5:00:00	12:00:00	18:00:00	75	52.00	San Juan Bajo
108	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	80	56.00	San Juan Bajo
109	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	6:00:00	12:00:00	18:00:00	70	49.00	San Juan Bajo

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo 4



Fuente: Equipo Técnico GADMCG (2020)



**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO  
MUNICIPAL DEL CANTÓN GUAMOTE**

**SUBDIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO**



**REGISTRO DE MACROMEDICIÓN PLANTA DE 12 L/S**

FECHA	HORA	LECTURA DE MACROMEDICIÓN			RESPONSABLE	FIRMA
		CARAPUNGO	SAN JUAN BAJO	SAN JUAN ALTO		
13/03/2020	06:00	170382	214124	219126	Luis Illapa	Luis Illapa
14/03/2020	06:00	170660	214428	219457	Pedro Illapa	Pedro Illapa
15/03/2020	06:00	170925	214715 219818	219818 214715	Alberto Huilera	AH
16/03/2020	06:00	171815	220762	215002	Luis Illapa	Luis Illapa
17/03/2020	06:00	171534	215300 215200	220585	Luis Spuyllón	Luis Spuyllón
18/03/2020	06:00	171793	215594	220943	Pedro Illapa	Pedro Illapa
19/03/2020	06:00	172080	215881	221266	Alberto Huilera	AH
20/03/2020	06:00	172367	216054	221604	Luis Spuyllón	Luis Spuyllón
21/03/2020	06:00	172660	221954	216432	Luis Illapa	Luis Illapa
22/03/2020	06:00	172951	216699	222318	Pedro Illapa	Pedro Illapa
23/03/2020	06:00	173251	216974	222708	Luis Spuyllón	Luis Spuyllón
24/03/2020	06:00					
25/03/2020	06:00	173837	217495	223452	Alberto Huilera	AH
26/03/2020	06:00	174092	217736	223722	Pedro Illapa	Pedro Illapa
27/03/2020	06:00	174392	217995	224070	Luis Spuyllón	Luis Spuyllón
28/03/2020	06:00	174631	218255	224436	Luis Illapa	Luis Illapa
29/03/2020	06:00	174990	224834	218527	Alberto Huilera	AH

**ESTUDIOS DE EVALUACIÓN, DIAGNOSTICO Y DISEÑO DEFINITIVO DEL PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA CABECERA CANTONAL DE GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO  
OFERTA Y DEMANDA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE**

**CAUDALES DE DISEÑO**

No.	Año	Datos Demográficos						Dotación Pop. Fija	Dotación Pop. Flotante	Dotación de Diseño adoptada	Pérdidas	Caudal medio diario qmd	Caudal máx. diario		Dotación Incluido Pérdidas	Caudal de Captación QMD+ 20% Q capt.	Caudal de Condución QMD+10 % Q cond.	Caudal de Tratamiento QMD+10 % Q tratam	Caudal máx. Horario = 2 x qmh	Vol. Regulación	Número Usuarios Conectados	Número Habitantes por Conexión
		Pobla ción Total	índice de Creci miento	Cobert ura	Pobla ción Fija	Pobla ción Flotante	Pobla ción Servid a						k	QMD								
		hab	%	%	hab	hab	hab						l/hab/ d	l/hab/ d								
0	2014	2,833	1.70%	100%	2,833	2,326	5,159	160	60	160	20%	11.46	1.30	14.90	192	17.89	16.39	16.39	22.93	297	1,290	4.00
1	2015	2,881	1.70%	100%	2,881	2,366	5,247	159	60	159	20%	11.59	1.30	15.06	191	18.08	16.57	16.57	23.18	300	1,312	4.00
2	2016	2,931	1.70%	100%	2,931	2,406	5,337	158	60	158	20%	11.71	1.30	15.22	190	18.27	16.75	16.75	23.42	304	1,334	4.00
3	2017	2,981	1.70%	100%	2,981	2,447	5,428	157	60	157	20%	11.84	1.30	15.39	188	18.46	16.92	16.92	23.67	307	1,357	4.00
4	2018	3,031	1.70%	100%	3,031	2,489	5,520	156	60	156	20%	11.96	1.30	15.55	187	18.66	17.10	17.10	23.92	310	1,380	4.00
5	2019	3,083	1.70%	100%	3,083	2,531	5,614	155	60	155	20%	12.09	1.30	15.71	186	18.85	17.28	17.28	24.17	313	1,404	4.00
6	2020	3,136	1.70%	100%	3,136	2,574	5,710	154	60	154	20%	12.21	1.30	15.88	185	19.05	17.46	17.46	24.43	317	1,427	4.00

Anexo 7

Presupuesto referencial para la gestión de presiones de la red de distribución del cantón Guamote

Entidad: Gobierno Autónomo Descentralizado del canto Guamote

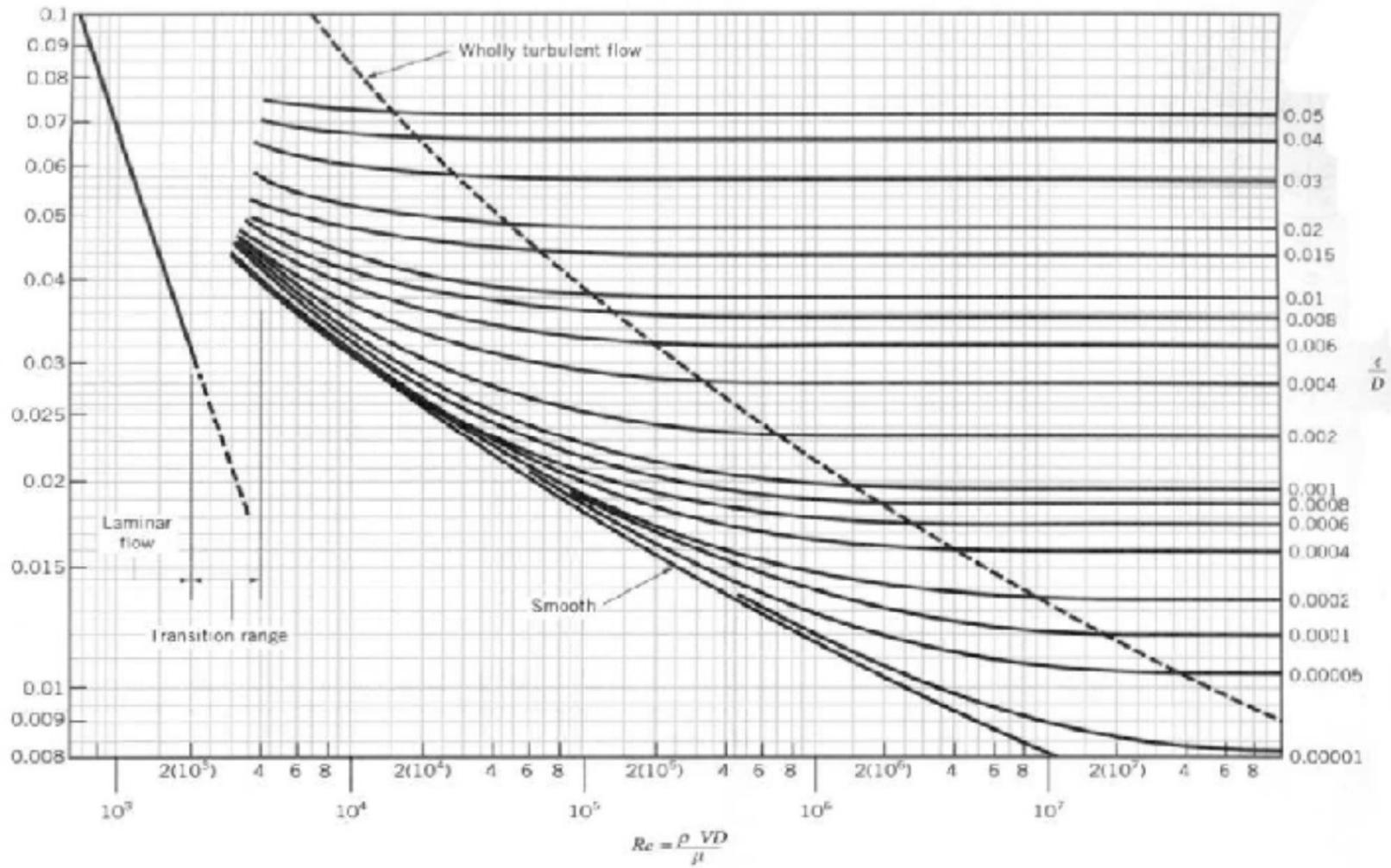
Ubicación: Guamote Chimborazo

Fecha: febrero 2022

PRESUPUESTO REFERENCIAL					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1.1	Rotura de calzada de asfalto, espesor 4"	m2	24.50	5.40	132.30
1.2	Reposición de calzada asfalto	m3	2.20	216.49	476.28
1.3	Remoción de calzada de Adoquín	m2	48.20	7.94	382.71
1.4	Reposición de calzada de Adoquín	m2	20.15	10.20	205.53
1.5	Hormigón Simple 210 Kg/cm2	m3	1.40	257.51	360.51
1.6	Sum e Inst. Válvula HF D=50 mm	u	8.00	68.53	548.24
1.7	Sum e Inst. Válvula HF D=63 mm	u	16.00	122.76	1964.16
1.8	Sum e Inst. Válvula HF D=110 mm	u	4.00	244.73	978.92
1.9	Sum, Unión de reparación PVC U/E D=50 mm	u	8.00	8.81	70.48
2.0	Sum, Unión de reparación PVC U/E D=63 mm	u	16.00	11.21	179.36
2.1	Sum, Unión de reparación PVC U/E D=110 mm	u	4.00	18.80	75.20
2.2	Sum e Inst. Válvula reductora de presión D=50 mm (incl. Accesorios)	u	4.00	1,450.20	5800.80
2.3	Sum e Inst. Válvula reductora de presión D=63 mm (incl. Accesorios)	u	4.00	1,560.52	6242.08
2.4	Sum e Inst. Válvula reductora de presión D=110 mm (incl. Accesorios)	u	2.00	2,476.30	4952.60
<b>SUBTOTAL</b>					<b>22,369.17</b>
<b>IVA</b>				12%	<b>2,684.30</b>
<b>TOTAL</b>					<b>25,053.47</b>

Veinticinco mil cincuenta y tres con cuarenta y siete centavos.

Anexo 8



Anexo 9

