



# POSGRADOS

Maestría en  
Ingeniería Mecánica con mención en Diseño De Sistemas  
Mecánicos, Hidráulicos Y Térmicos  
RPC-SO-24-NO.540-2020

Opción de Titulación:

Proyecto de titulación con componentes de  
investigación aplicada y/o de desarrollo

Tema:

Diseño y simulación de un bypass para  
independizar los caudales en la planta de  
tratamiento de agua potable de la ciudad  
de Lago Agrio

Autor

Jorge Alejandro Cárdenas Espinoza

Director:

John Ignacio Calle Sigüencia

QUITO - Ecuador  
2023

**Autor:*****Jorge Alejandro Cárdenas Espinoza***

Ingeniero Mecánico

Candidato a Magíster en Ingeniería Mecánica con mención en Diseño De Sistemas Mecánicos, Hidráulicos Y Térmicos por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

[jcardenase@est.ups.edu.ec](mailto:jcardenase@est.ups.edu.ec)

**Dirigido por:*****John Ignacio Calle Sigüencia.***

Doctor en Ingeniería Industrial

Magíster en Gestión y Auditorías Ambientales

Ingeniero Mecánico.

[jcalle@ups.edu.ec](mailto:jcalle@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

**JORGE ALEJANDRO CÁRDENAS ESPINOZA**

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BYPASS PARA INDEPENDIZAR LOS CAUDALES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE LAGO AGRIO***

## ***DEDICATORIA***

El presente trabajo de Titulación se lo dedico a toda mi familia, Abuelos (Jorge, Lola, Hilda) Padres (Jorge y Bertha), Hermanos (Ery, Negra, Andy) y Cuñados (Diani y Alex) que han estado presentes en todo momento de mi vida, para apoyarme en cada paso y decisión que tomo, con mucho cariño se los dedico.

Así mismo va dedicado para mi novia Paola, quien ha sido la impulsora a tomar esta decisión, quien me motiva día a día a seguir creciendo como profesional y como persona, y a pesar de los problemas que puedan suscitar siempre está presente con sus palabras de aliento.

## **AGRADECIMIENTO**

Primero quiero agradecer a Dios por darme las bendiciones diarias, la fortaleza y sabiduría para enfrentar la vida de la mejor manera.

A mis abuelos, padres, hermanos, y familia entera que siempre velan por mi bienestar, y están presentes en todo momento brindándome su apoyo y amor para salir adelante.

A mi novia por ser un pilar importante de mi vida, su apoyo ha sido siempre parte esencial en mi crecimiento personal y profesional.

A mi tutor, por brindarme su apoyo y conocimientos para poder realizar de la mejor manera este trabajo de titulación.

Y, por último, pero no menos importante, agradecer a la UPS por brindarme a través de sus maestros, una oportunidad más de crecimiento profesional, a través de este Masterado.

## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción   | 11 |
| 1.1. Situación problemática   | 11 |
| 2. Formulación del problema   | 12 |
| 2.1. Problema general   | 12 |
| 2.2. Problemas específicos  | 12 |
| 2.3. Justificación de la investigación  | 12 |
| 2.4. Objetivo general   | 13 |
| 2.5. Objetivos específicos  | 13 |
| 3. Hipótesis  | 13 |
| 3.1. Hipótesis general  | 13 |
| 3.2. Hipótesis específicas  | 14 |
| 4. Marco teórico  | 14 |
| 4.1. Características funcionales de la PTAP de Lago Agrio   | 15 |
| 4.1.1. Captación del agua para consumo humano   | 15 |
| 4.1.2. El consumo de agua en Lago Agrio   | 17 |
| 4.1.3. Planta de tratamiento de agua potable de Lago Agrio  | 19 |
| 4.1.4. Servicio de abastecimiento ofrecido por la PTAP de Lago Agrio                                | 26 |
| 4.2. Requerimientos del sistema de distribución para una PTAP                                       | 32 |
| 4.2.1. Potabilización del agua  | 32 |
| 4.2.2. Redes de distribución del agua potable   | 41 |
| 4.2.3. Servicio de abastecimiento de agua potable   | 44 |
| 4.2.4. Limitantes del servicio de abastecimiento  | 48 |
| 4.3. Factibilidad de la implementación de un sistema de distribución de agua potable                | 50 |
| 4.3.1. Componentes de un sistema de distribución de agua potable                                    | 50 |
| 4.3.2. Características de un estudio de factibilidad de un proyecto                                 | 51 |
| 4.3.3. Características del análisis técnico económico de un sistema de distribución de agua potable | 56 |
| 5. Metodología  | 59 |
| 5.1. Metodología de investigación   | 59 |
| 5.2. Tipos de instrumentos de investigación   | 59 |
| 5.3. Tratamiento de la información  | 61 |
| 5.4. Diseño del sistema (implementación del Bypass)   | 62 |
| 5.4.1. Funcionamiento actual del sistema  | 62 |
| 5.4.1.1. Planta potabilizadora antigua  | 62 |
| 5.4.1.2. Planta potabilizadora nueva  | 63 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.4.2. | Análisis de la población a ser servida por la planta de tratamiento de agua                     | 64  |
| 5.4.3. | Análisis del funcionamiento actual de la PTAP   | 69  |
| 5.5.   | Propuesta de distribución de planta para EMAPALA  | 76  |
| 5.6.   | Análisis comparativo para la determinación de la factibilidad de implementación de la propuesta | 91  |
| 6.     | Análisis de resultados  | 94  |
| 6.1.   | Análisis del funcionamiento actual de la PTAP   | 94  |
| 6.2.   | Propuesta de distribución de planta para EMAPALA  | 95  |
| 6.3.   | Análisis comparativo para la determinación de la factibilidad de implementación de la propuesta | 96  |
| 7.     | Conclusiones  | 97  |
|        | Referencias Bibliográficas  | 98  |
|        | Anexos  | 106 |

## Lista de tablas.

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Tipos de costes que se pueden producir en un proyecto.....  | 55  |
| Tabla 2. Cuadro de resumen de los accesorios requeridos para la instalación de un bypass.....  | 58  |
| Tabla 3. Resultado de cálculo del índice de crecimiento poblacional por el método aritmético, según el periodo de los datos de censos disponibles.....   | 65  |
| Tabla 4. Resultado de cálculo del índice de crecimiento poblacional por el método geométrico, según el periodo de los datos de censos disponibles.....   | 67  |
| Tabla 5. Fuentes de acceso al servicio de agua potable para la población de Lago Agrio hasta 2010.....   | 69  |
| Tabla 6. Resumen histórico de los datos poblacionales de Nueva Loja (Lago Agrio).....  | 70  |
| Tabla 7. Categorización de los usuarios del servicio de agua potable.....  | 71  |
| Tabla 8. Estimación de la cobertura para agua potable con la proyección de la población por el método catastro urbano.....                               | 72  |
| Tabla 9. Estimación de la demanda de agua potable en Lago Agrio con la proyección de la población por el método catastro urbano.....                     | 72  |
| Tabla 10. Densidades poblacionales con relación al área de servicio.....   | 73  |
| Tabla 11. Dotación recomendada en función de la población y el clima.....  | 74  |
| Tabla 12. Coeficiente de Chow para la fórmula de Hazen - Williams.....   | 74  |
| Tabla 13. Cargos por metro cúbico de agua según la categoría del consumidor.....   | 92  |
| Tabla 14. Ingresos anuales registrados y proyectados para EMAPALA hasta 2028.....  | 93  |
| Tabla 15. Datos empleados para determinar la VAN y TIR usando las diferencias en los ingresos proyectados con y sin la implementación del proyecto.....  | 94  |
| Tabla 16. Normas de calidad organoléptica requeridas para el agua potable.....   | 106 |
| Tabla 17. Compuestos que afectan la potabilidad del agua y son peligrosos para la salud.....   | 106 |
| Tabla 18. Coeficientes de pérdida de carga localizada para los accesorios más comunes en las conducciones de agua.....                                   | 107 |
| Tabla 19. Ficha para evaluar los indicadores del estudio de factibilidad de un proyecto.....   | 108 |
| Tabla 20. Barrios del Sector Oeste de la ciudad de Nueva Loja.....   | 110 |
| Tabla 21. Tipos de vivienda en el cantón Lago Agrio.....   | 110 |
| Tabla 22. Resumen de demanda de caudales y sus variaciones para los barrios de la Vía Quito.....   | 111 |
| Tabla 23. Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable.....               | 111 |
| Tabla 24. Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable. (Continuación...) | 112 |
| Tabla 25. Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable. (Continuación...) | 113 |
| Tabla 26. Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable. (Continuación...) | 114 |
| Tabla 27. Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable. (Continuación...) | 115 |
| Tabla 28. Detalle del rubro EL00: Suministro e instalación de sistema eléctrico para bombeo en la captación. No incluye Generador.....                   | 116 |
| Tabla 29. Detalle del rubro HM4: Suministro e instalación de medidor electromagnético H.D. D=12".....  | 116 |
| Tabla 30. Detalle del rubro AT2: Suministro e instalación de Drive ACS880 45KW /220VAC.....  | 117 |
| Tabla 31. Cuadro comparativo de los tipos de diseño para la PTAP.....  | 117 |

## Lista de Figuras.

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Vista general de las instalaciones de EMAPALA hasta 2014.....  | 21 |
| Figura 2. Vista aérea con descripción de las instalaciones de EMAPALA hasta 2020.....  | 22 |
| Figura 3. Vista parcial del archivo de esquematización del sistema de bombeo de la PTAP de Lago Agrio.....                           | 24 |
| Figura 4. Vista aérea con descripción de las líneas de impulsión de EMAPALA hasta 2020.....  | 25 |
| Figura 5. Vista aérea con descripción de las zonas con cobertura de agua potable, de acuerdo con EMAPALA, hasta 2020.....            | 29 |
| Figura 6. Vista aérea con descripción del punto de captación principal de agua para EMAPALA en 2020.....                             | 30 |
| Figura 7. Esquema simplificado del proceso de tratamiento de agua potable.....   | 31 |
| Figura 8. Vista aérea con descripción de los sectores beneficiarios del abastecimiento de agua potable según EMAPALA hasta 2021..... | 32 |
| Figura 9. Vista aérea ubicación planta antigua PTAP.....   | 63 |
| Figura 10. Vista aérea ubicación planta nueva PTAP.....  | 64 |
| Figura 11. Población proyectada con el método aritmético.....  | 66 |
| Figura 12. Población proyectada con el método geométrico.....  | 68 |
| Figura 13. División de predios en relación con un área de una hectárea.....  | 70 |
| Figura 14. Patrón de demandas.....   | 75 |
| Figura 15. Modelo de bomba planta antigua.....   | 77 |
| Figura 16. Modelo de bomba planta nueva.....   | 78 |
| Figura 17. Esquema de funcionamiento sistemas de bombeo.....   | 78 |
| Figura 18. Sistema actual de la PTAP, Sin Bypass.....  | 79 |
| Figura 19. Esquema de funcionamiento propuesto: aumento de capacidad de almacenamiento.....  | 81 |
| Figura 20. Sistema actual de la PTAP, aumentado capacidad de almacenamiento.....   | 82 |
| Figura 21. Esquema de funcionamiento propuesto: bypass.....  | 83 |
| Figura 22. Sistema propuesto, con Bypass.....  | 84 |
| Figura 23. Distribución de red de tuberías matrices.....   | 85 |
| Figura 24. Sistema de bombeo Planta Antigua y Planta Nueva.....  | 86 |
| Figura 25. Sistema de bombeo con implementación del Bypass.....  | 87 |
| Figura 26. Reserva baja salida planta de tratamiento antigua producción de agua 120 l/s sin bypass.....                              | 88 |
| Figura 27. Reserva baja salida de planta de tratamiento antigua producción de planta 120l/s incorporado bypass.....                  | 88 |
| Figura 28. Comportamiento reserva baja talleres municipales sector oeste sin bypass.....   | 89 |
| Figura 29. Comportamiento reserva baja talleres municipales sector oeste con bypass.....   | 89 |
| Figura 30. Configuración del sistema de bombeo planta existente.....   | 90 |



# Diseño y simulación de un bypass para independizar los caudales en la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Lago Agrio

Autor(es):

JORGE ALEJANDRO CÁRDENAS ESPINOZA

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal determinar una solución eficiente al problema de la distribución de agua potable para la población de Lago Agrio, considerando la corrosión, fugas y control de caudal en la red de distribución de agua. A través de un diseño y simulación detallados, se propone la implementación de un bypass que permita independizar los caudales de entrada y salida en la planta, logrando un mejor control y equilibrio en el tratamiento del agua potable. El resultado final del estudio demuestra la viabilidad y eficiencia del bypass propuesto para mejorar la calidad del agua potable en la ciudad de Lago Agrio.

**Palabras clave:** sistema Bypass, sistema de distribución de agua, tratamiento de agua potable, PTAP.

## ABSTRACT

The main objective of this thesis is to determine an efficient solution to the problem of potable water distribution for the population of Lago Agrio, considering corrosion, leaks, and flow control in the water distribution network. Through detailed design and simulation, the implementation of a bypass is proposed to separate the inflow and outflow flow rates in the plant, achieving better control and balance in the treatment of potable water. The final result of the study demonstrates the viability and efficiency of the proposed bypass to improve the quality of potable water in the city of Lago Agrio.

**Keywords:** Bypass, water distribution system, potable water treatment, PTAP.

## 1. Introducción

### 1.1. Situación problemática

A lo largo de la historia, los asentamientos en la ciudad de Lago Agrio han enfrentado el desafío de un crecimiento descontrolado de su población. La venta desordenada de terrenos y la aprobación de divisiones de terrenos sin considerar los servicios básicos necesarios han dado lugar a dificultades para regular y distribuir adecuadamente dichos servicios.

La escasez de agua siempre ha sido un desafío en la zona occidental de Lago Agrio. Sin embargo, esta necesidad se vio en gran medida satisfecha con la implementación de un nuevo proyecto en el año 2018: la construcción de una Planta de tratamiento de agua potable misma que se abrevia con las siglas PTAP, que cuenta con la infraestructura necesaria para llevar este recurso vital a las áreas más alejadas. A pesar de esto, el caudal de agua sigue siendo un aspecto desfavorable. Por esta razón, se busca proponer alternativas de mejora en la repartición del agua potable, con la finalidad de abastecer a los barrios más desfavorecidos.

El crecimiento poblacional desordenado o desorganizado, sin un previo estudio, crea problemas urbanísticos, entre estos con el abastecimiento de agua potable. La PTAP antigua fue construida sin tener en cuenta el crecimiento de la población, e incluso de manera desorganizada. Por esta razón, en el año 2018 se reconoció la necesidad de implementar una nueva Planta de tratamiento (PTAP). Sin embargo, nuevamente se pasó por alto el crecimiento progresivo de la población. Esto ha llevado a la necesidad de redistribuir los caudales de agua potable mediante de un bypass, con el fin de asegurar que llegue a todos los sectores del centro, norte y oeste de la ciudad.

## **2. Formulación del problema**

### **2.1. Problema general**

¿Cómo solucionar el deficiente caudal y presión de agua potable para los diferentes sectores de la población de Lago Agrio?

### **2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cómo ha afectado el funcionamiento actual de la PTAP de la ciudad de Lago Agrio a la distribución del agua y número de personas que se benefician de este servicio?
- b. ¿Cómo analizar la eficiencia del sistema de distribución de la nueva distribución de tuberías de la PTAP para la determinación de formas de incrementar el caudal y la presión?
- c. ¿Es factible la implementación del nuevo sistema de distribución de agua potable considerando los costos implicados?

### **2.3. Justificación de la investigación**

Lago Agrio, una ciudad ecuatoriana, se encuentra confrontando una situación alarmante en la distribución de agua potable. Se sospecha que la principal red de distribución de agua presenta filtraciones, tanto por una instalación deficiente como por acciones deliberadas, y como consecuencia, no se está distribuyendo el flujo adecuadamente a todos los vecindarios. Así mismo, no hay forma, por el momento de controlar los caudales iniciales y los finales; por lo cual, se plantea el uso de macro medidores de flujo para así llevar un mejor control del caudal que se está repartiendo a cada barrio.

Se implementará un análisis y diseño de un bypass de tubería galvanizada, con la finalidad de prevenir la corrosión y posibles filtraciones presentes en la tubería actual. Además, se contempla la instalación de un macro medidor para una mejor supervisión de los flujos generados en los distintos barrios. Mediante este estudio, se busca obtener el respaldo

financiero del GAD municipal de Lago Agrio para la implementación de este sistema. La ejecución de esta propuesta podría tener un impacto significativo en la mejora del servicio de repartición de agua potable a la población de Lago Agrio, contribuyendo así a mejorar su calidad de vida.

## **2.4. Objetivo general**

Determinar una solución eficiente al problema de la distribución de agua potable para la población de Lago Agrio, considerando la corrosión, fugas y control de caudal en la red de distribución de agua.

## **2.5. Objetivos específicos**

- a. Diagnosticar el funcionamiento actual de la PTAP de la ciudad de Lago Agrio para la comparación del consumo y distribución del servicio de agua potable en sus diferentes sectores.
- b. Realizar la simulación de la nueva distribución de tuberías de la PTAP, considerando los factores de la corrosión, fugas y control de caudal, para el análisis de la eficiencia de diferentes escenarios para el sistema de distribución de agua potable.
- c. Realizar un análisis técnico económico para la determinación de la factibilidad de la implementación del sistema de distribución de agua potable.

## **3. Hipótesis**

### **3.1. Hipótesis general**

La simulación computarizada de la implementación de un bypass para la red de distribución de agua, considerando parámetros de caudal, corrosión y fugas, garantizan un estudio eficiente que permite determinar una solución eficiente al problema de la distribución de agua potable para la población de Lago Agrio.

### **3.2. Hipótesis específicas**

- a. Mediante un estudio de campo se puede diagnosticar el funcionamiento actual de la PTAP para la comprobación de que existen deficiencias en la distribución del servicio, afectando al menos al 25% de los sectores de Lago Agrio.
- b. El uso del software WaterGEMS permite realizar la simulación de la nueva distribución de tuberías de la PTAP para el análisis de la eficiencia de diferentes escenarios para el sistema de distribución de agua potable, procurando el incremento de su caudal y presión de salida, considerando la corrosión, fugas y control de caudal.
- c. El análisis técnico económico, considerando los costos unitarios, determinan los costos de implementación del sistema de distribución de agua potable para la determinación de su factibilidad.

## **4. Marco teórico**

En primer lugar, se llevará a cabo una evaluación exhaustiva de las cualidades funcionales de la Planta de Tratamiento (PTAP) de Lago Agrio, con el objetivo de examinar en detalle los aspectos relacionados con el suministro de agua que ofrece esta entidad.

Esto incluye información sobre la captación de agua para consumo, las propiedades actuales del consumo de agua en Lago Agrio, el funcionamiento de la planta de tratamiento de que posee la ciudad y el servicio de suministro que se proporciona.

En segundo lugar, se realizará un análisis de los requisitos del sistema de distribución de la PTAP, donde se describirán los diferentes métodos de purificación del agua, las redes de distribución utilizadas, el servicio de suministro de agua potable y las limitaciones que puedan existir en dicho servicio. Para concluir, se abordará la viabilidad de implementar una red de distribución de agua potable, explorando los elementos clave de dicho sistema, las características de un estudio de factibilidad de proyecto y el análisis técnico-económico de la red de distribución de agua potable.

## **4.1. Características funcionales de la PTAP de Lago Agrio**

### **4.1.1. Captación del agua para consumo humano**

#### **- El agua como recurso natural**

El agua es el recurso natural más crucial a nivel mundial. Sin ella, la vida no sería posible y la mayoría de las industrias no podrían operar. Posee cualidades singulares que la hacen indispensable para sustentar la vida. Aunque el agua es un recurso renovable, también es limitado en cantidad (Cirelli, 2012).

Uno de los elementos químicos primordiales para los seres humanos y la vida en general es el agua. Su composición consiste en dos átomos de hidrógeno ( $H_2$ ) y un átomo de oxígeno (O). El agua natural se considera un sistema heterogéneo de cierta complejidad, que puede estar compuesto por una fase acuosa, una fase gaseosa y una o más fases sólidas (Medina Orozco et al., 2008).

El agua posee propiedades versátiles, siendo un solvente único y fundamental en numerosos procesos metabólicos. Además, exhibe una alta capacidad térmica y tiende a expandirse al congelarse. Su movimiento puede dar forma al paisaje natural y tener un impacto en las condiciones climáticas (Cirelli, 2012).

#### **- Fuentes de agua para el consumo humano**

El agua dirigida para al consumo humano es aquella que las personas pueden utilizar sin que la misma cause riesgo en su salud, ya sea al entrar en contacto con ella, absorberla o ingerirla, así como para el riego de cultivos. Con el fin de prevenir la propagación de plagas o enfermedades gastrointestinales, es necesario verificar la presencia de virus y patógenos en el agua, los cuales son elementos que pueden contaminar el medio ambiente (Arcos Pulido et al., 2005).

Las fuentes de agua utilizadas para suministrar a las plantas de tratamiento pueden provenir de vertientes, ríos, lagos o estanques naturales, aguas subterráneas, almacenada en embalses u otros depósitos artificiales creados por seres humanos o animales. Estas aguas requieren un tratamiento especial antes de ponerse a disposición de las personas para su consumo. Según su procedencia y condiciones, el agua requiere un tratamiento para cumplir con los estándares y requisitos legalmente establecidos para ser considerada como agua potable. Este tratamiento se realiza con el fin de garantizar que el agua cumpla con las características químicas, físicas y bacteriológicas necesarias para su consumo seguro y de acuerdo con las regulaciones establecidas (Guerrero Zapata, s. f.).

Disponer de una fuente de agua segura y fiable es, por tanto, un requisito básico para construir comunidades sostenibles. Por ello, las fuentes de agua se han protegido estrictamente y no es de extrañar que a lo largo de los siglos hayan habido numerosos conflictos por los derechos de agua (Tebbutt, 1998).

#### - **Almacenamiento del agua para consumo humano**

La escasez de agua se ha convertido en un desafío serio, debido al aumento de la demanda mundial y a los cambios drásticos causados por el calentamiento global. Esto ha llevado a una disminución en la disponibilidad de agua, haciendo que sea cada vez más escasa (Lazarova et al., 2004). La integración del agua para consumo humano mediante redes de reutilización y reciclaje ya es habitual (Klemeš, 2012).

Los depósitos de agua utilizados para almacenarla en los asentamientos humanos pueden ser de arena compactada, hormigón simple o reforzado, polietileno, acero galvanizado, entre otros materiales. Debido a la falta de agua se pueden causar problemas y enfermedades a las comunidades si no se protegen y desinfectan adecuadamente los ductos de transporte del líquido (Pajares & Orlando, 2002).



Para almacenar agua mediante embalsamiento, se puede utilizar una zona de captación que consista en una superficie con un buen estado o que sea nueva, como por ejemplo el techo de un edificio o una estructura especialmente diseñada para recolectar eficientemente las aguas pluviales. La naturaleza de esta superficie es crucial para asegurar que el embalse se llene de acuerdo a las precipitaciones locales (Nickisch et al., 2018).

En diversas regiones del mundo, se han implementado redes de recolección de aguas pluviales debido al alto consumo de agua. Se utilizan en situaciones en las que:

- No hay suministro de agua corriente o es insuficiente.
- Los recursos son escasos y los materiales de construcción son caros.
- Baja disponibilidad de agua.
- Mala calidad del agua (con agentes contaminantes).

Es de vital importancia asegurar el correcto funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de recolección de agua para el consumo diario de las personas, con el fin de garantizar su idoneidad durante todo el año. Tanto en áreas rurales como urbanas, la demanda de agua puede ser satisfecha mediante el uso de tecnologías sencillas y estandarizadas, que aseguren la disponibilidad de agua en términos de cantidad y calidad (Nickisch et al., 2018).

#### **4.1.2. El consumo de agua en Lago Agrio**

##### **- La ciudad de Lago Agrio**

Lago Agrio, situada en la ciudad de Nueva Loja, provincia de Sucumbíos. Según las proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), se estima que la población de Lago Agrio superará los 119594 habitantes en el año 2021 (Municipio de Lago Agrio, 2022).

Lago Agrio tiene como limítrofe al norte la frontera de Colombia, al sur el cantón Shushufindi, al este los cantones Cuyabeno y Putumayo, y al oeste el cantón Cascales.

La ciudad se encuentra a una altitud de 300 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y tiene un clima tropical húmedo. El cantón de Lago Agrio se extiende sobre una superficie de 3214,80 km<sup>2</sup> y está compuesto por 8 parroquias, siendo una urbana (Nueva Loja) y siete rurales (Santa Cecilia, Dureno, El Eno, General Farfán, Pacayacu, Jambelí y 10 de Agosto) (Municipio de Lago Agrio, 2022).

#### - **Uso del agua en Lago Agrio**

La entidad encargada de proveer el suministro de agua en el cantón es la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio (EMAPALA).

Esta organización tiene como propósito principal garantizar el acceso a agua potable y el tratamiento adecuado de aguas residuales, velando por la salud de los pobladores y la protección del medio ambiente. A pesar de los esfuerzos de EMAPALA, aún persisten insuficiencias en el abastecimiento de las necesidades de la ciudadanía. (Quezpaz Fuel, 2014).

En el cantón, generalmente, el agua se destina al abastecimiento de la población para consumo humano, cubriendo las necesidades domésticas y también para proveer agua a los animales. Además, se utiliza de diversas formas en la agricultura, ganadería, generación de energía, industria y otros usos (Cueva Carranza, 2015).

En Lago Agrio, la aparente falta de calidad en el tratamiento del agua potable plantea una amenaza para la salud, bienestar y calidad de vida de los habitantes. Las causas que contribuyen a este problema incluyen la logística deficiente, con presupuestos insuficientes para mantener las plantas de tratamiento en condiciones adecuadas, así como el escaso control de las autoridades y la falta de conocimiento sobre los sistemas de gestión de la calidad del agua. Además, el mantenimiento inadecuado y el daño de las tuberías en las redes de distribución de agua han llevado a una mala calidad del agua. (Quezpaz Fuel, 2014).

## - **Consumo estimado de agua en Lago Agrio**

La cantidad promedio de agua potable consumida por persona y día se mide en (l/p/d). Según Quezpaz Fuel, (2014) en el municipio de Nueva Loja, el alcance de la red de agua potable es del 73% de la población, lo que significa que este porcentaje tiene acceso al agua potable, mientras que el 27% restante no lo tiene.

Cueva Carranza, (2015) sostiene que varios factores influyen en la determinación de la cantidad de consumo de agua, como el clima, el nivel de vida, las actividades de producción, el suministro privado, los servicios públicos, la conveniencia sanitaria, la calidad del agua y la gestión del sistema.

En Lago Agrio, se utilizan diferentes métodos para estimar el consumo de agua. El primer método se basa en registros históricos de la demanda anual local. Si no se dispone de estos registros, se acude a un segundo método, el mismo consiste en analizar el suministro promedio por zona geográfica y población. Por ejemplo, según el informe técnico del estudio de ampliación de la red de abastecimiento de agua potable en la parroquia Pacayacu, el suministro actual de agua en la ciudad central de Pacayacu es de 145 l/p/d. Se proyecta que para el año 2038, esta cifra aumente a 170 l/hab/día (Cueva Carranza, 2015).

### **4.1.3. Planta de tratamiento de agua potable de Lago Agrio**

#### - **Origen y almacenamiento del agua en la PTAP de Lago Agrio**

El suministro de agua para los colonos y empleados de la Texas Petroleum Company (Texaco Petroleum Co) en la localidad de Nueva Loja se convirtió en una necesidad prioritaria. Como respuesta a esta necesidad, el 24 de abril de 1962 se estableció una planta provisional con el objetivo de proporcionar agua a los residentes. El proyecto consistió en la extracción de agua del río Aguarico y su conducción a través de tuberías hasta la planta de tratamiento de agua, siguiendo la propuesta realizada por las hermanas Carmelitas en 1967 para el grupo familiar de Santa Cecilia (Quezpaz Fuel, 2014).

En 1986, el presidente de la República del Ecuador en ese entonces, León Febres Cordero, respaldó la iniciativa al donar 120 millones de sucres al Banco Nacional del Ecuador para financiar la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales y abastecimiento de agua tanto para la localidad de Lago Agrio como para el hospital (Quezpaz Fuel, 2014).

Posteriormente, la entidad estatal Ecuador Estratégico tomó la decisión de emprender la construcción de una nueva planta de tratamiento (PTAR), con un enfoque convencional y mejorado en comparación con la anterior. El objetivo principal fue garantizar la continuidad del funcionamiento del sistema incluso en situaciones de interrupción del suministro eléctrico (Daniela, 2014). Esa planta fue diseñada y construida por la empresa danesa Kruger Corp en el año 2000 para recoger el agua bruta de las orillas del río Aguarico mediante pozos variables y barcazas de recogida conectadas a sistemas de bombeo. Según el operador, la planta trata 120 litros por cada segundo (l/s) a su máxima capacidad (Granizo Rojas, 2020).

Debido al incremento demográfico en la provincia de Sucumbíos, en particular en la zona de Lago Agrio, se ha constatado que las plantas de tratamiento de agua potable resultan insuficientes para cubrir las demandas de la población (Gaona Ramos, 2014).

En el año 2011, se lleva a cabo la construcción de una nueva PTAP por parte de la empresa Delgado Constructores (DELCON) Compañía Limitada. Esta planta opera mediante un sistema de barcazas que cuenta con tres bombas para suministrar agua al lugar, de las cuales dos se encuentran en funcionamiento y la tercera está en espera. La planta contaba con equipos de aireación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El estudio citado preveía una capacidad de 300 l/s pero, por la experiencia del operador la planta, se determina que llega a ser capaz de producir 240 l/s a su máxima capacidad (Gaona Ramos, 2014). (Figura 1)

Figura 1.

Vista general de las instalaciones de EMAPALA hasta 2014.



Nota: Instalaciones de EMAPALA. Tomado de Gaona Ramos, 2014.

#### - Equipamiento de la PTAP de Lago Agrio

En Lago Agrio, se encuentran operativas dos plantas de tratamiento PTAP, una con dotación máxima de 300 litros por segundo y otra con capacidad de 100 litros por segundo.

Estas plantas siguen un proceso convencional que incluye etapas como:

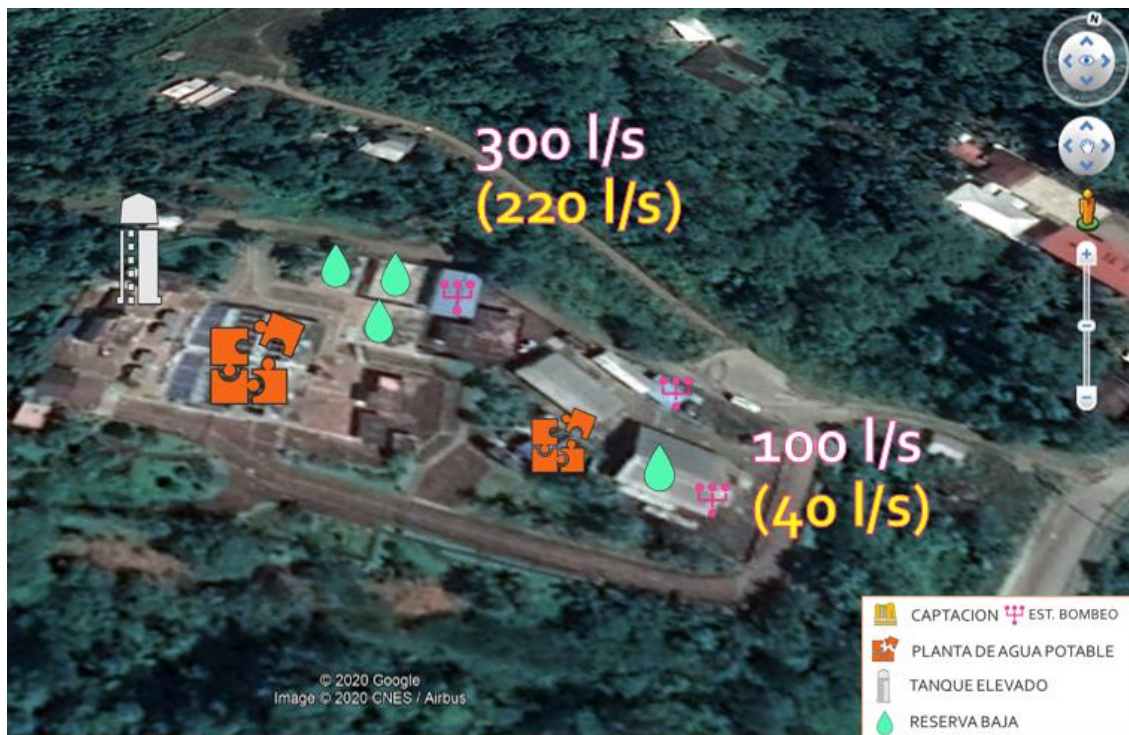
- Aireación.
- Mezcla rápida.
- Floculación.
- Sedimentación.
- Filtración.
- Desinfección.

Además, se disponen de tres reservas de agua potable con capacidad de 1000 metros cúbicos cada una, una reserva adicional de 750 m<sup>3</sup>, dos cárcamos de bombeo para la red principal y la red de sectores, y un tanque elevado (EMAPALA, 2022).

En sus inicios, las instalaciones de la PTAP de Nueva Loja incluían estructuras construidas de acuerdo con los requisitos particulares del proyecto. Estas estructuras fueron diseñadas para albergar equipos, maquinaria, productos químicos, oficinas, laboratorios y áreas de control y supervisión (Figura 2).

Figura 2.

Vista aérea con descripción de las instalaciones de EMAPALA hasta 2020.



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

Además de lo anterior, oficinas, laboratorios de almacenamiento y preparación de reactivos, almacenes, talleres, salas de pruebas de máquinas, salas de compresores y salas de seguridad fueron parte del equipo del sistema de la PTAP.

Entre los elementos presentes en la planta de tratamiento de agua potable se encontraban el depósito de agua cruda, el tanque de bombeo, la caja de distribución, el tanque de mezcla rápida, los canales, el floculador, el tanque de sedimentación, los filtros, el tanque de cloro y el tanque de agua tratada (Daniela, 2014).

## - Sistema de bombeo de la PTAP antigua

La PTAP anterior en Lago Agrio estaba equipada con un sistema de bombeo compuesto por cinco bombas centrífugas que extraían el agua directamente del embalse. Estas bombas se instalaban en paralelo para incrementar el flujo de agua de acuerdo a las demandas requeridas (Gaona Ramos, 2014).

Gracias al mantenimiento del equipo técnico estas bombas se mantienen en funcionamiento y cuentan con las siguientes características:

- Número: 5
- Capacidad: 120 m<sup>3</sup>/h para 58 Mca (metros de columna de agua), o 569 kPa (kilopascales).
- Marca: Grundfos
- Tipo: NK80-400
- Motor: 45 kilovatios (kW), 3 fases, 220V, 60Hz

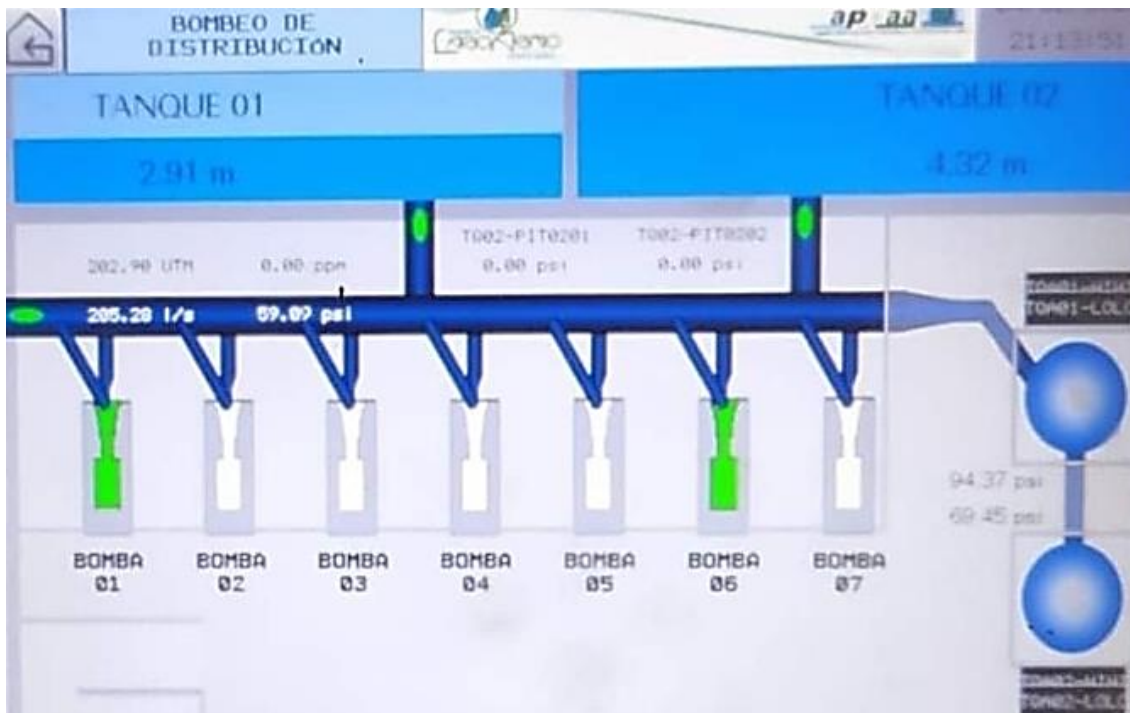
Según Gaona Ramos (2014) se pudo determinar que las bombas tienen un rendimiento del 60%, debido al uso y la vida útil de la bomba. A pesar del mantenimiento, el desgaste de las piezas y sus componentes son también factores significantes. Del sistema de bombeo de la PTAP antigua, vale mencionar:

- *El manifold:* Está dispuesto para que la bomba trabaje en paralelo. Cuenta con un diámetro de 14 pulgadas y se conecta directamente a la línea de impulsión y en la parte superior al tanque de presión de agua.
- *Los accesorios:* Se refieren a los diversos elementos complementarios que garantizan el correcto funcionamiento de la bomba, tales como las válvulas de retención y los manómetros, los cuales contribuyen a la seguridad y eficiencia del sistema.

- *Los depósitos de agua a presión:* Hay dos depósitos de presión de agua cuya función es proteger la bomba y aliviar la presión negativa causada por los fenómenos transitorios.
- **Sistema de bombeo de la PTAP nueva**

Figura 3.

Vista parcial del archivo de esquematización del sistema de bombeo de la PTAP



Nota: Instalaciones de EMAPALA. Tomado de Gaona Ramos, 2014.

El sistema de bombeo de la antigua planta y el sistema de bombeo de la nueva PTAP trabajan de manera conjunta y dependen uno del otro. Estos dos sistemas no pueden operar de forma independiente debido a limitaciones de infraestructura. En consecuencia, el sistema de bombeo de la antigua PTAP solo se activa cuando es necesario para abastecer de agua a la ciudad (Gaona Ramos, 2014).

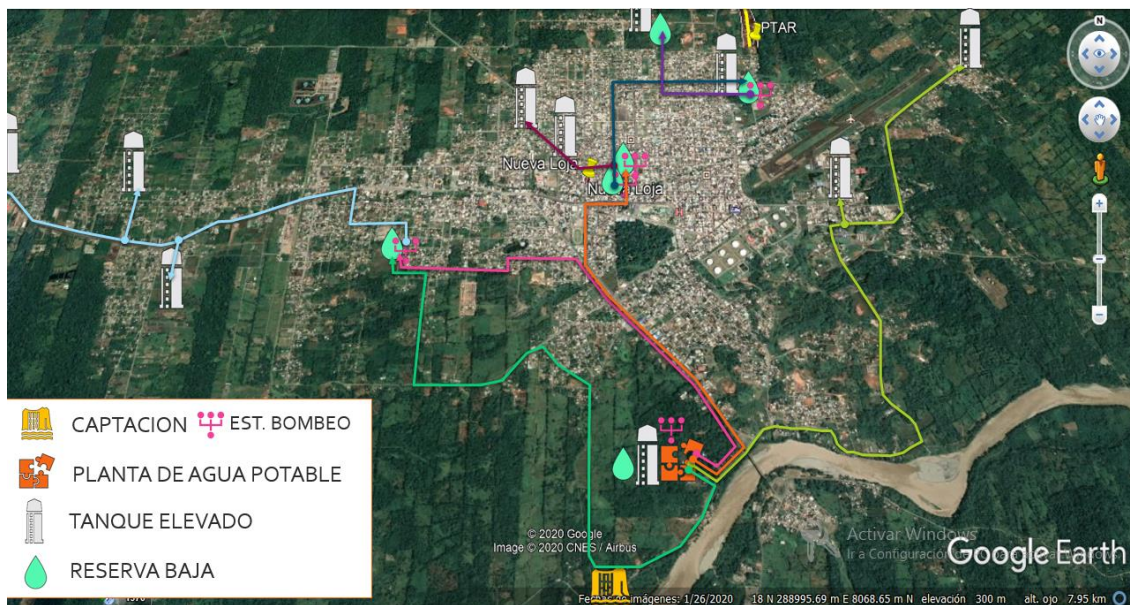
El método actual de tratamiento no cuenta con un sistema de filtración y lavado a contracorriente eficiente, confiable y adecuado. Este sistema se lleva a cabo de forma manual e irregular, lo que resulta en procesos defectuosos.



Específicamente, los procesos de filtración y lavado a contracorriente, encargados de eliminar impurezas, suciedad y partículas perjudiciales para la salud humana, presentan deficiencias en su funcionamiento (Gaona Ramos, 2014).

Figura 4.

Vista aérea con descripción de las líneas de impulsión de EMAPALA hasta 2020.



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

En 2019, se inició la construcción de una nueva Planta de Tratamiento de Agua Potable en la parroquia de Dureno, debido al cumplimiento de la vida útil de la planta anterior. Este nuevo sistema incluirá tanques de reserva, una estación de bombeo, una piscina y reservorios, una línea de conducción, una planta de tratamiento y la correspondiente cobertura en el área urbana (Figura 4) (Empresa Pública Municipal y Alcantarillado de Lago Agrio, 2019).

#### - Capacidad de la PTAP de Lago Agrio

Según Jouravlev (2004), se plantea que las poblaciones que carecen a servicios de agua potable se ven obligadas a buscar otras alternativas, como el uso de pozos públicos e individuales, así como a conexiones ilegales en la tubería de agua potable, la recolección de agua pluvial o la extracción de agua de otras fuentes de agua sin tratamiento previo como en

ríos, lagos, etc. Sin embargo, muchas de estas soluciones no garantizan la calidad del agua recolectada, principalmente debido a la creciente contaminación que afecta a muchas fuentes de agua en la región.

En el estudio realizado por Buenaño Sánchez y DT-Ballesteros (2013), se descubrió que el 69% de los 324 encuestados en la zona rural de Lago Agrio tenían acceso a agua potable en sus hogares, mientras que el 31% restante lo obtenía mediante otros medios. En detalle, solo el 69% se abastecía de la red pública, el 20% utilizaba pozos y el 11% recolectaba agua de lluvia. Esto indica que una significativa cantidad de población todavía no tiene acceso al agua potable

Según lo expresado por la Corporación Chevron (2016), se informa que la planta de tratamiento de agua cuenta con una capacidad de 300 litros por segundo. Además, se ha ejecutado un nuevo sistema de recolección de agua que utiliza una barcaza y dos bombas. Por otro lado, el alcalde de Lago Agrio, Vinicio Vega, ha declarado que la producción actual de agua potable en Nueva Loja está en 220 litros por segundo.

Las primeras pruebas del sistema original de recolección de agua han revelado una capacidad de 280 litros por segundo (Chevron Corporation, 2016).

#### **4.1.4. Servicio de abastecimiento ofrecido por la PTAP de Lago Agrio**

##### **- Tipo de tratamiento del agua en la PTAP de Lago Agrio**

Hacia la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en Lago Agrio el agua tarda unas dos horas en pasar por las cuencas y finalmente se recoge en un abrevadero, donde es alimentada con oxígeno por el agua de lluvia. Luego, el agua entra en un filtro formado por capas de arena de diferentes tamaños de grano, desde la arena fina hasta los guijarros (Quezpaz Fuel, 2014).

Durante el proceso de tratamiento del agua en la Planta de Tratamiento (PTAP) de Lago Agrio, se utiliza una bomba potente para introducir el agua en el sistema. A continuación, el agua atraviesa un canal de transferencia donde se dosifica y se añaden productos químicos, los

cuales se mezclan de forma rápida. Posteriormente, el agua es transportada hacia los decantadores, estos son depósitos grandes divididos en dos secciones. Uno es el *floculador*, que cuenta con una pala mecánica que mezcla el agua con los productos químicos, creando agregados llamados copos. Estos copos se depositan en el fondo del decantador a medida que aumentan de tamaño y peso. El siguiente es el *decantador*, mismo que está equipado con un embudo diseñado para eliminar la suciedad floculada. Este proceso se lleva a cabo de manera diaria para garantizar la calidad del agua tratada en la planta (Gaona Ramos, 2014).

Después de pasar por el filtro, el agua pasa a un depósito subterráneo con una capacidad de 500000 litros. En este depósito, se agrega cloro con el propósito de desinfectar el agua, asegurando que esté en condiciones óptimas para el consumo humano (Gaona Ramos, 2014). Una vez finalizada la etapa de filtrado, el agua es bombeada desde un panel de control operado por el personal de mantenimiento hasta un tanque de distribución situado a 18,50 metros de altura, con un volumen de un millón de litros.

Durante todo el proceso del tratamiento, se realiza un seguimiento y análisis del agua tanto a nivel químico como bacteriológico en un laboratorio. El proceso completo de tratamiento tiene una duración de cinco horas, desde que el agua ingresa a la planta hasta que alcanza las condiciones óptimas para su consumo. Este tiempo se emplea para asegurar que el agua cumpla con los estándares de calidad y sea apta para todos los ciudadanos (Quezpaz Fuel, 2014). Sin embargo, según la encuesta investigativa elaborada por Quezpaz Fuel (2014), en el cantón Lago Agrio la proporción de agua regularmente tratada es sólo del 38,8% y la proporción de agua bien tratada es sólo del 2,1% de la distribuida para la población.

En lo que respecta a la calidad del líquido vital suministrado a los hogares, existen tres fuentes de contaminación que impactan su calidad. Estas son: la falta de cobertura adecuada, la interrupción del suministro de agua a través de tuberías no normalizadas y el uso insuficiente

de instalaciones de recolección y almacenamiento, a pesar del proceso de pretratamiento realizado en las PTAP (Quezpaz Fuel, 2014).

- **Puntos de abastecimiento para la población de Lago Agrio**

En cuanto a la entrega de agua para la población de Lago Agrio, las fuentes de agua disponibles pueden ser poco confiables y variadas. La cantidad de agua disponible en ríos y lagos también puede ser inconstante. Algunas fuentes solo tienen flujo cada cierta época del año, lo que resulta en lechos secos sin una fuente local de agua. Además, tanto los ríos como los lagos pueden secarse debido a la sobreexplotación del agua (Quezpaz Fuel, 2014).

En el ámbito doméstico, la confiabilidad de la red de distribución que lleva el agua a la población desempeña un papel crucial en el mantenimiento del suministro adecuado de agua. Si las tuberías presentan daños o el suministro es intermitente, la cantidad de agua potable disponible se ve comprometida. (Quezpaz Fuel, 2014).

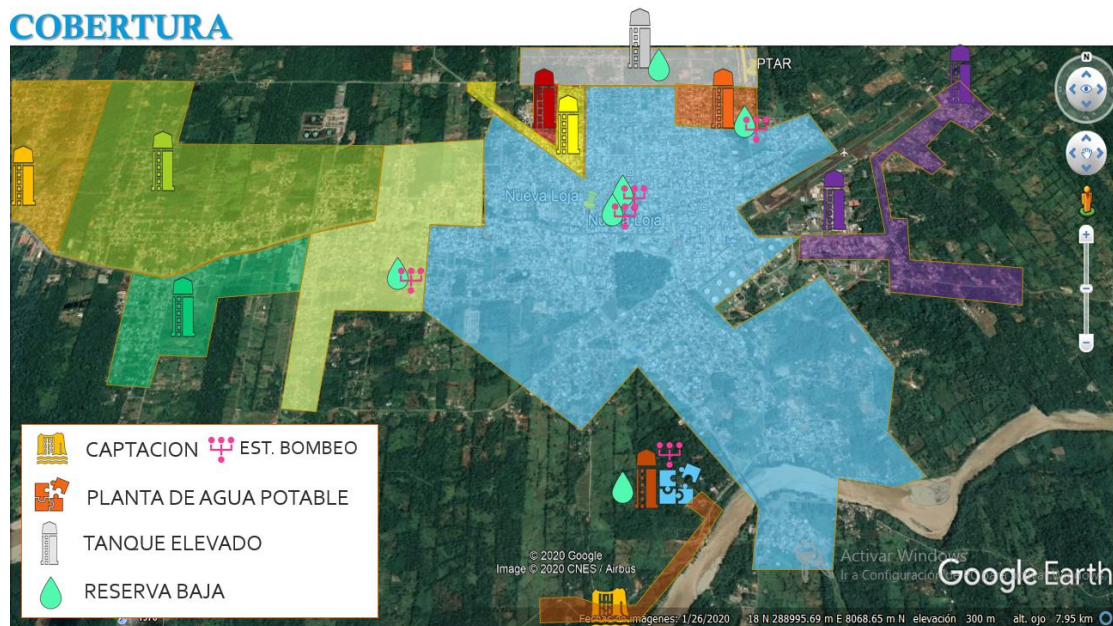
De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los sistemas de distribución de agua deben garantizar que las personas no se encuentren a una distancia mayor de un kilómetro del lugar donde se utiliza el agua, con el fin de asegurar el acceso a agua limpia y de calidad para los usuarios (OMS, 2022).

El coste del tiempo de distribución afecta a las personas de escasos recursos económicos, que a menudo interrumpen su rutina diaria para ir a buscar agua limpia a los manantiales. El tiempo dedicado a la recogida de agua va en detrimento de la salud humana, la productividad y, en muchos casos, el acceso a la educación, entre otras (Quezpaz Fuel, 2014).

En muchos lugares, el coste del agua está subvencionado por las instituciones públicas. En algunos casos, se trata de una herramienta importante para suministrar agua a las comunidades en las que escasea; en otros, puede llevar a un uso ineficiente o a un despilfarro del preciado líquido por parte de quienes no son conscientes de su verdadero valor (Buenaño Sánchez & DT-Ballesteros López, 2013). (Figura 5).

Figura 5.

Vista aérea con descripción de las zonas con cobertura de agua potable, de acuerdo con EMAPALA, hasta 2020.



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

#### - Mecanismos de abastecimiento de la PTAP de Lago Agrio

La recolección de agua no tratada en la planta de tratamiento PTAP de Lago Agrio se lleva a cabo principalmente de manera superficial, como muestra en la Figura 6. Además, se dispone de una captación subterránea que se utiliza en casos de emergencia o durante el mantenimiento de la captación superficial (EMAPALA, 2022). El agua también se obtiene de pozos profundos o acuíferos situados a lo largo de ríos y lagos. Tras el tratamiento físico y químico, el agua se convierte en potable, que gracias al proceso puede consumirse sin restricciones si cumple las normas de calidad, estando libre de sustancias biológicas, orgánicas, inorgánicas o radiactivas y de impurezas extrañas. Esto le permite tener un aspecto agradable y ser prácticamente incolora, insípida, limpia y transparente (Buenaño Sánchez & DT-Ballesteros López, 2013).

Figura 6.

Vista aérea con descripción del punto de captación principal de agua para EMAPALA en 2020.



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

El reabastecimiento de los recursos hídricos está determinado por diversos factores naturales, como las precipitaciones y la preservación de los ecosistemas. El agua no es un recurso que pueda generarse, pero con una gestión adecuada puede convertirse en un recurso renovable. Aunque la Tierra alberga una gran cantidad de agua, solo una pequeña porción de ella es apta para el consumo humano (Castañeda Cortes, 2015).

Las PTAP llevan a cabo un proceso completo de tratamiento, como se indica en la Figura 7, y se realizan estudios de laboratorio para determinar el tipo de tratamiento adecuado. Su objetivo principal es eliminar microorganismos, productos químicos y otros componentes perjudiciales para la salud humana. Para garantizar un suministro continuo de agua, es necesario construir al menos dos plantas para cada etapa del proceso y la capacidad de almacenamiento debe superar la demanda máxima diaria durante el período de diseño (Castañeda Cortes, 2015).

Figura 7.

Esquema simplificado del proceso de tratamiento de agua potable.



Nota: Tomado de Castañeda Cortes, 2015.

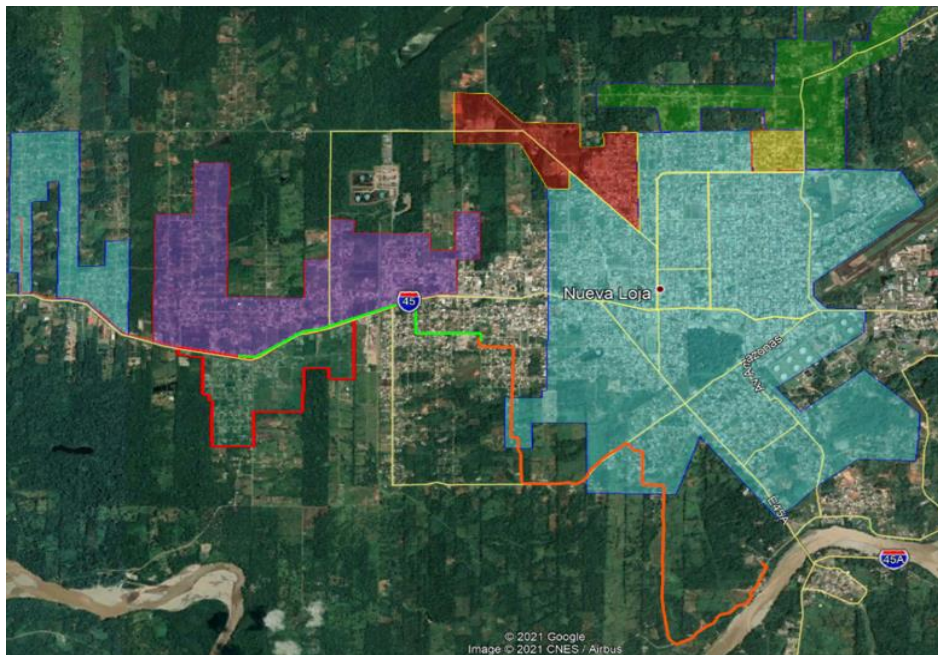
De acuerdo a la investigación de Arizaga Mondragón (2016), el proceso de tratamiento del agua potable se compone de los siguientes elementos:

- Una entrada de agua desde el río.
- Un tanque de almacenamiento de agua cruda.
- Líneas de conducción para el transporte del agua.
- Un sistema de floculación y sedimentación.
- Un sistema de filtración.
- Un sistema de cloración para la desinfección del agua.
- Tanques de almacenamiento destinados al agua potable tratada.
- Sistemas de distribución para llevar el agua potable a los usuarios.

En Lago Agrio, los sectores beneficiarios del abastecimiento de agua potable son 7, de los cuales 3 son directos (Lucha de los Pobres – Km 8, Portal del Valle, y San José) y 4 indirectos (Velazco Ibarra, Centro, 11 de abril, y Mario Guerrero) (Figura 8).

Figura 8.

Vista aérea con descripción de los sectores beneficiarios del abastecimiento de agua potable según EMAPALA hasta 2021.



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

## 4.2. Requerimientos del sistema de distribución para una PTAP

### 4.2.1. Potabilización del agua

#### - Tipos de tratamientos para potabilizar el agua para consumo humano

Para la purificación del agua para consumo humano implica varios procesos cuya dificultad depende de las propiedades del agua en su estado original, según lo indicado por Chulluncuy-Camacho (2011). A continuación, se detalla los procesos más importantes:

- **Cribado:** El proceso tiene como objetivo eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua, como partes de árboles, piedras y plásticos, mediante el uso de una red que los captura.
- **Floculación y coagulación:** Después de que el agua pasa por un filtro, se agregan coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales y facilitar su eliminación. Este proceso ocurre en un tiempo muy corto y depende de la cantidad concentrada del coagulante y del pH final.



En detalle, la floculación implica que las partículas inestables colisionen entre sí y se agrupen para formar flóculos. Además de eliminar la turbidez y los colorantes, estos procesos también eliminan bacterias, virus, patógenos coagulables, algas y, en algunos casos, sustancias que generan sabores y olores indeseables (Chulluncuy-Camacho, 2011).

Es recomendable permitir que los coagulantes tengan suficiente tiempo para disolver las partículas complejas. Los coagulantes comúnmente utilizados incluyen sulfato de aluminio, cloruro férrico y sulfato ferroso. También se emplean coagulantes poliméricos catiónicos o aniónicos (Hankins, 2016). Es fundamental supervisar de cerca el proceso de coagulación y floculación, ya que es una de las etapas más fundamentales para el tratamiento del agua y determina la eficacia de los tanques de sedimentación y los filtros, según lo señalado por Chulluncuy-Camacho (2011).

- ***Sedimentación:*** es el proceso mediante el cual las partículas suspendidas en el agua se separan o retiran del líquido por la gravedad. Estas partículas deben tener una densidad mayor que la del agua, lo que resulta en un líquido más claro y una suspensión más concentrada (Chulluncuy-Camacho, 2011).

Se han llevado a cabo pruebas de laboratorio para determinar la cantidad ideal de floculante en el proceso de coagulación-floculación en una planta de tratamiento de agua potable. Estas pruebas tienen como objetivo simular las condiciones reales y lograr la formación de floculantes sólidos y densos, que puedan retenerse de manera efectiva en el tanque de sedimentación y no se desintegren al pasar por el filtro. La eliminación de las partículas puede lograrse por sedimentación del agua, por filtración o por una combinación de ambos procesos, que se consideran complementarios (Hankins, 2016).

De acuerdo con Chulluncuy-Camacho (2011) existen diversas causas que interfieren en el proceso de sedimentación, los cuales son los siguientes:

- La composición del agua, que incluye cambios en la concentración de sedimentos en suspensión y la temperatura del agua.
- El proceso que precede a la sedimentación, es decir, las etapas previas del tratamiento del agua que pueden afectar las características de las partículas y su capacidad para sedimentar.
- Las condiciones hidráulicas, que se refieren a la velocidad y el flujo del agua durante el proceso de sedimentación.
- **Filtración:** La filtración es el proceso que separa partículas, microorganismos en cantidades reducidas a través de un medio poroso, siendo una etapa crucial para cumplir las normas de calidad del agua potable.

Según Hankis (2016), este proceso consta de diversas etapas que se complementan entre sí:

- **Transporte de partículas en los poros:** Siendo un fenómeno hidrodinámico y físico que se ve influenciado por los indicadores de transporte del material. Los mecanismos que pueden ocurrir durante este transporte incluyen tamizado, sedimentación, atrapamiento, difusión, efecto inercial y efecto hidrodinámico.
- **Adhesión a las partículas del medio:** Este fenómeno implica la interacción superficial entre las partículas y el medio de filtración, consta de parámetros físicos y químicos. Los medios responsables de la adhesión incluyen fuerzas de Van der Waals, electroquímicas y formación de puentes químicos.

Según Hankis (2016), los tipos de filtración se clasifican en:

- **Lechos de filtración:** se pueden utilizar lechos simples, como arena, o lechos dobles o múltiples.
- **Dirección de flujo:** el flujo puede ser hacia abajo, arriba o una combinación de las dos direcciones.
- **Suministro de agua al lecho:** el agua puede ser suministrada al lecho de filtración por gravedad o por presión.

- **Formas de control:** se puede mantener una velocidad constante o variar el nivel de agua, mantener tanto la velocidad como el nivel constante, o reducir gradualmente la velocidad.

Por otro lado, Chulluncuy-Camacho (2011), menciona que existen diversos factores que afectan la filtración:

- **Características de los sólidos en suspensión:** esto incluye el tipo, tamaño, densidad y resistencia de los sólidos en suspensión, así como la temperatura del agua filtrada y la concentración de sólidos en suspensión en el agua de origen.
- **Características del medio filtrante:** se considera como medio filtrante, la dimensión de las partículas, gravedad específica del medio filtrante y el espesor del mismo.
- **Características hidráulicas:** se analiza el porcentaje de filtración, la carga hidráulica disponible, el sistema de control utilizado y la calidad del agua residual resultante del proceso de realizado.

Durante el proceso de filtrado, las partículas se retienen en el medio filtrante hasta que obstruyen el paso del flujo de agua, por lo tanto, es necesario realizar lavados periódicos para eliminar dichas partículas. El agua filtrada debe tener una turbidez no superior a 1 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) y un color inferior a 5 UCV (Unidades de Color Verdadero). La coloración del agua, también, se puede cualificar con la escala APHA (American Public Health Association) o el color de Pt-Co (platino-cobalto) denominada escala de Hazen (Chulluncuy-Camacho, 2011).

La **desinfección** es la parte final del proceso del tratamiento, donde se busca destruir selectivamente los organismos potencialmente infecciosos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no todos los patógenos pueden ser eliminados por este proceso, por lo que se requieren etapas previas como la coagulación, sedimentación y filtración para su eliminación efectiva (Chulluncuy-Camacho, 2011). Existen diversas circunstancias que influyen en la desinfección, tales como:

- Los microorganismos presentes y su comportamiento.
- El tipo y concentración del desinfectante utilizado.
- La temperatura del agua.
- El tipo y calidad del agua.
- El pH del agua.
- El tiempo de contacto disponible.

La presencia de partículas puede reducir la calidad de la desinfección, ya que los organismos de estas partículas pueden resistir la acción de los desinfectantes físicos o químicos. En este sentido, se utilizan sustancias activas al azul de metileno (SAAM) para evaluar la efectividad de los desinfectantes, considerando la presencia de detergentes u otras sustancias que puedan interferir (Hankins, 2016). Para lo cual se presenta la Tabla 16. (Anexo 1)

El cloro es el desinfectante principal utilizado para tratar el agua y hacerla segura para el consumo humano. Además, su acción residual ayuda a proteger el agua en el sistema de distribución contra impurezas. Aparte del cloro, existen otros agentes químicos empleados para purificar el agua. También se utilizan agentes físicos, como los antes descritos. Estos métodos físicos y químicos contribuyen a garantizar la calidad del agua (Chulluncuy-Camacho, 2011).

#### - **Las plantas de tratamiento PTAP**

Las plantas de tratamiento PTAP se diseñan como una serie de etapas y procedimientos cuidadosamente seleccionados para eliminar las impurezas microbiológicas y fisicoquímicas presentes en el agua cruda, con el propósito de cumplir los estándares establecidos en las normas. En Ecuador, la referencia para garantizar la seguridad y aptitud del agua para el consumo humano es el Código de Práctica Ecuatoriano (CPE) emitido por el Instituto Ecuatoriano De Normalización (INEN), en particular el CPE INEN 5:1992. Estas regulaciones establecen los requisitos que deben cumplir las plantas de tratamiento para asegurar la calidad del agua potable (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992) (Vargas, 2004).

La configuración de una PTAP se determina principalmente por la calidad del agua en la fuente de captación. Esto permite seleccionar el proceso de tratamiento más apropiado, evitando la inclusión de etapas innecesarias que podrían aumentar los costos. Además, es fundamental mantener adecuadamente la fuente de agua para evitar que el sistema de tratamiento se vuelva obsoleto (Leal Ascencio, 2005).

Las PTAP pueden clasificarse en diferentes tipos:

- **Plantas de filtración lenta:** Estas plantas simulan el proceso natural de infiltración de las aguas subterráneas por medio de capas de grava, arena y arcilla. Utilizan procesos biológicos y físicos para tratar el agua. Son económicas en términos de construcción y mantenimiento, y son recomendadas para áreas con bajo o moderado consumo, como zonas rurales. No requieren personal especializado, ya que incluyen un filtro de arena que elimina impurezas y microorganismos del agua del manantial (Ramirez Sanga, 2021).
- **Sistemas de filtración rápida:** Los filtros en estos sistemas operan a velocidades más altas, entre 80 y 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día. Debido a estas velocidades, los filtros se saturan y se realiza un proceso de retro lavado, invirtiendo el flujo de agua durante unos minutos para recuperar la porosidad del filtro. Dependiendo de las características de la fuente de suministro, se puede optar por un sistema completo de filtración rápida o un sistema de filtración directa (Vargas, 2004).
- **Sistemas completos de filtración rápida:** Estos sistemas integran todos los procesos de una PTAP convencional. El agua cruda se introduce en el tanque y comienza el tratamiento. Durante el proceso de coagulación, se agita vigorosamente el agua al añadir los coagulantes, luego el agua se mueve lentamente para permitir la formación y crecimiento de flóculos, lo cual constituye la fase de floculación (Córdoba Fernández, 2016).

El proceso de coagulación se encarga de eliminar las partículas coloidales durante la sedimentación. La etapa de filtración es la última etapa del tratamiento del agua. Los decantadores producen agua con una turbidez máxima de 2 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Por lo tanto, el efluente de este filtro no supera una turbidez de 0,1 UNT, lo que garantiza la ausencia de huevos de parásitos (Córdoba Fernández, 2016).

Después de la filtración, se lleva a cabo el proceso de desinfección, que es la más común en ambos tipos de sistemas de filtración. Sin embargo, debido a su alto costo y los requisitos de operación que implican personal capacitado, no se recomienda el uso de estos sistemas en áreas económicamente desfavorecidas (Vargas, 2004).

La **filtración directa** es un proceso que se utiliza en aguas constantemente claras y ligeramente contaminadas, como el agua proveniente de embalses o presas. Antes de aplicar este método, es necesario realizar una investigación exhaustiva de la fuente de agua para comprender su comportamiento estacional y las fluctuaciones en sus características de calidad debido al ciclo del agua de lluvia (Vargas, 2004).

La **filtración directa aguas abajo** es una opción viable si la cuenca es prístina o está bien protegida, con valores de turbidez y color dentro de ciertos límites aceptables, entre 10 y 20 NTU en el 80% de los casos y que no superen las 30 NTU o 25 CU (Unidades de Concentración) en el 90% de los casos. Sin embargo, si el agua se toma directamente del río, es más difícil garantizar la estabilidad de la calidad del agua, por lo que se puede considerar un breve periodo de floculación para obtener un efluente de calidad más estable (Vargas, 2004).

La **filtración directa ascendente** es una variación en la cual el agua bruta entra por debajo de los medios filtrantes y asciende a la superficie debido a las diferencias de presión (por debajo de 100 NTU y 60 CU el 90% del tiempo y que, ocasionalmente, llega a 200 NTU y 100 CU), siendo recogida a través de una tubería. Tanto la filtración directa ascendente como la descendente son adecuadas para aguas con ciertos niveles de turbidez y color (que no superan

las 250 NTU y 60 CU en el 90% de los casos, pero que pueden alcanzar esporádicamente las 400 NTU y 100 CU), y se pueden combinar para tratar aguas con mayores fluctuaciones en su calidad (García Martínez & Torres Novoa, 2016).

La *eliminación del manganeso*, también es importante tener en cuenta, ya que este elemento, presente en diversos depósitos naturales, puede afectar el sabor y el color del agua y causar problemas en las tuberías y sistemas de distribución (Goren, 2008). La exposición excesiva al manganeso puede tener efectos adversos para la salud, y se recomienda mantener su concentración en el agua potable por debajo de ciertos límites establecidos por normas internacionales (Espinoza Ortega & Abril Abril, 2020).

Todo esto puede provocar problemas neurológicos inclusive (Jeż-Walkowiak et al., 2015). Los estándares internacionales sugieren una concentración de manganeso igual o menor a 0,1 mg/l. Pero, hay estudios que demuestran que no debe desbordar el rango de 0,02 y 0,05 mg/l para conseguir unas condiciones seguras de consumo y unas concentraciones de minerales apropiadas para el procesamiento y el uso comercial e industrial (Jeż-Walkowiak et al., 2015), (Phatai et al., 2014).

#### - **Equipamiento de las PTAP**

Existen diversas tecnologías para convertir el agua en potable, todas ellas siguiendo un principio de proceso común:

- Se emplean múltiples barreras, que corresponden a varios ciclos del proceso de estabilización, para alcanzar un nivel de riesgo bajo.
- Se combinan diferentes tratamientos con el fin de obtener el efecto deseado en la composición del agua.
- Cada etapa de tratamiento tiene un objetivo específico relacionado con la eliminación de un tipo particular de contaminante, lo que implica un enfoque basado en objetivos.

De acuerdo con la institución Diseños y Proyectos Reunidos S.A. (DISEPROSA S.A.) (2021), el proceso de equipamiento de las plantas potabilizadoras de agua se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos:

- **Toma de agua del río:** Se establece un punto de recolección de agua con una red que impide el ingreso de elementos grandes como ramas, madera o peces.
- **Desarenado:** Se realiza un levantamiento de la arena en suspensión para evitar daños en la bomba.
- **Bombeo de baja presión:** El agua se extrae directamente del río, lago o embalse y se introduce en la cámara de mezcla mediante bombas de baja presión.
- **Mezclado en cámara:** En esta etapa se añaden productos químicos al agua, siendo los más importantes el coagulante (sulfato de aluminio) y el álcali (cal).
- **Decantado:** El agua ingresa rápidamente a un tanque de gran tamaño donde se permite que los residuos se depositen al fondo. Se añade un coagulante para acelerar el proceso y formar grumos sólidos.
- **Filtrado:** El agua decantada atraviesa un filtro que consiste en capas de arena de diferentes grosores. En esta etapa, el agua se vuelve prácticamente potable.
- **Desinfección:** Se agrega cloro al agua para eliminar el exceso de bacterias y prevenir su proliferación durante el proceso de distribución.
- **Bombeo hacia la estación:** El agua tratada se bombea desde el depósito municipal designado hacia la estación de distribución.
- **Embalse:** Desde la estación de distribución, el agua es enviada y repartida a lo largo de toda la ciudad.
- **Pruebas finales:** Se realizan análisis exhaustivos de muestras tomadas en diferentes partes del sistema utilizando reactivos específicos antes de que el líquido vital llegue al consumidor, asegurando su calidad y potabilidad.



#### 4.2.2. Redes de distribución del agua potable

##### - Circulación del agua, principios físicos y químicos

Las propiedades químicas y físicas del agua producida varían de acuerdo con ciertos factores como la ubicación geográfica del yacimiento, la antigüedad y la profundidad de la formación geológica, la geoquímica de la formación portadora de hidrocarburos, el método de extracción, el tipo de hidrocarburo producido, así como su composición química del yacimiento. El agua resultante no es un producto homogéneo, sino que presenta una composición que puede ser tanto simple como compleja, y que varía en su naturaleza. (Mohammad A. Al-Ghouti, Maryam A. Al-Kaabi, Mohammad Y. Ashfaq, Dana Adel Da'na, 2022).

De acuerdo con la CPE INEN 5:1992, Tabla 17 (Anexo 2), los compuestos que afectan la potabilidad del agua y son peligrosos para la salud como se muestran en esta tabla. Si la presencia de elementos tóxicos en el agua supera los límites establecidos de concentración máxima, puede ser motivo para considerar que la fuente de agua no es idónea para el consumo humano y, por lo tanto, tiene ser rechazada.

Las propiedades físicas del agua tratada para su potabilización se ven influenciadas por su naturaleza dipolar. En comparación con otros líquidos, el agua presenta un punto de ebullición elevado (100 °C) y un punto de congelación bajo (0 °C). La densidad del agua varía según su temperatura, alcanzando un valor máximo de 1000 kg/m<sup>3</sup> a 4 °C. Además, la presencia de sales disueltas puede desencadenar reacciones de corrosión y otras reacciones químicas que pueden contaminar el agua (Newcombe & Dixon, 2006).

El diámetro nominal de las tuberías debe ser de al menos 20 mm, y se debe proporcionar un solapamiento mínimo de 1 metro entre las secciones de la tubería.

En el caso de las tuberías de conducción por gravedad, se requiere seguir métodos estandarizados para configurar el sistema.

Se debe garantizar una velocidad mínima o velocidad de autolimpieza de al menos 0,60 m/s y como velocidad máxima de 3 m/s, aunque puede llegar hasta 5 m/s si no se transporta material fino. Las válvulas de ventilación y de alivio deben colocarse en el punto más alto de la red, o en la parte más baja si la tubería es larga y tiene una pendiente mínima. (Díaz Malpartida & Vargas Pastor, 2016).

Las tuberías de PVC son ampliamente empleadas en proyectos de distribución de agua potable en áreas rurales. Este tipo de material presenta diversas ventajas en comparación con otros tipos de tuberías. Además de ser económico, el PVC es flexible, resistente, ligero y fácil de transportar e instalar. (Newcombe & Dixon, 2006).

#### - **Mecanismos elevadores de la presión del agua**

De acuerdo con los autores Narváez Leime y Pachacama Pachacama, (2021) el término presión es la fuerza ejercida por un fluido sobre una unidad de superficie. En el sistema internacional, la unidad comúnmente utilizada es el pascal (Pa), donde 1 Pa equivale a 1 N/m<sup>2</sup>. Por otro lado, la altura de descarga se expresa en Metros de Columna de Líquido (m.c.l.), siguiendo la siguiente relación:

Ecuación 1

$$1 \frac{kg}{cm^2} = \frac{10}{\gamma} [m. c. l.]$$

Según la Comisión Nacional del Agua en México - CONAGUA (2007) las válvulas, que sirven para frenar o detener el flujo en una tubería pueden dividirse en dos categorías, según su función:

- **De cierre o aislamiento:** Se usan para aislar o bloquear el flujo de una sección de tubería, bomba o regulador del resto del sistema de suministro, para fines de inspección o mantenimiento.
- **De control:** Se emplean para controlar el caudal o la presión, facilitar la circulación del aire o eliminar la acumulación de lodo o aire en el sistema.

La presión máxima en los ductos se produce en condiciones estáticas del líquido en la tubería, cuando la válvula de control está cerrada, y no en condiciones de funcionamiento, por lo que el ducto debe ser seleccionado para soportar esa presión (Díaz Malpartida & Vargas Pastor, 2016).

#### - Mecanismos reguladores del caudal del agua

Los autores Narváez Leime y Pachacama Pachacama, (2021) postulan que el caudal, denotado por la letra Q, es la cantidad de líquido bombeado por unidad de tiempo. Según el sistema internacional, se mide en m<sup>3</sup>/h, L/min y L/s. No obstante, en el sistema de medidas inglés, el caudal se expresa en galones por minuto imperial (lgpm) o en galones por minuto estadounidense (USgpm). Los dos sistemas de unidades se corresponden de la siguiente manera:

Ecuación 2

$$1 \frac{L}{s} = 60 \frac{L}{m} = 3.6 \frac{m^3}{h} = 13.148[lgpm] = 15.839[USgpm]$$

Existen diversas válvulas modernas que presentan un diseño hidrodinámico óptimo, lo que permite reducir la caída de presión y evitar la cavitación. Estas válvulas permiten controlar y ajustar tanto el caudal como la presión mediante la adición de los dispositivos de control necesarios en la cámara principal. De acuerdo con Conagua (2007), se pueden encontrar los siguientes tipos de válvulas en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP):

- **Válvulas tipo mariposa:** Este tipo de válvula cuenta con un diseño hidrodinámico que la hace adecuada para regular el caudal en situaciones de bajo flujo y baja presión. En algunos casos, también se utiliza como regulador en la cabeza de la bomba.
- **Válvulas de arranque:** Estas válvulas tienen un cilindro o cono con un orificio del mismo diámetro que la tubería. Normalmente, se giran 90 grados desde la posición completamente abierta hasta la posición cerrada o viceversa. Se utilizan para controlar el flujo en el sistema de distribución.

- **Válvulas de alto nivel:** Estas válvulas de alto nivel se usan para regular el nivel del depósito en los sistemas de distribución. Estas válvulas cuentan con un rebosadero que se dirige hacia el depósito. En general, existen dos tipos de válvulas de alto nivel conocidas como válvulas de flujo de simple efecto y válvulas de flujo de doble efecto.
- **Válvulas de entrada y salida de aire:** Estas válvulas se instalan para permitir el flujo de aire dentro y fuera de la tubería. Son especialmente útiles en tuberías largas o verticales donde el aire tiende a acumularse, lo que puede obstruir el flujo de agua o reducir la capacidad de la tubería. Estas válvulas ayudan a prevenir problemas relacionados con la acumulación de aire en el sistema.
- **Válvulas reguladoras de presión:** Existen diferentes tipos de válvulas reguladoras de presión, como las válvulas reductoras de presión, las válvulas de retención, las válvulas de seguridad (dependiendo de la ubicación), las válvulas de derivación y las válvulas de control de las bombas. Estas válvulas desempeñan un papel crucial en el control y regulación de la presión del agua en el sistema. Garantizan que la presión se mantenga dentro de los límites seguros y desempeñan funciones específicas, como reducir la presión, evitar el flujo inverso, proteger el sistema de sobrepresiones y controlar el funcionamiento de las bombas.

#### **4.2.3. Servicio de abastecimiento de agua potable**

##### **- Materiales empleables para el abastecimiento de agua potable**

Los sistemas modernos de suministro de agua abarcan una serie de instalaciones que se encargan de recoger, almacenar, transmitir, tratar y distribuir el agua. Las instalaciones de captación y almacenamiento se encargan de recolectar el agua disponible de fuentes como ríos, manantiales y depósitos subterráneos, y pueden incluir la construcción de captaciones, pozos, manantiales, presas y túneles de filtrado (Edzwald, 2011).

En ocasiones, se instalan hidrantes en puntos estratégicos de la red de tuberías para suministrar agua a múltiples hogares (hidrantes públicos) o para conectar tuberías o bombas y suministrar agua a diferentes sectores.

En cuanto al almacenamiento, es común que las plantas cuenten con una zona de embalsamiento donde se instalan depósitos de distribución entre la toma de agua y el sistema de distribución para almacenar el líquido en la fuente de suministro.

La red de distribución se abastece de varios depósitos correspondientes a distintas fuentes de agua, o puede haber depósitos de regulación adicionales en el mismo tramo de la red de distribución que suministran solo una parte de dicha red.

Los sistemas de bombeo, ubicados generalmente en el centro de la tubería o en puntos intermedios de la red de distribución en casos excepcionales, se utilizan para mantener la circulación del agua en la tubería, aumentando la carga hidráulica en el punto de instalación mediante válvulas específicas (CONAGUA, 2007).

#### - **Normas para las tuberías de transporte de agua potable**

Existen varias normas aplicables a las tuberías utilizadas en el transporte de agua potable. Una de ellas es la norma AWWA C200, aprobada por el Instituto Nacional de Normalización estadounidense, que establece los requisitos para la fabricación de tubos de acero utilizados en el transporte de agua a presión. AWWA es la abreviatura de la American Water Works Association.

En cuanto a los materiales utilizados en las tuberías de transporte de líquidos, se aplica la clasificación ASTM (American Society for Testing and Materials). Por otro lado, los accesorios o componentes de los tubos se rigen por las normas europeas (EN). En cuanto al control de los procesos de soldadura y revestimiento, se utilizan los códigos ASME (American Society of Mechanical Engineers), ASNT (American Society for Nondestructive Testing) y NACE (National Association of Corrosion Engineers) (Costa Cañizares, 2013).

Las tuberías de agua que cumplen con la normativa AWWA C200 son utilizadas en diversas áreas e industrias. Algunos ejemplos incluyen centrales hidroeléctricas, sistemas de PTAP, sistemas de riego de alta presión y tuberías para el tratamiento de aguas residuales. Estas tuberías son diseñadas y fabricadas según los estándares establecidos por la AWWA para garantizar su calidad y durabilidad en aplicaciones específicas relacionadas con el agua.

La AWWA C200 cubre la transmisión y distribución de agua en soldadura a tope, recta o en espiral, de 6 pulgadas (alrededor de 152 mm) y superior. Esto incluye los requisitos para la fabricación de tuberías, soldadura, tolerancias de peso y dimensiones, preparación final, fabricación de componentes especiales, procedimientos de inspección y pruebas (USI Group, 2022).

En Ecuador, se cuenta con una normativa específica para las tuberías empleadas en el transporte de agua potable, denominada NTE INEN 2497. Esta norma establece los requisitos aplicables a las tuberías de PVC rígidas roscadas utilizadas en la conducción de agua potable a presión. La NTE INEN 2497 es aplicable a los tubos de PVC rígido con unión por rosca destinados al transporte de agua potable a presiones de hasta 45 °C.

La versión vigente a 2023 es la NTE INEN 2497:2015 y abarca tanto las tuberías empleadas en instalaciones empotradas como aquellas expuestas a la luz solar. Dicha normativa establece los estándares de calidad y seguridad que deben cumplir las tuberías de PVC en el contexto del suministro de agua potable en Ecuador (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015).

#### - **Normas para uniones, codos y derivaciones**

En términos generales, uno de los desafíos principales en el transporte de agua potable a través de tuberías radica en asegurar el cumplimiento de los requisitos necesarios para garantizar su calidad para el consumo humano. En Ecuador, dichos requisitos están establecidos en la norma NTE INEN 1 108:2011. Esta normativa es aplicable tanto a los sistemas públicos

como privados de suministro de agua potable, ya sea a través de redes de distribución o mediante el uso de camiones cisterna. Su objetivo es establecer los estándares y criterios para asegurar la calidad del agua potable en el país. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Las normas que se presentan a continuación tienen como objetivo establecer criterios técnicos sólidos para el diseño y la construcción de redes de abastecimiento con control físico, con el propósito de lograr la máxima uniformidad y garantizar un nivel adecuado de calidad y fiabilidad en su aplicación (UNE-EN, 2022):

- **RD 140:2003:** Establece los criterios sanitarios para la calidad del agua destinada al consumo humano.
- **SAS 1915:2009:** Se refiere a las sustancias utilizadas en el tratamiento de agua para la producción de agua potable.
- **UNE-EN 10224:2003/A1:2006:** Establece los requisitos técnicos para tubos y accesorios de acero no aleado utilizados en el transporte de líquidos acuosos, incluyendo el agua para el consumo humano. Específicamente, define las condiciones de suministro que deben cumplirse.

En Ecuador, se establecen directrices específicas para las uniones y acoplamientos utilizados en los sistemas de transporte y distribución de agua potable, según se indica en el numeral 5.7.84 de la norma **CPE INEN 5 Parte 9**. Los estándares relacionados con los mecanismos de derivación se encuentran en el apartado 5.1.2, que aborda la captación de aguas superficiales. Además, las especificaciones para válvulas, codos y otros componentes aplicables en las tuberías de transporte de agua potable se resumen en el apartado 5.6, el cual trata sobre tuberías, válvulas y accesorios de la misma norma mencionada (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).

#### 4.2.4. Limitantes del servicio de abastecimiento

##### - Fugas en el sistema de distribución de agua

En los sistemas de distribución de agua, el deterioro del material de las tuberías es una preocupación considerable. Normalmente, los departamentos de agua esperan entre un 30 y 40% de pérdidas debido a las fugas causadas tanto por la corrosión química, como por la bio-corrosión o por influencia microbiana (MIC) (Newcombe & Dixon, 2006).

Dado que el consumo en la red varía, la presión en la misma también fluctúa. Para hacer frente a estas variaciones, se requiere contar con más bombas para suministrar agua cuando sea necesario. Es fundamental tener en cuenta que las fluctuaciones de presión en el suministro de la bomba se transmiten directamente a la red, lo que puede resultar en costos adicionales para cubrir las pérdidas causadas por fugas (CONAGUA, 2007).

##### - Elementos obstructores o modificadores del caudal

La principal consecuencia de la obstrucción o alteración del caudal de suministro es la reducción del volumen de agua almacenada. Durante períodos de sequía, las precipitaciones disminuyen, lo que resulta en una reducción o pérdida de los caudales de las aguas superficiales y subterráneas, así como en un descenso de los niveles en las cuencas fluviales (Cárdenas Jaramillo & Patiño Guaraca, 2010).

Estos cambios en el suministro de agua presentan signos evidentes de degradación, entre los que se incluyen:

- Disminución de los niveles de agua en los cauces de los ríos.
- Aumento en la acumulación de sedimentos en el lecho del río.
- Incremento en la frecuencia y gravedad de las inundaciones.
- Mortandad de árboles en los lechos de los ríos.
- Sequedad de los pozos.



Según la Tabla 18 (Anexo 3), de la CONAGUA (2007) , esta estimación toma en cuenta el factor de obstrucción en el flujo, que es una medida adimensional dependiente de otros parámetros ( $K_l$ ); la velocidad media en el tramo de tubería aguas abajo de la obstrucción, expresada en metros por segundo ( $v$ ), y la aceleración de la gravedad, expresada en  $m/s^2$  ( $g$ ). Utilizando estos valores, se puede calcular la pérdida de carga hidráulica causada por accesorios, en m ( $h_l$ ):

Ecuación 3

$$h_l = K_l \frac{v^2}{2g}$$

#### - **Corrosión en el sistema de tuberías**

La corrosión se refiere a la interacción fisicoquímica entre un material metálico y su entorno, que resulta en alteraciones de las propiedades del material. Éste es un proceso electroquímico en el que los electrones se transfieren desde el metal, a través de una serie de reacciones redox, a un aceptor de electrones, a menudo oxígeno molecular, en contacto con la superficie metálica (Hamaker, 1937). Como resultado de la reacción el metal se oxida, lo que conduce a su disolución, y el aceptor terminal de electrones se reduce. Según Derjaguin, (1934) la forma más conocida de corrosión es la oxidación de los materiales ferrosos, que se produce cuando dichos materiales se exponen al oxígeno y al agua. Por esta razón, los materiales ferrosos requieren un elemento protector o aislante para conducir agua.

En la mayoría de los casos, la velocidad de la reacción de oxidación disminuye gradualmente después de un cierto período de tiempo, debido a que los productos de oxidación se adhieren a la superficie del metal y forman una capa de óxido o hidróxido. Esta capa actúa como una barrera que dificulta la difusión de otros reactivos hacia el metal. Estas capas, denominadas pasivas, forman una barrera protectora para una mayor oxidación del metal subyacente (Newcombe & Dixon, 2006).

Un sistema de distribución deficiente en su diseño puede ocasionar áreas locales con baja calidad de agua, pérdida de desinfección, turbidez, sabor y problemas de olor. En ocasiones, la renovación y la reubicación de las tuberías pueden ser más efectivas para solucionar los problemas de calidad del agua que el propio tratamiento (Edzwald, 2011).

### **4.3. Factibilidad de la implementación de un sistema de distribución de agua potable**

#### **4.3.1. Componentes de un sistema de distribución de agua potable**

##### **- Detalle de las tuberías de transporte de agua potable**

El dimensionamiento inicial de las tuberías se realiza siguiendo pautas que establecen velocidades de flujo aceptables según las normativas. Si las pérdidas de presión son demasiado altas, se debe incrementar el tamaño de las tuberías. En caso de que las pérdidas de presión sean muy bajas, puede ser necesario utilizar tuberías de menor tamaño, siempre y cuando el aumento en la velocidad del fluido no genere otros problemas (Nesbitt, 2007).

En el caso de una red de distribución, se componen por una serie de tuberías interconectadas en diferentes puntos conocidos como nodos. Estas redes de distribución se pueden clasificar en redes primarias y secundarias, según su función, y están conectadas mediante accesorios. Las tuberías que transportan el agua desde el depósito de control hasta el punto de distribución principal se denominan tuberías de alimentación y se consideran parte de la red primaria (CONAGUA, 2007).

De acuerdo con las directrices establecidas en la norma CPE INEN 5, se sugiere una vida útil específica para las tuberías principales y secundarias de la red de agua potable. En el caso de las tuberías de hierro dúctil, se recomienda una vida útil de 40 a 50 años, mientras que para las tuberías de asbesto cemento o PVC, la vida útil sugerida es de 20 a 25 años. En el caso particular de las conducciones de estos últimos materiales, se estipula que la vida útil debe estar comprendida entre 20 y 30 años (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).

La red primaria de distribución está compuesta por tuberías de diámetro amplio, mientras que la red secundaria está compuesta por tuberías de menor diámetro que abarcan la mayor parte del sistema de distribución.

#### - **Detalle de las uniones, codos y derivaciones**

Las uniones, codos y derivaciones se utilizan para la ramificación, la transición, el cambio de dirección, el cambio de diámetro, la conexión a tubos de diferentes materiales y diámetros, y la conexión de tubos. También permiten regular el caudal cuando se instalan válvulas de diferentes tipos (CONAGUA, 2007).

Según lo especificado en la CPE INEN 5, la vida útil sugerida para las uniones, codos y derivaciones de la red de agua potable pueden tener una vida útil sugerida variable, de acuerdo con las especificaciones del fabricante. En general los accesorios fabricados con hierro dúctil llegan a durar el doble que el PVC (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).

La línea de by-pass une los lados izquierdo y derecho de la estación del colector. La válvula de derivación, que es un tamaño de línea más pequeño que el de la tubería principal, está normalmente cerrada y se instala lo más cerca posible del lado de entrada del colector. (Parisher & Rhea, 2022).

#### **4.3.2. Características de un estudio de factibilidad de un proyecto**

##### - **Componentes de un estudio de factibilidad de un proyecto**

La factibilidad se refiere a la posibilidad de implementar un proyecto de manera efectiva y alcanzar los resultados deseados. Este análisis se realiza generalmente antes de evaluar la viabilidad del proyecto. La viabilidad implica considerar una combinación de factores internos y externos relacionados con los objetivos del proyecto y el entorno en el que se desarrolla. Estos factores pueden ser tangibles, como la financiación y el equipamiento, o intangibles, como la tecnología, los conocimientos, habilidades, competencias y actitudes (Luna & Chaves, 2012).

El *estudio de factibilidad* es el inicio para llegar a verificar la sostenibilidad de un proyecto u organización, la cual está influida por una serie de factores que deben equilibrarse. La viabilidad del proyecto se evalúa en función de parámetros técnicos, organizativos, financieros y medioambientales. La *viabilidad técnica* (puntos fuertes y débiles), se refiere a la capacidad de aplicar eficazmente los métodos y tecnologías del proyecto. Para evaluar la viabilidad técnica se pueden usar los indicadores mostrados más adelante (Luna & Chaves, 2012).

Otra dimensión por evaluar es la *viabilidad contextual*. Esta busca determinar si el proyecto es compatible con el entorno en términos de factores que pueden facilitar u obstaculizar su ejecución y los impactos que puede generar. La escala de estimación tiene en cuenta amenazas y oportunidades en niveles entre bajo, medio y alto. A esto se le suman algunos factores de complementariedad que valoran el esfuerzo (Luna & Chaves, 2012).

La *complementariedad de proyectos* implica la integración de energías, esfuerzos o recursos en el desarrollo de un proyecto. La evaluación de las sinergias y complementariedades puede realizarse utilizando indicadores específicos, como se detalla en la Tabla 19 (Anexo 4) (Luna & Chaves, 2012).

Por otra parte, de acuerdo con (David I. & Lewis, 2010), el estudio de viabilidad de un proyecto generalmente abarca los siguientes aspectos:

- *Visión general del proyecto.*
- *Estudio de mercado*, que implica analizar la demanda del producto o servicio.
- *Tamaño del proyecto*, considerando el mercado, los procedimientos técnicos y la financiación.
- *Ubicación del proyecto*, abordando cuestiones relacionadas con el proyecto, los costos y la competencia basada en los servicios.

- *Ingeniería del proyecto*, que se refiere a los aspectos técnicos, incluyendo la planificación, el diseño y la disposición de procesos, materias primas, personal y equipos.
- *Inversión*, donde se determinan los recursos necesarios para intervenir el proyecto.
- *Financiación*, identificando y comparando diferentes fuentes de financiamiento para determinar la más adecuada.
- *Presupuesto de ingresos y gastos*, elaborado para toda la duración del proyecto o hasta que se hayan pagado las deudas y obligaciones pendientes.
- *Experiencia en proyectos*, que implica un análisis técnico, económico y social realizado por expertos en los respectivos campos. Existen dos áreas principales de evaluación de proyectos: la privada y la social.
- *Ejecución del proyecto*, que comienza una vez que se toma la decisión de ponerlo en marcha y se inicia la fase operativa.

#### - **Elaboración de presupuestos para un proyecto**

El objetivo principal del presupuesto es realizar un proyecto que genere trabajo y beneficios positivos para los beneficiarios. Por este motivo, es muy importante elaborar un presupuesto lo más exacto posible, ya que los datos incorrectos pueden acarrear enormes pérdidas para la empresa gestora, ya que la cantidad de dinero que supone un proyecto suele superar con creces el capital disponible para inversión. Las fases de un proyecto según David & Lewis (2010) son 4: conceptual, planificación, implementación y terminación. Se deben comprender todas las características y métodos necesarios para poder controlar y gestionar el progreso y los resultados del proyecto.

El fin de un proyecto es coordinar los recursos humanos, técnicos y financieros con el objetivo de alcanzar el resultado final mediante la planificación, coordinación y seguimiento de las tareas. La coordinación y ejecución de tareas en un proyecto también requieren de una visión integral para lograr los objetivos y resultados específicos del proyecto.

Es necesario evaluar y asignar los recursos de manera eficiente en los presupuestos para obtener el mejor resultado final. Por esta razón, un proyecto abarca las acciones necesarias para lograr un objetivo (ya sea un servicio o un producto final) utilizando diferentes tipos de recursos limitados y restringidos para llevar a cabo una serie de tareas planificadas, coordinadas y controladas (Muñiz & González, 2009).

La comprensión de las características de distintos tipos de proyectos nos ayuda a entender cómo se relacionan con las actividades que realizan las organizaciones. La gestión de los proyectos comprende una adecuada planificación, coordinación, control, y, mediante el uso de los recursos asignados, debe garantizar la entrega efectiva del servicio final (Burbano Ruiz, 2011).

Según Burbano Ruiz (2011) las principales tareas del gestor del proyecto son:

- Controlar las tareas y el calendario del encargo.
- Controlar los costes e ingresos del proyecto.
- Gestionar los recursos humanos, técnicos y materiales.
- Coordinación y gestión de las adquisiciones.
- Control de los riesgos internos y externos.
- Gestión de la calidad técnica y de los requisitos legales.
- Supervisión del trabajo realizado por cada gestor.
- Administración de facturación y pagos.
- Coordinación de reuniones y comunicación.

La elaboración del presupuesto del proyecto es una tarea técnica que es responsabilidad del director o directores del proyecto y debe adaptarse a las características y requisitos de cada nuevo proyecto (Muñiz & González, 2009). A continuación, se presenta la Tabla 5 que enumera los diferentes tipos de costos que pueden surgir durante la ejecución de un proyecto.

Tabla 1.

Tipos de costes que se pueden producir en un proyecto.

| <b>Tipo</b>                    | <b>Contenido</b>  |
|--------------------------------|---|
| Ingresos por servicios         | Ingresos generados por el proyecto.   |
| Ingresos por otros conceptos   | Ingresos provenientes de costos adicionales facturables al cliente, como materiales diversos, comunicaciones, transporte, viajes, alojamiento, dietas u otros gastos. |
| <b>Total, ingresos</b>         | <b>Total, egresos</b>   |
| Compras de materiales          | Adquisición de materiales y otros equipos y accesorios.   |
| Recursos humanos               | Valoración monetaria de las horas trabajadas por el personal en función de su categoría.  |
| Subcontratación                | Costos necesarios para subcontratar proveedores externos y llevar a cabo el proyecto.   |
| Otros gastos                   | Gastos relacionados con el material de trabajo, impresiones, transporte, servicios de terceros y otros gastos indirectos.   |
| Gastos de estructura           | Gastos de estructura asociados al proyecto según lo que se considere necesario.   |
| Gastos bancarios y financieros | Gastos relacionados con avales y financiamiento del proyecto.   |
| <b>Total, gastos</b>           | <b>Total, gastos</b>  |
| <b>Resultado</b>               | <b>Utilidad (Ingresos - Gastos)</b>   |

Nota: Tomado de Muñiz & González, 2009.

Las cifras anteriores pueden utilizarse para sugerir la tarifa de facturación y el beneficio o margen del proyecto. En ambos casos, el precio de venta debe ajustarse en la propuesta si hay costes de proyecto (Muñiz & González, 2009). Además, se puede preparar un plan de flujo de caja para representar el flujo potencial del proyecto, como se muestra en la siguiente descripción de actividades:

- **Recursos:** Actividades relacionadas con la construcción del proyecto.
- **Presupuesto:** Recursos utilizados en cada actividad.
- **Objetivo:** Datos presupuestados de ingresos y gastos.
- **Real:** Datos reales de ingresos y gastos.

### 4.3.3. Características del análisis técnico económico de un sistema de distribución de agua potable

#### - Componentes del análisis técnico económico de un sistema de distribución de agua potable

Para llevar a cabo un análisis técnico y económico del suministro de agua potable, es necesario recopilar los datos necesarios, como clientes (consumidores), ejecutantes, energía y factores de rendimiento, entre otros. Se examina el estado técnico actual del sistema de distribución desde la PTAP. Se analiza la demanda actual de la planta en cada estación de bombeo; los valores medidos en cada estación de bombeo se resumen para determinar la demanda máxima de energía mensual y anual en el sistema de distribución (Lima Cabascango, 2005).

A nivel técnico, los planos se elaboran de acuerdo con los requisitos mínimos normativos del proyecto, los criterios generales de diseño y la viabilidad económica. Para obtener una imagen global de la red y sus componentes se elaboran planos de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Las pérdidas de presión en las tuberías se calculan utilizando tablas, fórmulas y modelos específicos para cada tipo de material (Bas González, 2020).

Los componentes del análisis técnico-económico de un sistema de distribución se desglosan en una metodología que sigue el siguiente orden:

- **Definición de objetivos:** El objetivo es maximizar el beneficio total anual, que se calcula multiplicando el volumen anual de agua tratada por el precio de venta del agua tratada.
- **Definición del ámbito del estudio:** Se determina la influencia del proyecto y se identifican los impactos que se producirán.
- **Impactos del proyecto:** Se identifican, cuantifican y valoran los impactos del proyecto.



- **Identificación de los agentes implicados:** Se identifican los actores principales, como las instituciones del agua o entidades gubernamentales y los usuarios del agua.
- **Estudio de las necesidades y posibilidades financieras:** Se realiza antes de agregar los costos, y se establecen las condiciones de financiamiento como variables dentro del análisis de sensibilidad.
- **Agregación de costos e ingresos:** Para maximizar el beneficio total, se suman los beneficios de las externalidades con los beneficios privados, y se desglosa el costo de oportunidad. Si el beneficio privado (ingresos privados - costos privados) no es positivo, se concluye que el proyecto no es operativamente viable. En este apartado, también se estima el beneficio privado multiplicando el volumen anual de agua tratada por el precio de venta del agua tratada, y se desglosan los costos de inversión, los costos de explotación y mantenimiento, los costos financieros y los impuestos generados. Además, se determina el beneficio de las externalidades al restar las externalidades negativas del impacto de las externalidades positivas.
- **Análisis de sensibilidad:** En este análisis se verifican diferentes variables, como la tasa de descuento, las condiciones de financiamiento, el costo de oportunidad, los costos de energía y reactivos, y el precio del agua tratada, entre otras. Se verifica si el beneficio total es positivo, lo que demuestra que el proyecto es económicamente viable y confiable. En caso contrario, el proyecto se considera económicamente no confiable y se descarta.

En la justificación económica de los materiales requeridos se tendrán en cuenta todos los accesorios especiales, además de las tuberías individuales, herramientas, mano de obra, equipos y piezas especiales del sistema de distribución de agua potable necesarios para la instalación del sistema de distribución (Castañeda Galvis, 2015).

## - Evaluación del sistema de distribución de agua potable

Mediante la combinación de áreas, características y tipos de datos generados por la PTAP, es posible evaluar el sistema de distribución de agua. Esto permite realizar una simulación a través de un modelo de datos para detectar posibles daños, así como diseñar un modelo basado en información geográfica y registros de daños de las redes de distribución en cualquier punto específico (Bas González, 2020).

Esto permite asignar recursos financieros y humanos de manera adecuada para proyectos futuros de reemplazo de tuberías (Bas González, 2020). El modelo de gestión puede programar los períodos de sustitución, mejorar la confiabilidad, reducir las pérdidas y regular la presión del agua en la red de distribución de manera eficiente (Castañeda Galvis, 2015).

Con el fin de mejorar el suministro de agua potable en los sectores de Lago Agrio que experimentan escasez, se ha planteado la instalación de una derivación (bypass) desde la red principal. Para llevar a cabo esta propuesta, se han considerado los siguientes accesorios, detallados en la Tabla 2.

Tabla 2.

Cuadro de resumen de los accesorios requeridos para la instalación de un bypass.

| <b>Descripción</b>                       | <b>Cantidad</b> |
|--|-----------------|
| Unión dresser.                           | 22              |
| Y de 12 pulg. 1.5x1.5x1.5 L-L-L          | 1               |
| Codo de 12 ½ pulg. Brazos de 1.5x1.7     | 1               |
| Neplo de 12 pulg. Brida liso x L 0.50 BL | 10              |
| Codo de 12 ½ pulg. Brazos de 1.5x1.5     | 1               |
| Codo de 12 ½ pulg. Brazos de 1.3x2.05    | 1               |
| Codo de 12 ½ pulg. Brazos de 0.7x0.7     | 2               |
| Tubo de 12 pulg. x 6                     | 5               |
| Codo de 12 ½ pulg. Brazos de 2.15x1.22   | 1               |
| Y de 12 pulg. 1.5x1.5x1 L-L-L            | 1               |
| Válvula compuerta 12 pulg. EB            | 4               |
| Medidor electromagnético                 | 2               |

Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

## **5. Metodología**

### **5.1. Metodología de investigación**

El enfoque de investigación utilizado en este estudio es de naturaleza experimental con un alcance descriptivo. Se considera experimental debido a que implica el diseño e implementación de un bypass en una PTAP, con el propósito de evaluar su eficiencia y su impacto en la distribución del agua. Para lograr esto, se llevarán a cabo pruebas y simulaciones utilizando software para verificar la viabilidad y efectividad del bypass (Reyes, 2022).

En cuanto al alcance del estudio, se adopta una metodología exploratoria, ya que tiene como objetivo identificar un problema particular en la distribución de agua potable y proponer una solución innovadora para abordarlo. Además, se utiliza la simulación computarizada como una herramienta de evaluación que permite explorar diferentes escenarios y analizar el impacto de las soluciones propuestas en la distribución de agua potable en Lago Agrio (Pereyra, 2022).

Posteriormente, el estudio adopta un enfoque descriptivo, ya que se busca presentar de manera detallada los procesos utilizados en el diseño y la simulación del bypass. Esto resulta especialmente importante para que los lectores comprendan cómo se llevó a cabo el proceso y cómo se obtuvieron los resultados. Además, este tipo de enfoque permite presentar de manera minuciosa los resultados de la investigación, incluyendo los datos y las conclusiones alcanzadas. En el caso de esta tesis, que involucra diseño y simulación, es crucial describir de manera clara y precisa los resultados obtenidos para que puedan ser entendidos y analizados adecuadamente (Reyes, 2022).

### **5.2. Tipos de instrumentos de investigación**

Para este estudio, se pueden emplear diversos instrumentos de investigación, dependiendo de los objetivos de investigación establecidos (Pereyra, 2022). Los tipos de instrumentos de investigación por utilizar son:

- **Revisión bibliográfica:** Es necesario realizar una revisión bibliográfica detallada acerca de la distribución de agua potable y los sistemas de bypass implementados en otras ciudades. Esta revisión tiene como objetivo recopilar información relevante que pueda ser utilizada en el diseño y la simulación del proyecto.

Para la revisión bibliográfica se emplearon:

- Motores de búsqueda: Específicamente Google Académico.
- Base de datos académicas: Incluyen Scopus, SciELO y Web of Science.
- Artículos académicos revisados por pares, conferencias y actas de congresos: Los artículos publicados en revistas científicas desde las librerías electrónicas de SienceDirect, SciELO y Redalyc.
- Libros académicos, tesis y disertaciones: Libros y publicaciones de maestría, doctorado disponibles en bibliotecas digitales o repositorios en línea de diversas universidades.
- Informes técnicos: Los informes técnicos publicados por organismos gubernamentales, instituciones académicas o empresas que cuenten con centros de investigación.
- **Instrumentos de medición:** Es necesario realizar la medición de varios parámetros del sistema de distribución de agua potable para poder obtener información relevante para el diseño del bypass y la simulación del sistema. Para esto, se pueden utilizar diferentes instrumentos de medición, tales como medidores de presión, medidores de caudal, termómetros, entre otros.
- **Herramientas de diseño:** Para realizar el diseño del bypass se utilizan herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD) para modelar el sistema y realizar los cálculos necesarios. Se emplea AutoCAD (versión 2022 para estudiantes) para el diseño en 2D y 3D de los componentes del sistema.

- **Software de simulación:** Es necesario utilizar un software especializado en la simulación del sistema de distribución para analizar las condiciones del bypass y de su desempeño bajo los parámetros requeridos. Se emplea el software WaterGEMS (versión 10, de prueba), para el modelamiento y configuración del sistema de distribución de agua potable.

### 5.3. Tratamiento de la información

El tratamiento metodológico de la información para esta tesis, de diseño y simulación de un bypass para independizar los caudales en la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Lago Agrio, incluye una combinación de recopilación de información, diseño y simulación, medición de parámetros, análisis de resultados, y conclusiones (Pereyra, 2022). En detalle, el tratamiento de la información contiene:

- **Recopilación de información:** Se debe recopilar información relevante sobre la planta de tratamiento de Lago Agrio, su sistema de distribución y los problemas existentes en el suministro de agua potable. También se debe recopilar información bibliográfica sobre sistemas de bypass utilizados en otras ciudades.
- **Medición de parámetros:** Se debe medir diferentes parámetros del sistema de distribución para obtener información relevante para el diseño del bypass y la simulación de su funcionamiento. Se usan instrumentos de medición como medidores de presión, medidores de caudal, termómetros, entre otros.
- **Diseño del bypass:** Se debe diseñar el bypass utilizando herramientas de diseño (CAD) y realizar los cálculos necesarios para asegurar su funcionamiento adecuado.
- **Simulación del bypass:** Se debe utilizar un software especializado en la simulación de sistemas hidráulicos para analizar el comportamiento del bypass en diferentes escenarios y condiciones.

- *Análisis de resultados*: Se debe analizar los resultados de la simulación del bypass y compararlos con los datos obtenidos en las mediciones para evaluar la efectividad del bypass propuesto.
- *Conclusiones*: Se debe presentar conclusiones basadas en los resultados conseguidos en la investigación y el análisis de la efectividad del bypass propuesto.

## **5.4. Diseño del sistema (implementación del Bypass)**

### **5.4.1. Funcionamiento actual del sistema**

Para la determinación de una solución eficiente al problema de la distribución de agua potable para la población de Lago Agrio, considerando la corrosión, fugas y control de caudal en la red de distribución de agua, se empieza diagnosticando el funcionamiento actual de la PTAP de la ciudad de Lago Agrio para la comparación del consumo y distribución del servicio de agua potable en sus diferentes sectores.

Se dispone actualmente de dos plantas de tratamiento de agua potable, una antigua y otra nueva, las dos interconectadas a un mismo sistema de red de tuberías que distribuyen el líquido vital a toda la población de Lago Agrio, teniendo en cuenta, que al operar como se dispone actualmente, cierta parte de la población se está viendo afectada (Zona Oeste de Lago Agrio). Por lo mismo se plantea independizar las plantas y tuberías mediante la implementación de un Bypass, para así redistribuir los caudales por zonas y por plantas independientes.

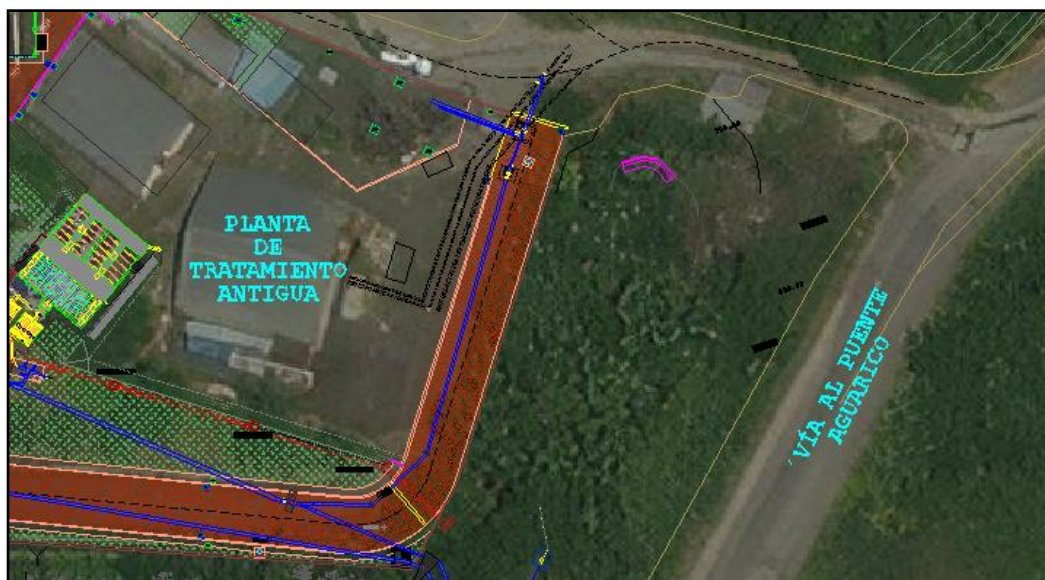
#### **5.4.1.1. Planta potabilizadora antigua**

Esta planta fue diseñada y construida por la empresa danesa Kruger en el año 2000 (Figura 9), capta a orillas del río Aguarico el agua cruda a través de pozos perforados y una barcaza con captación variable dependiendo del nivel de agua, anexada a esta se encuentra una bomba.

Cuenta con un sistema de bombeo compuesto por 5 bombas que están colocadas en paralelo con la finalidad de incrementar o disminuir el caudal bombeado según sea el requerimiento de consumo, esto facilita controlar y planificar un adecuado llenado de las reservas. Según consultas realizadas a los operadores la planta trata 120 l/s a su máxima capacidad y 100 l/s normalmente.

Figura 9.

Vista aérea ubicación planta antigua PT



Nota: Instalaciones de EMAPALA. Tomado de EMAPALA, 2022.

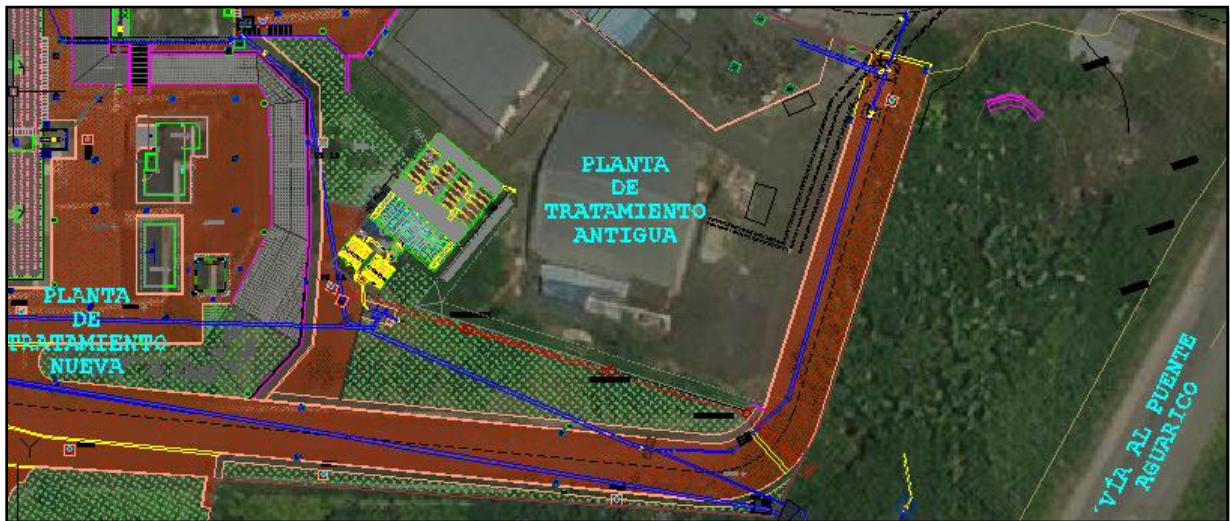
#### 5.4.1.2. Planta potabilizadora nueva

Esta planta fue construida por la empresa DELCON en el año 2011 (Figura 10), la captación la realiza mediante un sistema que utiliza una barcaza en la cual se encuentran tres bombas las mismas que envían el agua hasta la planta, para este fin se utilizan dos bombas y la otra queda de reserva.

Cuenta con unidades para aireación, floculación, sedimentación filtración y desinfección. La proyección de volúmen tratado en los estudios es de 300 l/s, sin embargo por experiencia de los operadores se determina que a su máxima capacidad la planta produce alrededor de 240 l/s.

Figura 10.

Vista aérea ubicación planta nueva PTAP



Nota: Instalaciones de EMAPALA. Tomado de EMAPALA, 2022.

#### 5.4.2. Análisis de la población a ser servida por la planta de tratamiento de agua

Para la proyección de la población puede usarse un método de cálculo aritmético o geométrico partiendo de índices de crecimiento poblacional correspondiente a partir de datos históricos que, en el Ecuador, son sacados de la base de datos del INEC. Metodológicamente:

*Índice de crecimiento poblacional por el método aritmético:*

Ecuación 4

$$r = \frac{P_f - P_o}{n}$$

De donde:

Pf = Población final

Po = Población inicial

n = Número de años entre poblaciones

r = índice de crecimiento poblacional



Tabla 3.

Resultado de cálculo del índice de crecimiento poblacional por el método aritmético, según el periodo de los datos de censos disponibles.

| Rango       | Nº años | Índice (r) |
|-------------|---------|------------|
| 1974-1982   | 8       | 2094       |
| 1982-1990   | 8       | 1062       |
| 1990 - 2001 | 11      | 1308       |
| 2001 - 2010 | 9       | 1978       |

Nota: Tomado del Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023.

*Población proyectada con el método aritmético:*

Ecuación 5

$$P_f = P_o(1 + r \cdot n)$$

De donde:

Pf = Población final

Po = Población inicial

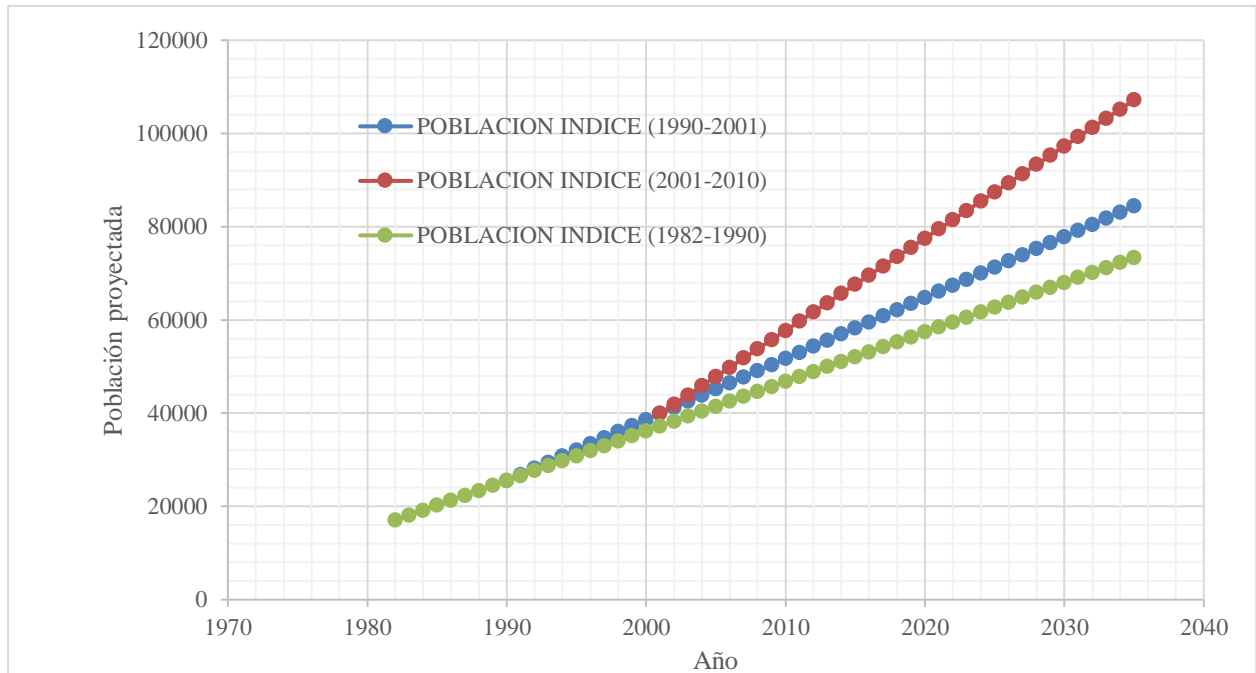
n = Número de años de proyección

r = índice de crecimiento poblacional

Aplicando la ecuación 5 con los valores obtenidos de la Tabla 3, obtenemos la proyección de la población con el método aritmético, los mismos se reflejan en la Figura 11.

Figura 11.

Población proyectada con el método aritmético.



Nota: Tomado del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015.

Para la estimación de la población futura, el método de proyección aritmética asume un crecimiento de la población de forma lineal, cuyo comportamiento no refleja el crecimiento real de una población. No se refleja un valor de proyección que se asemeje entre periodos; sin embargo, se toma el valor de 103224 habitantes como valor proyectado al año horizonte.

*Índice de crecimiento poblacional por el método geométrico:*

Ecuación 6

$$r = \left[ \left( \frac{P_f}{P_o} \right)^{\frac{1}{y}} - 1 \right]$$

De donde:

Pf = Población final

Po = Población inicial

y = Número de años entre poblaciones

r = índice de crecimiento poblacional

Tabla 4.

Resultado de cálculo del índice de crecimiento poblacional por el método geométrico, según el periodo de los datos de censos disponibles.

| Rango       | N° años | Índice (r) | Índice (r) % |
|-------------|---------|------------|--------------|
| 1974-1982   | 8       | 0.666      | 66.60        |
| 1982-1990   | 8       | 0.052      | 5.19         |
| 1990 - 2001 | 11      | 0.041      | 4.15         |
| 2001 - 2010 | 9       | 0.042      | 4.18         |

Nota: Tomado del Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023.

*Población proyectada con el método geométrico:*

Ecuación 7

$$P_f = P_o(1 + r)^n$$

De donde:

Pf = Población final

Po = Población inicial

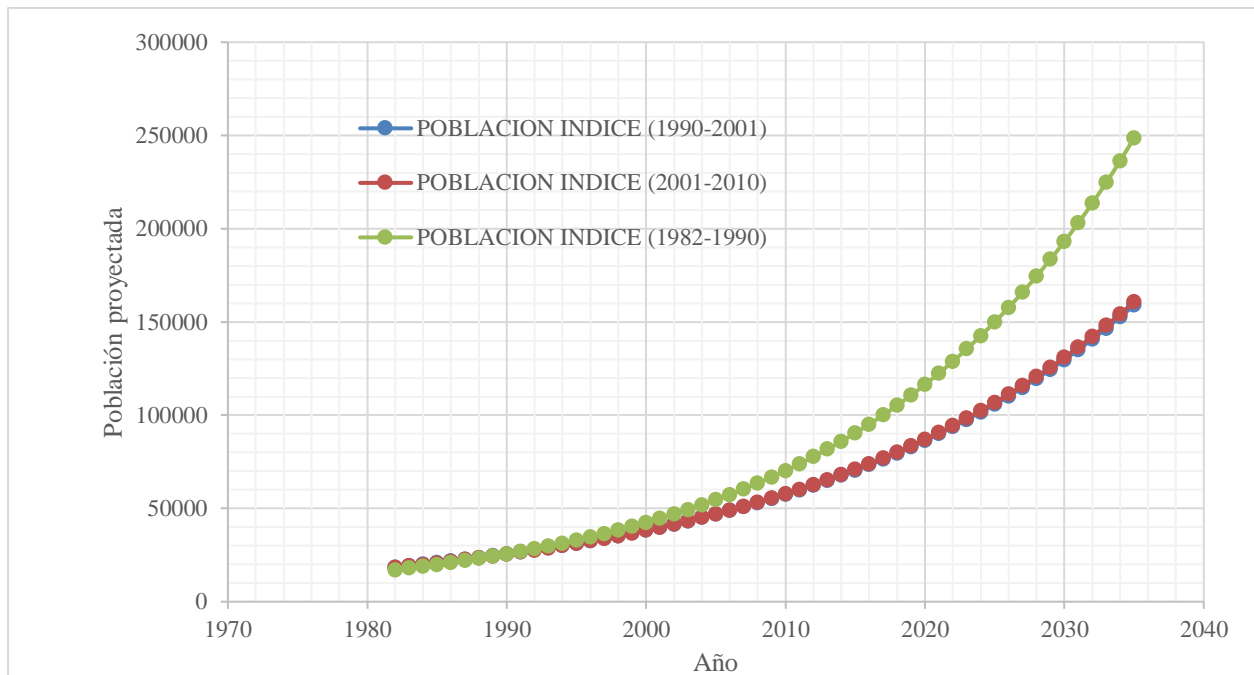
n = Número de años de proyección

r = índice de crecimiento poblacional

Aplicando la ecuación 7 con los valores obtenidos de la Tabla 4, obtenemos la proyección de la población con el método geométrico, los mismos se reflejan en la Figura 12.

Figura 12.

Población proyectada con el método geométrico.



Nota: Tomado del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015.

Se podría dar como valor aceptado una población actual para el año 2023 de 98333 habitantes y para el año horizonte 2033 de 148128 habitantes (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015; Tutoriales al Día - Ingeniería Civil, 2021). Además, de las dos proyecciones calculadas, la mayor cantidad estimada se obtiene con el método geométrico, mismo que hasta el año 2033 la población sería de 148128 habitantes, cantidad que permite una planificación más precisa en términos de reducir el error de estimación.

Las gráficas de la tendencia poblacional comprendida entre los periodos 1990 – 2001 y 2001 – 2010, permanece estable las mismas que identifican un comportamiento estable del crecimiento, sin embargo, se debería tener un valor de comparación actual ya que el crecimiento depende de varios factores entre ellos tasas de mortalidad, migración y demás.

### 5.4.3. Análisis del funcionamiento actual de la PTAP

Para diagnosticar el funcionamiento actual de la PTAP se hizo un estudio de campo para la comprobación de que existen deficiencias en la distribución del servicio, afectando al menos al 25% de los sectores de Lago Agrio. A continuación, se detallan las variables analizadas y los resultados obtenidos.

*Variable: Red de distribución de agua.*

*Indicadores: Cantidad de agua demandada; Cantidad de agua distribuida.*

Cantidad de agua distribuida:

- Línea de Impulsión de 315mm (Captación – Planta Antigua)
- Reserva baja 700 m<sup>3</sup> (recién habilitadas de los filtros antiguos construidos por el EX-IEOS) y 600 m<sup>3</sup>.
- Dotación actual de 170 lts/hab/días

Tabla 5.

Fuentes de acceso de agua potable para la población de Lago Agrio hasta 2010.

| <b>Tipo de acceso</b>           | <b>N° de familias</b> | <b>% de familias atendidas</b> |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| De red pública                  | 4 224,00              | 27.65%                         |
| De pozo                         | 4 867,00              | 31.86%                         |
| De río, vertiente               | 3 886,00              | 25.46%                         |
| Carro repartidor                | 118,00                | 0.77%                          |
| Otros (agua lluvias, albarrada) | 2176,69               | 14.26%                         |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>15 271,69</b>      | <b>100%</b>                    |

Nota: Elaborado por Agro precisión- PDOTCLA 2011. Tomado de INEC, 2010.

Según el reporte presentado en la Tabla 5, como punto de referencia, solo se suple al 27,65% de la población, quedando un 72,35% con deficiencias en la distribución del servicio. A partir de los datos compilados se puede estimar (con los métodos aritmético y geométrico) la población en número de personas. Los datos los dividimos por sexo, hombres y mujeres, presentados en la Tabla 5.

Primero, se presentan los datos históricos (Tabla 6) y luego los estimados. Se asume que por cada familia (predio) viven alrededor de 5 habitantes y que el número de predios por cada hectárea son 22 (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023). La división, en escala, de predios en relación con un área de una hectárea se muestra en la Figura 13.

Figura 13.

División de predios en relación con un área de una hectárea.

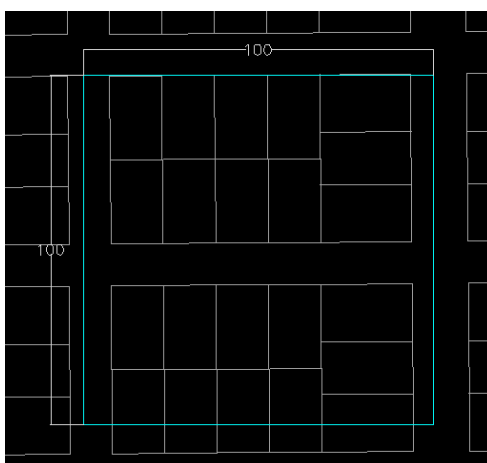


Tabla 6.

Resumen histórico de los datos poblacionales de Nueva Loja (Lago Agrio).

| <b>Censo</b> | <b>Hombres</b> | <b>Mujeres</b> | <b>Población</b> |
|--------------|----------------|----------------|------------------|
| <b>2010</b>  | 29017          | 28710          | 57727            |
| <b>2001</b>  | 20951          | 18973          | 39924            |
| <b>1990</b>  | 13800          | 11733          | 25533            |
| <b>1982</b>  | 9682           | 7354           | 17036            |
| <b>1974</b>  | 147            | 140            | 287              |

Nota: Tomado del Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023.

Se ha receptado, como dato de análisis, las categorías del tipo de usuarios del servicio de agua potable sobre el total de activos, para reflejar que, en general, los habitantes de Lago Agrio emplean el agua con fines de uso doméstico. En la Tabla 7 se aprecian las categorías de consumo. Los usuarios reflejados se emplean para establecer el total de habitantes por área con el método de catastro urbano.

Tabla 7.

Categorización de usuarios que acceden al servicio de agua potable.

| <b>Categorización</b> | <b>Total, de usuarios</b> |
|-----------------------|---------------------------|
| Domestico             | 6571                      |
| Comercial             | 339                       |
| Industrial            | 38                        |
| Oficial               | 95                        |
| <b>TOTAL</b>          | <b>7043</b>               |

Nota: Tomado de EMAPALA EP, 2018.

Cantidad de agua demandada:

- Población estimada para luego de 10 años (al 2033) de Lago Agrio: 148128 habitantes.
- Área de servicio considerada: 300 Hectáreas (Ha).
- Línea de impulsión diámetro de 640 mm PVC
- Reserva Baja 3000 m3.
- Dotación futura: 195 lts/hab/día (Según las Normas de Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 habitantes, para poblaciones de hasta 5000 habitantes en clima cálido, la dotación sugerida es de 195 lts/hab/día).

Para la estimación de este último resultado se determina el área a servir y la proyección de lotes mínimos registrados. Esto nos permite hacer una proyección de la población por el método de catastro urbano. La dotación proyectada de 195 lts/hab/día, en comparación de la actual de 170 lts/hab/día, refleja un 13% de desatención en el servicio de distribución de agua potable. Este número es más crítico si le sumamos al hecho de que solo, efectivo, el 27,65% de la población tiene servicio de agua vía red pública.

Se presenta en la Tabla 8, la estimación de cobertura de agua potable en relación a la proyección de la población, en base al método de catastro urbano.

Tabla 8.

Estimación de la cobertura para agua potable con la proyección de la población por el método catastro urbano.

| <b>Tipo de cobertura</b> | <b>Área</b>    | <b>Áreas verdes ha</b> | <b>Predios/ha</b> | <b>Hab/predio</b> | <b>Predios</b> | <b>Habitantes</b> |
|--------------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|
|                          | <b>(ha)</b>    |                        | <b>(#)</b>        |                   |                | <b>(#)</b>        |
| By-Pass                  | 1348,70        | 1146,40                | 22                | 5                 | 25221          | 126103            |
| Planta Nueva             | 2359,56        | 2005,63                | 22                | 5                 | 44124          | 220619            |
| <b>Total</b>             | <b>3708,26</b> |                        |                   |                   |                | <b>346722</b>     |

Nota: Tomado del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015.

Se muestra en la Tabla 9, la estimación de la demanda de agua potable en Lago Agrio. Esta proyección refleja el incremento del 50% que se tendría sobre el consumo actual estimado (es decir, que se encuentra a la par con el crecimiento poblacional). Esto nos lleva a estimar que el porcentaje de deficiencia en el abastecimiento del servicio crecerá por encima del 25%.

Tabla 9.

Estimación de demanda de agua potable en Lago Agrio con la proyección de la población por el método catastro urbano.

| <b>Tipo de planta</b> | <b>Personas por servir - actual</b> | <b>Personas por servir - futuro</b> | <b>Dotación l/hab/día</b> | <b>Consumo existente l/s</b> | <b>Consumo futuro l/s</b> |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Existente             | 30399                               | 45793                               | 210                       | 73,89                        | 111,30                    |
| Nueva                 | 53184                               | 80116                               | 210                       | 129,27                       | 194,73                    |
| <b>Total</b>          | <b>83583</b>                        | <b>125909</b>                       |                           |                              |                           |

Nota: Tomado del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015.



Para los cálculos presentados, se asume que el número de predios por cada hectárea son 22. Se realiza un descuento del 15% por áreas verdes al total del área localizada en la zona de cobertura de las plantas de tratamiento.

Se asume los valores de la estimación del consumo de agua potable en Lago Agrio con la proyección de la población por el método catastro urbano, que relaciona la proyección de la población como valores a utilizar en el modelo hidráulico a plantear. La densificación poblacional en relación con el área es la presentada en la Tabla 10. La proyección muestra un incremento poblacional de aproximadamente el 50% por encima del total hasta el año 2033.

Tabla 10.

Densidades poblacionales con relación al área de servicio.

|                       | Hab    | Densidad (hab/ha) |
|-----------------------|--------|-------------------|
| Población actual 2023 | 98333  | 27                |
| Población futura 2033 | 148128 | 40                |

*Variable: Distribución del servicio de agua potable.*

*Indicadores: Beneficiarios del servicio; Sectores de la ciudad.*

Beneficiarios del servicio:

- Beneficiarios: Habitantes de Lago Agrio.
- Población estimada: Para 2023 de Lago Agrio, son 98333 habitantes.
- Dotaciones: Se basa en lo señalado en la norma INEN 5:1992, especificado en la sección CO 10.07 – 601; en la Tabla 11, en la que se menciona la dotación, se encuentra en función de la cantidad de habitantes y el clima. Estos datos también contribuyen al modelo hidráulico a plantear (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).

Tabla 11.

Dotación recomendada en función de la población (habitantes) y el clima.

| POBLACIÓN (habitantes) | CLIMA    | DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día) |
|------------------------|----------|-----------------------------------|
| Hasta 5000             | Frío     | 120 – 150                         |
|                        | Templado | 130 – 160                         |
|                        | Cálido   | 170 – 200                         |
| 5000 a 50000           | Frío     | 180 – 200                         |
|                        | Templado | 190 – 220                         |
|                        | Cálido   | 200 – 230                         |
| Más de 50000           | Frío     | > 200                             |
|                        | Templado | > 220                             |
|                        | Cálido   | > 230                             |

Nota: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).

Para estimar de la demanda de agua potable en Lago Agrio se adopta un valor de 210 l/hab/día como dotación media para el caudal requerido en la simulación a realizar del sistema de distribución de agua potable. En este sentido, la comparación con la dotación actual (170 l/hab/día) deja a un 20% de la población con deficiencias en la distribución del servicio.

Patrón de demandas: Se puede estimar a partir del modelo hidráulico existente. Para poder determinar las de pérdidas por rozamiento se utiliza la ecuación de Hazen Williams.

Tabla 12.

Coefficiente de Chow para la fórmula de Hazen - Williams.

| TIPO DE CONDUCTO    | COEFICIENTE CHOW |
|---------------------|------------------|
| Acero corrugado     | 60               |
| Acero galvanizado   | 125              |
| Asbesto – cemento   | 140              |
| Cobre               | 130              |
| PVC                 | 140              |
| Hormigón liso       | 130              |
| Hormigón ordinario  | 120              |
| Hiero fundido nuevo | 130              |
| Hiero fundido viejo | 90               |

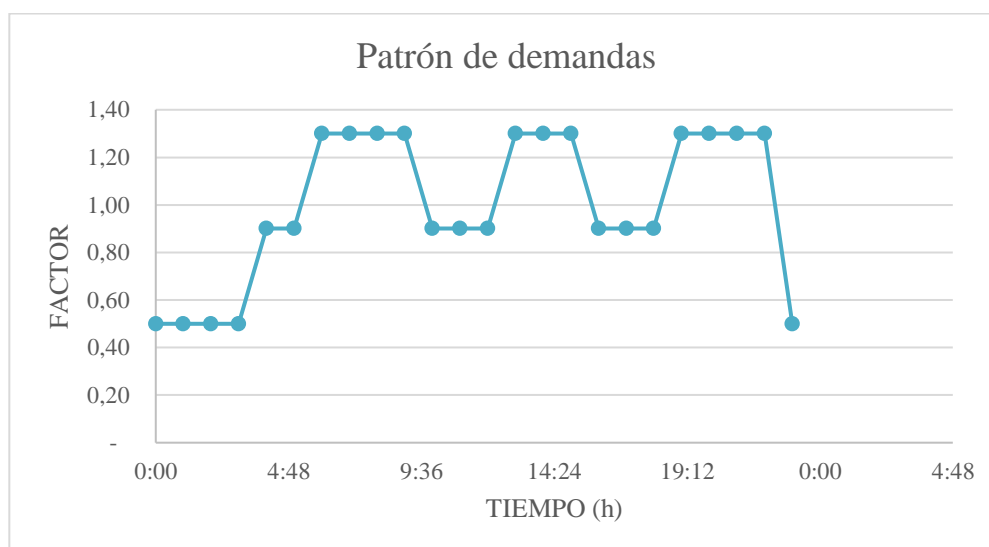
Nota: Tomado de Alegret Breña et al., 2019.

El coeficiente C de pérdida se asume de la Tabla 12, un valor de 120 al tratarse de material Acero galvanizado en uso y que tiene un cierto desgaste (Alegret Breña et al., 2019).

Para el análisis en el periodo se analizó el comportamiento de la población, mediante el patrón de demandas (EMAPALA, 2022), mismo que se refleja en la Figura 14. Según la determinación de costumbres de alto consumo, se identifica tres picos pronunciados, el uno comienza a las 06h00 hasta las 09h00, se asume que este periodo representa las horas de la mañana en el que la población de estudiantes acude a realizar sus actividades diarias. El segundo comienza a las 13h00 y termina a las 15h00, momentos en los cuales la población retorna a los hogares a almorzar.

Figura 14.

Patrón de demandas.



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

La tercera variación ocurre a las 19h00 y va hasta las 22h00, lapso en el que los usuarios realizan actividades de aseo personal y quehaceres domésticos. Estos datos permiten establecer estrategias de proceso para el funcionamiento de las bombas hidráulicas y/o los niveles de almacenamiento para diversos horarios.

Adicional, para identificar los puntos que debe incluir la red de distribución y los posibles niveles de consumo (en función del tipo de inmueble), como se muestra en la Tabla 20 y Tabla 21 (Anexo 5 y Anexo 6), donde se indica los sectores y tipos de viviendas que requieren ser atendidos con el proyecto. Sectores de la ciudad:

### 5.5. Propuesta de distribución de planta para EMAPALA

Para demostrar que el uso del software WaterGEMS permite realizar la simulación de la nueva distribución de tuberías de la PTAP, se procede a realizar los contrastes mediante simulación para el análisis de la eficiencia de diferentes escenarios de distribución. Se procura el incremento del caudal de agua y presión de salida, considerando la corrosión, fugas y control de caudal.

*Variable: Eficiencia del sistema actual.*

*Indicadores: Caudal de agua; Presión del agua; Mecanismos reguladores; Corrosión de tuberías.*

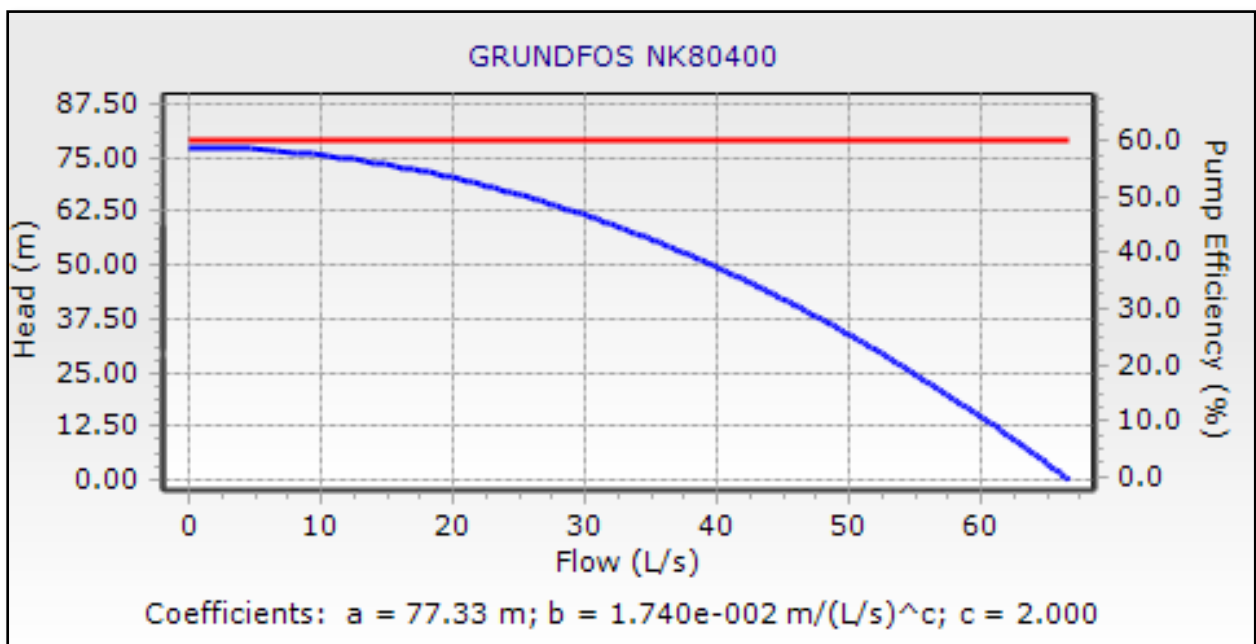
- Redes de distribución (diámetros de la red matriz): 315, 250, 200, 160 y 110 mm.
- Redes secundarias: 90, 75 y 63 mm.
- Red de distribución y accesorios (diámetros de tubos de PVC tipo presión): 200, 160, 110, 90, 75, 63 mm
- Pérdidas y fugas estimadas: 20%.
- Corrosión de tuberías: No especificado.
- Producción de agua potable: Se divide en dos partes, para la planta antigua y la nueva.
  - **Planta antigua:** con una producción de 120 l/s de producción y con una reserva baja con capacidad de 600 m<sup>3</sup>, el sistema de bombeo está compuesto por 5 bombas las mismas que actúan de forma aleatoria dependiendo del requerimiento. (Figura 15).

## Características de las Bombas:

- Número: 5
- Capacidad: 120 m<sup>3</sup>/h x 58 Mca
- Marca : Grundfos
- Tipo: NK80-400
- Motor: 45 kW, 3 PH X 220 V, 60 Hz

Figura 15.

Modelo de bomba planta antigua.

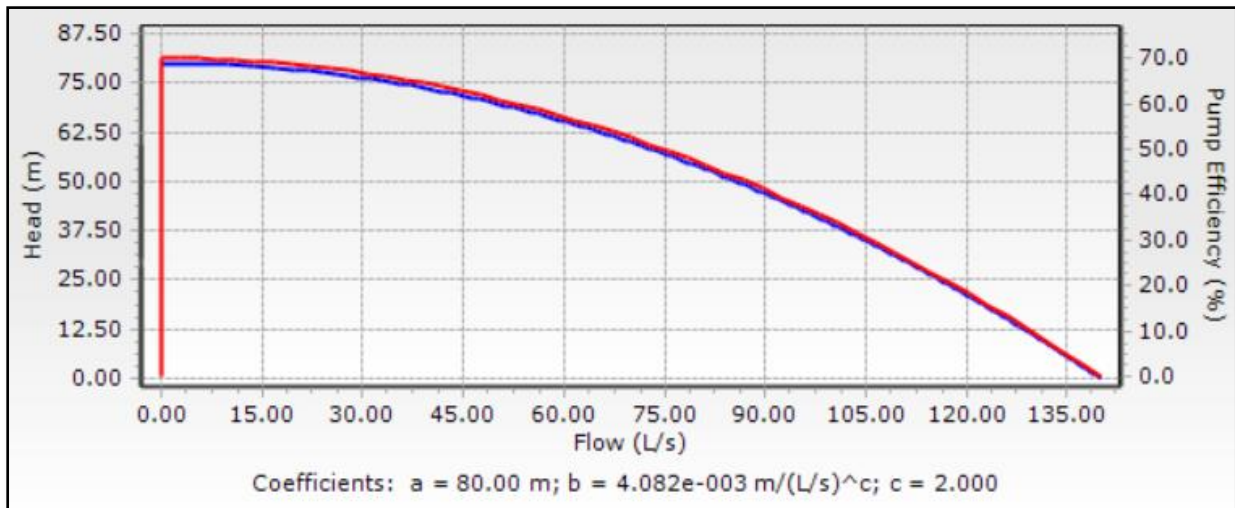


Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

- **Planta nueva:** con una producción 240 l/s con la presencia de dos reservas bajas con capacidad de 1000 m<sup>3</sup> cada una, el sistema de bombeo este compuesto por 7 bombas. (Figura 16).

Figura 16.

Modelo de bomba planta nueva.



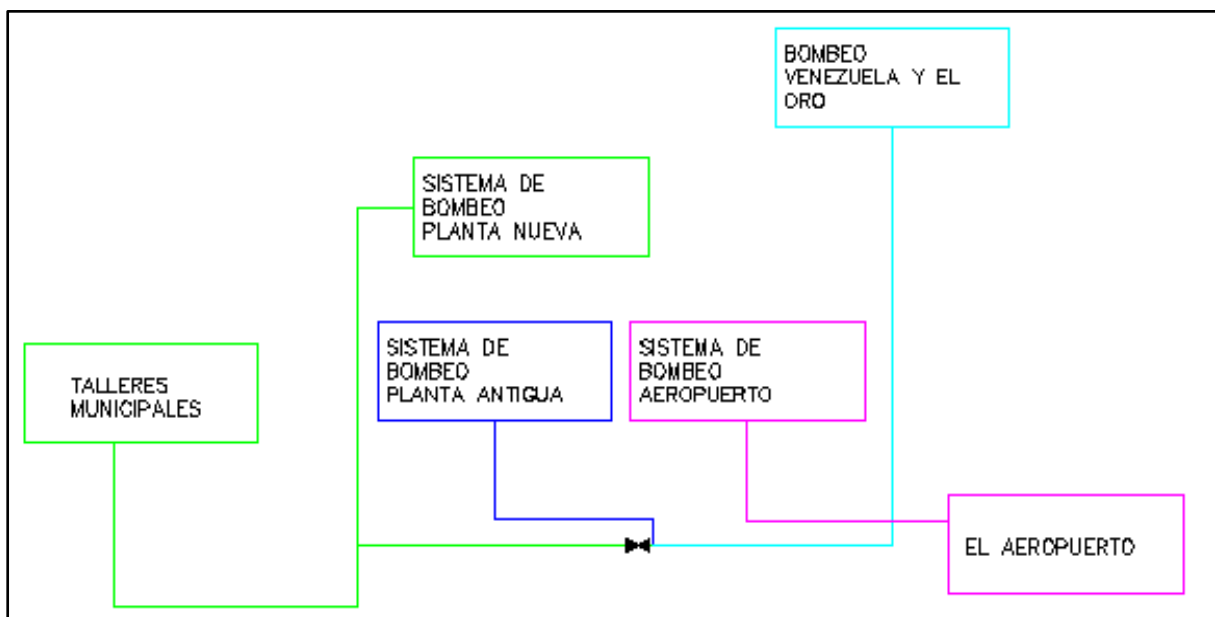
Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

**Funcionamiento actual del sistema**

Esquemáticamente los sistemas de bombeo se encuentran dispuestos de la siguiente manera, como se muestra en la Figura 17:

Figura 17.

Esquema de funcionamiento sistemas de bombeo.



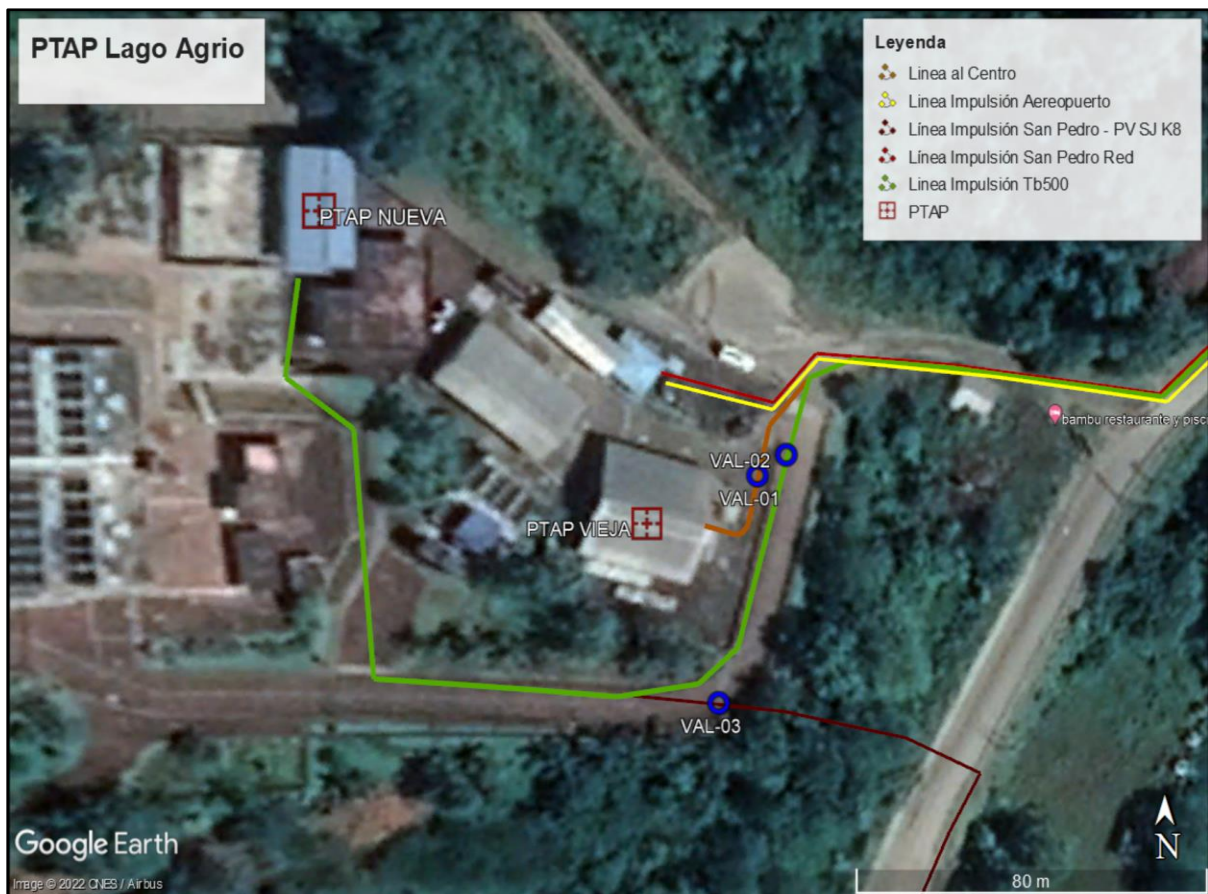
En recorridos realizados se puede evidenciar que existen varias derivaciones del esquema señalado anteriormente, sin embargo, este sería el más representativo en la funcionalidad de los sistemas de bombeo existentes.

El sistema de bombeo de la planta antigua con la planta Nueva actúa de forma conjunta, no se puede independizar los sistemas debido a la falta de infraestructura que ayude a realizar este objetivo, por tal motivo el sistema de bombeo de la planta antigua actúa solo cuando se necesita suplir de volumen a la ciudad. (Figura 18).

### *Modelación del proyecto sin Bypass*

Figura 18.

Sistema actual de la PTAP, Sin Bypass



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

#### Características del Proyecto sin Bypass:

- Bombeo desde planta nueva por medio de la línea de impulsión de 500 mm (color verde) hacia el centro, norte y este de la ciudad.
- Bombeo desde la planta vieja por medio de la línea de impulsión de 300 mm (color tomate) hacia el centro y norte de la ciudad. Unión a la tubería de 500 mm (color verde).
- Bifurcación del caudal de la planta nueva entre la tubería de 500 mm que va al norte y centro de la ciudad (color verde) y la tubería de 300 mm que va al oeste de la ciudad (color rojo).

#### Válvulas (color azul):

VAL-01      Abierta (Propuesta)

VAL-02      Abierta (Existente)

VAL-03      Abierta (Propuesta)

VAL-04      Carrada (Propuesta)

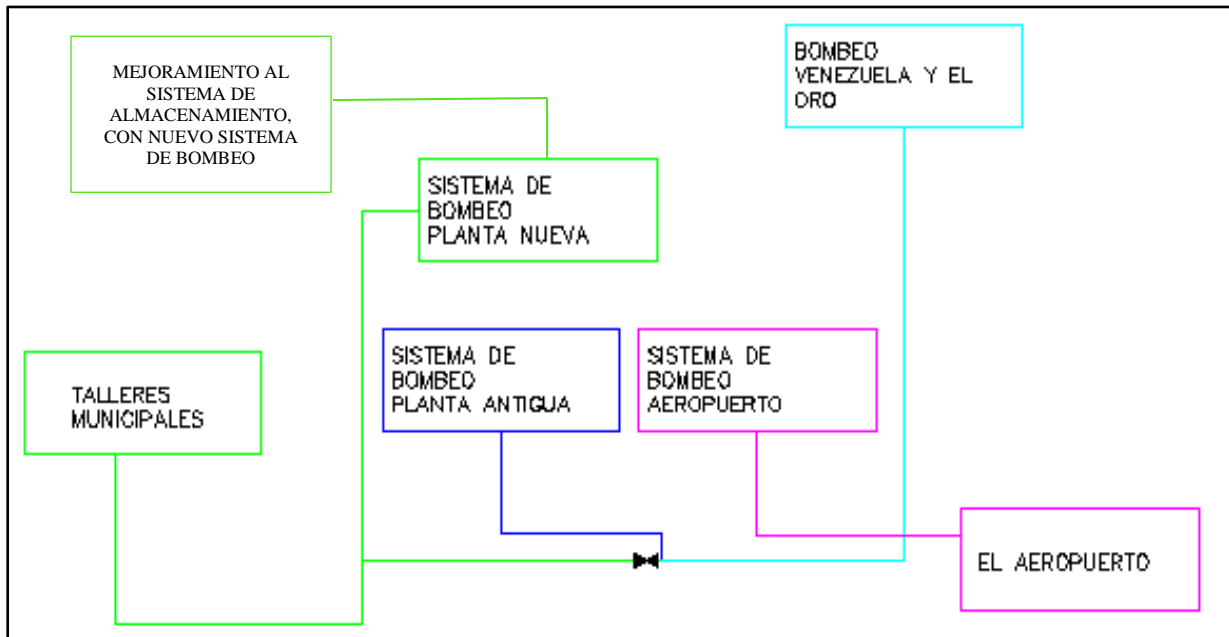
#### *Alternativa planteada aumento de capacidad de almacenamiento*

Otra de las alternativas planteadas es la de aumentar la capacidad de almacenamiento de agua potable producida por la planta actual, la misma que serviría idealmente para terminar de abastecer a la zona Oeste que resulta ser la afectada por la carencia del líquido vital. (Figura 19).



Figura 19.

Esquema de funcionamiento propuesto: aumento de capacidad de almacenamiento.



Con la construcción de una nueva cisterna y el mejoramiento del sistema de bombeo, se obtendría una mayor capacidad de agua potable para repartir a todos los sectores de la población, y se vería menormente afectado el sector Oeste que es el que mayormente presenta inconvenientes.

Para el desarrollo de esta propuesta, se debe considerar varios aspectos de ingeniería, donde intervendría mayormente un estudio civil, para establecer si el tipo de suelo es apto para la construcción de una cisterna de almacenamiento de no menor de 1000 m<sup>3</sup>. Así mismo se debe ver si hay espacio suficiente cerca de la ubicación actual de las reservas de la PTAP nueva, ya que eso facilitaría la interconexión en el sistema de bombeo, para poder realizar una repotenciación en dicho sistema. En la Figura 20 se puede visualizar la propuesta indicada.

*Modelación del proyecto aumentando capacidad de almacenamiento:*

Figura 20.

Sistema actual de la PTAP, aumentado capacidad de almacenamiento.



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

Características del Proyecto aumentando capacidad de almacenamiento:

- Básicamente sería una repotenciación a la planta actual, la misma que abastece a toda la población.
- Realizando esta repotenciación, el mayor beneficio es el aumento de la capacidad de agua potable a repartir, con lo que se espera llegar a cubrir toda la zona oeste que mayormente se ve afectada.

Válvulas (color azul):

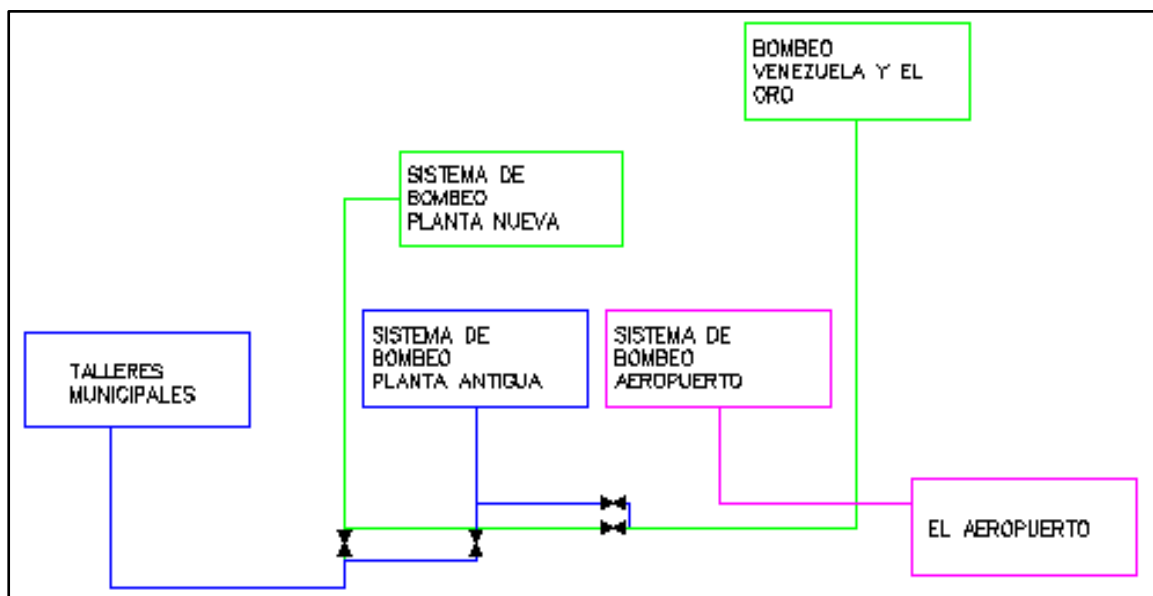
|        |                     |
|--------|---------------------|
| VAL-01 | Abierta (Propuesta) |
| VAL-02 | Abierta (Existente) |
| VAL-03 | Abierta (Propuesta) |
| VAL-04 | Carrada (Propuesta) |

### Alternativa planteada implementando el Bypass

Con la finalidad de independizar los sistemas tanto el de la planta nueva como el de la planta antigua, y que, si por alguna eventualidad se tenga que revertir al proceso actual, se plantea el siguiente esquema, presentado en la Figura 21:

Figura 21.

Esquema de funcionamiento propuesto: bypass



Con la construcción del By-Pass se tiene previsto aprovechar a la máxima capacidad la producción de la planta antigua. Los detalles (planos del sistema a implementar), se muestran en los *Anexos 17 y 18*.

Para desarrollar la presente propuesta, se evaluará la línea de impulsión existente y se tomará en cuenta aspectos como pérdidas hidráulicas del By-Pass.

La independencia de sistemas asegurará que la dotación de caudal sea dirigida hacia los sectores en mención, para el lado Norte, Centro y Este será asignado el caudal procesado en la Planta Nueva, y la parte Oeste será abastecida por la planta antigua, como indica la Figura 22.

Modelación con Bypass:

Figura 22.

Sistema propuesto, con Bypass.



Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

Características del sistema propuesto, con Bypass:

- Bombeo desde planta nueva por medio de la línea de impulsión de 500 mm (color verde) hacia el centro y norte de la ciudad. Se elimina bifurcación.
- Bombeo desde la planta vieja por medio de la línea de impulsión de 300 mm (color tomate) hacia el oeste de la ciudad. Unión a la tubería de 300 mm (color rojo).
- Independencia del caudal de la planta antigua de la tubería de 300 mm que va al oeste de la ciudad (color celeste). Creación de By-pass.

Válvulas (color azul):

|        |                     |
|--------|---------------------|
| VAL-01 | Cerrada (Propuesta) |
| VAL-02 | Abierta (Existente) |
| VAL-03 | Cerrada (Propuesta) |
| VAL-04 | Abierta (Propuesta) |

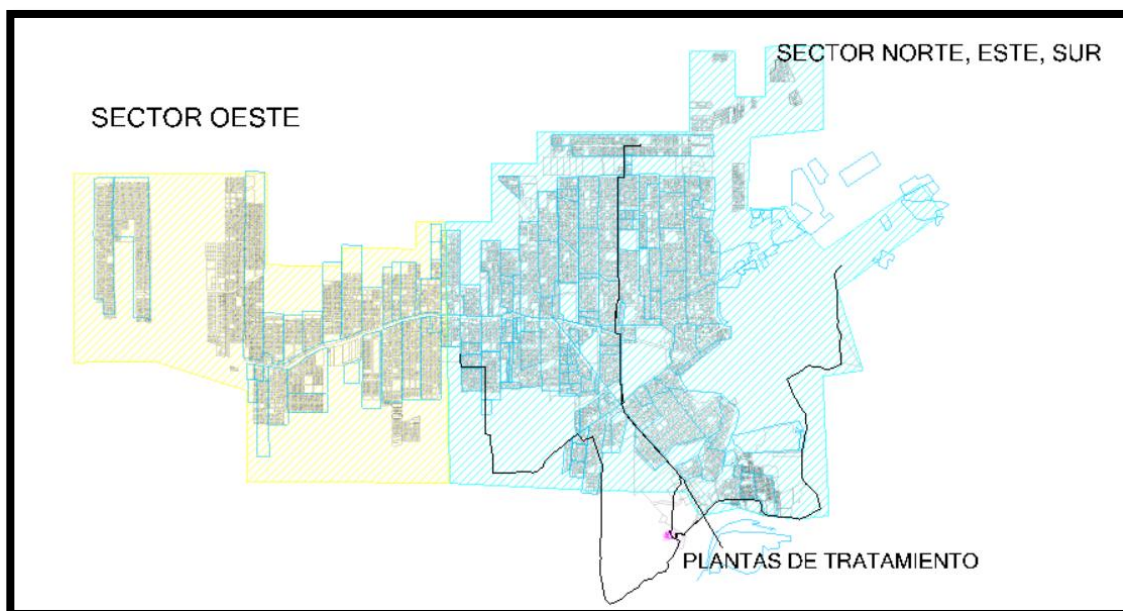
*Variable: Eficiencia estimada del sistema nuevo.*

*Indicadores: Caudal de agua estimado; Presión de agua estimado.*

- Consumo medio diario (c.m.d., incluye pérdidas) = Factor de fugas \* Dotación media futura \* Población de diseño/86400.
- Consumo Máximo Diario (CMD) = 1,30 \* c.m.d. (recomendado por la CPE INEN 5)
- Consumo máximo horario (CMH) = 2,30 \* c.m.d.

Figura 23.

Distribución de red de tuberías matrices.



Nota: Implantación de redes de tubería principal, WaterGems

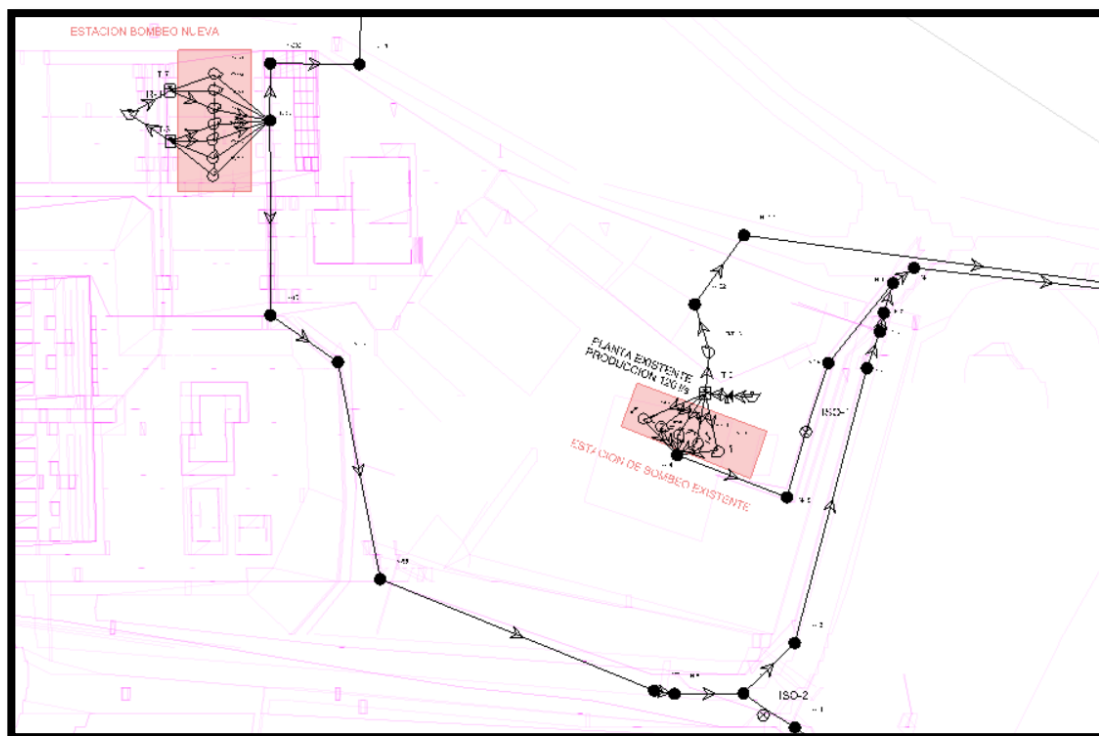
En la Tabla 22 (Anexo 7) se puede analizar, la demanda requerida para la zona Oeste (mayormente afectada por dotación de agua potable), la misma que en proyección a 10 años

futuro necesitará de un CMH 72,04 L/s. Así mismo en la Figura 23 se visualiza la red de distribución de tuberías principales, que abastecen a toda la población de Lago Agrio.

Según la configuración realizada por parte de la empresa pública EMAPALA E.P. encargada de administrar, los servicios básicos tienen la siguiente configuración, en el sector Oeste se cuenta con una reserva baja de 500 m<sup>3</sup> y un sistema de bombeo que lleva el agua hacia tres reservas elevadas. En la Figura 24, se puede ver la configuración actual del sistema de bombeo de las plantas, que han sido añadidas al software para realizar la simulación respectiva.

Figura 24.

#### Sistema de bombeo Planta Antigua y Planta Nueva

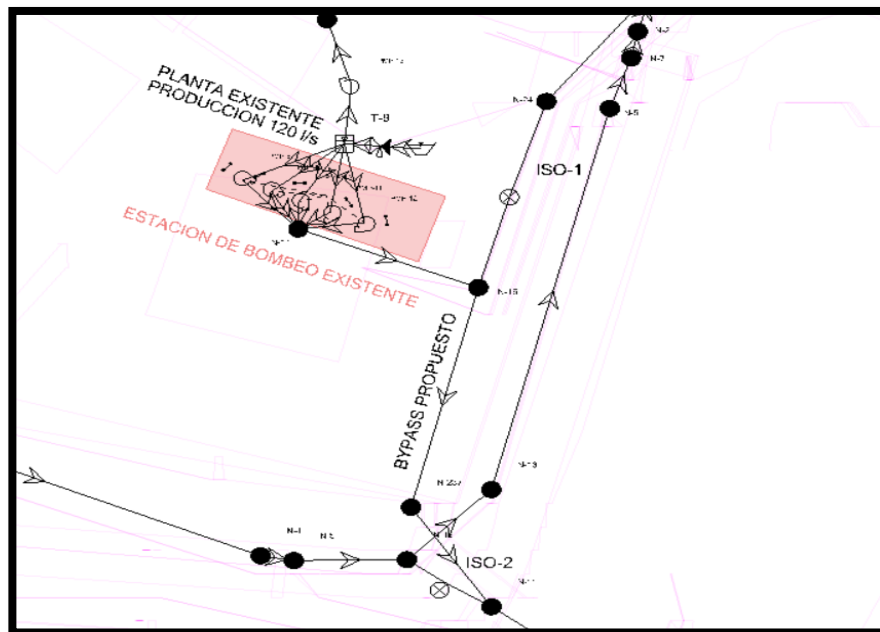


Nota: Distribución actual, software WaterGems.

Con la implementación del Bypass se procura independizar los sistemas y atender con líquido vital al sector oeste con la producción de la planta antigua, para ello se realiza una variación en el trazado e implementación de válvulas, como muestra la Figura 25.

Figura 25.

Sistema de bombeo con implementación del Bypass



Nota: Distribución implementando el Bypass, software WaterGems.

- Sistema de captación, bombeo y líneas de impulsión (considerando un caudal equivalente al de bombeo incrementado en un 5% para el año 2033):
  - $Q_{\text{bombeo}} = 1,05 * 2 * \text{cmd}$  (año 2033)
  - $Q_{\text{bombeo}} = 65,77 \text{ L/S}$
- Capacidad equivalente al 30% de la demanda media diaria. Para Lago Agrio:
  - Volumen de regulación =  $0.25 \times \text{CMD} \times 86.4 \text{ m}^3 / \text{día}$
  - Volumen de regulación ( $V_r$ ) =  $564.0 \text{ m}^3$
  - Volumen de emergencia =  $30\% \times V_{\text{regulación}}$
  - Volumen de emergencia ( $V_e$ ) =  $141.0 \text{ m}^3$
  - Volumen de incendios =  $50 \times \text{raíz}$  (población en miles)
  - Volumen de incendios ( $V_i$ ) =  $170.0 \text{ m}^3$
  - Volumen Total =  $V_r + V_e + V_i$
  - Volumen Total =  $875.0 \text{ m}^3$
- Caudal de agua estimado: Se analiza desde el volumen de agua de la planta.
  - Reserva baja sistema de bombeo planta antigua:

Una vez ingresado los parámetros requeridos por el software WaterGems, obtenemos las gráficas como resultados de la simulación. (Figura 26 y Figura 27).

Figura 26.

Reserva baja salida planta de tratamiento antigua producción de agua 120 l/s sin bypass.

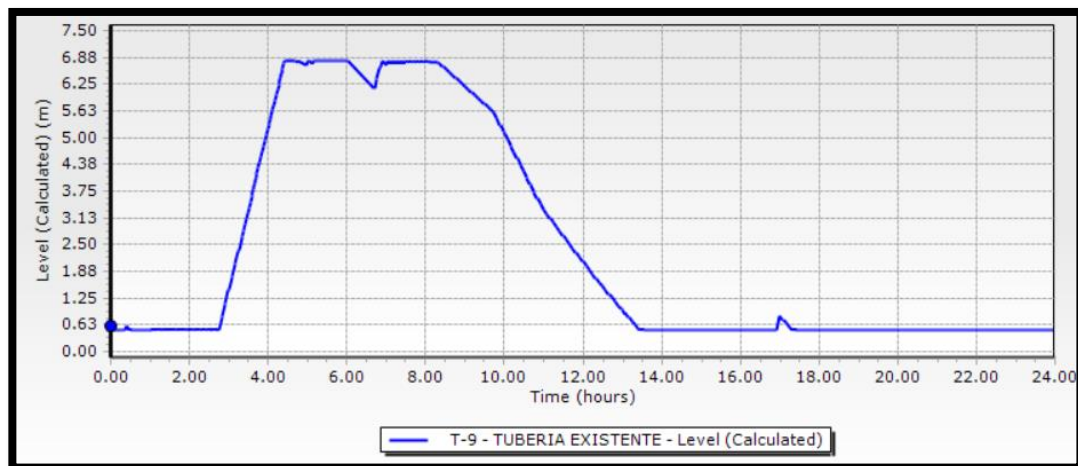


Figura 27.

Reserva baja salida de planta de tratamiento antigua producción de planta 120 l/s incorporado bypass.



La línea azul representa el comportamiento del nivel de agua de la reserva ubicada a la salida de la planta potabilizadora antigua. Se debe garantizar una producción de 120 l/s para cubrir las necesidades del sector oeste, tal y como se muestra en las gráficas anteriores. Luego se analiza un sector de referencia, de alto consumo (talleres municipales de Lago Agrio).



El volumen de almacenamiento es el adecuado, permite que en las horas de bajo consumo se llene para suplir las necesidades en horas de máximo consumo. En comparación con y sin implementación del bypass se considera que existe una mejor distribución de caudales al implementarlo.

- Reserva baja sistema de bombeo talleres municipales de Lago Agrio:

Así mismo con los parámetros ya ingresados, se analiza con el software, el punto más alejado (desfavorable), que es talleres municipales, siendo este el barrio del sector Oeste mayormente afectado con la dotación de agua potable, los resultados se muestran en las Figuras 28 y 29.

Figura 28.

Comportamiento reserva baja talleres municipales sector oeste sin bypass.

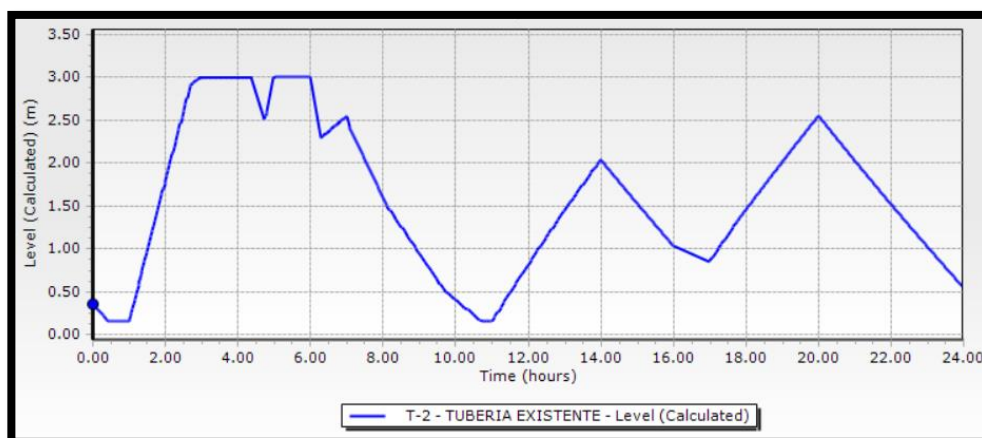
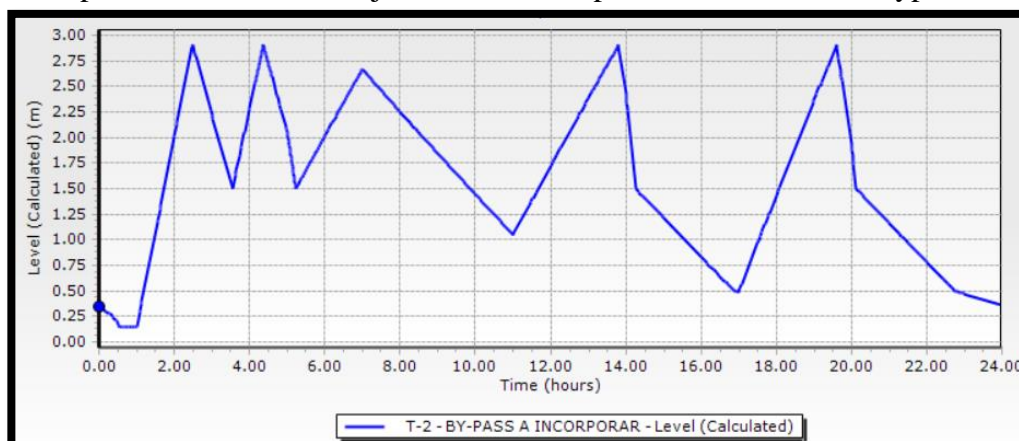


Figura 29.

Comportamiento reserva baja talleres municipales sector oeste con bypass.



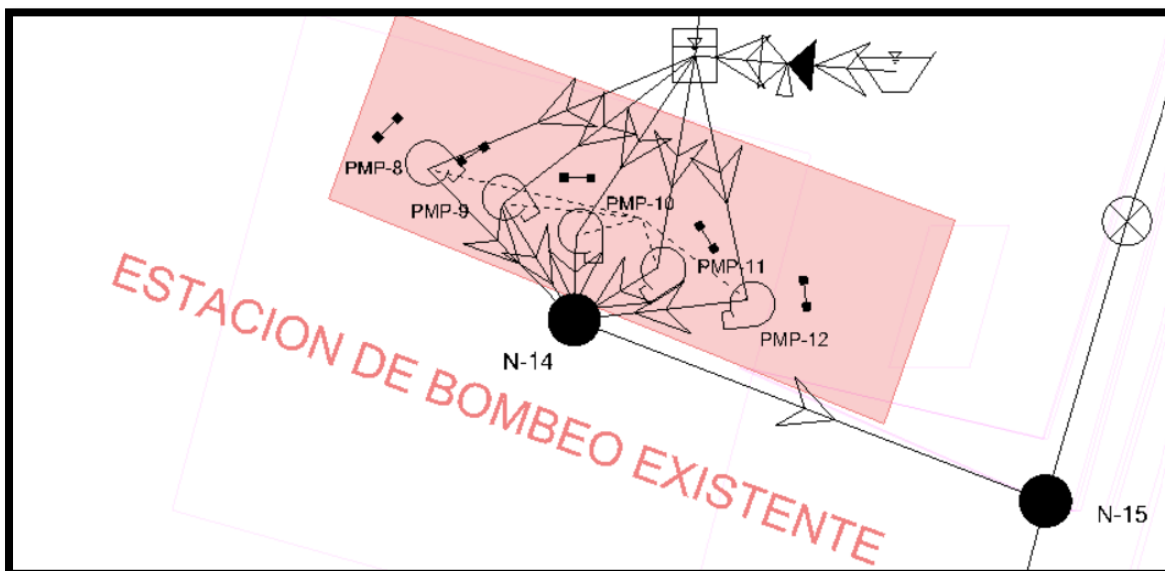
La línea azul indica el comportamiento de los niveles de agua en la reserva baja del sector oeste, se muestra un nivel en la figura 29, más acorde con las solicitudes del patrón de demandas antes estimado. Esto permite, que el agua se encuentre la menor cantidad de tiempo en la reserva minimizando estanqueidad del líquido.

- Funcionamiento del sistema: Se analiza desde el sistema de bombeo.

La configuración de las bombas está en base al nivel de agua de la reserva baja de Talleres Municipales (Figura 30), esto se lo realiza con la finalidad de optimizar el recurso hídrico y energético del sistema para zonas de alto consumo.

Figura 30.

Configuración del sistema de bombeo planta existente.



| ID    | Type   | Priority  | Description  |
|-------|--------|-----------|--|
| LC770 | Simple | <default> | IF T-2 Level < 1.50 m THEN PMP-8 Pump Status = On    |
| LC771 | Simple | <default> | IF T-2 Level >= 2.90 m THEN PMP-8 Pump Status = Off  |
| LC776 | Simple | <default> | IF T-2 Level < 1.50 m THEN PMP-9 Pump Status = On    |
| LC777 | Simple | <default> | IF T-2 Level >= 2.90 m THEN PMP-9 Pump Status = Off  |
| LC782 | Simple | <default> | IF T-2 Level < 1.50 m THEN PMP-10 Pump Status = On   |
| LC783 | Simple | <default> | IF T-2 Level >= 2.90 m THEN PMP-10 Pump Status = Off |
| LC791 | Simple | <default> | IF T-2 Level < 0.50 m THEN PMP-11 Pump Status = On   |
| LC792 | Simple | <default> | IF T-2 Level > 2.90 m THEN PMP-11 Pump Status = Off  |
| LC797 | Simple | <default> | IF T-2 Level < 0.50 m THEN PMP-12 Pump Status = On   |
| LC798 | Simple | <default> | IF T-2 Level > 2.90 m THEN PMP-12 Pump Status = Off  |

Como se visualiza en la Figura 30, la alternancia de las bombas es evidente, la misma facilita a los operadores para darle un uso continuo a todas las bombas existentes, a largo plazo esto provocará un desgaste por uso, el cual conllevará a mantenimientos programados, y con esto evitar para repentinas en el sistema, lo que causaría cortes en el abastecimiento de agua potable.

### **5.6. Análisis comparativo para la determinación de la factibilidad de implementación de la propuesta**

El análisis técnico económico, considerando los costos unitarios, determinan los costos de implementación del sistema de distribución de agua potable para la determinación de su factibilidad. Esto se verificará obteniendo el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

*Variable: Costos de implementación del sistema.*

*Indicadores: Costos unitarios.*

Los rubros más costosos son: el suministro e instalación de sistema eléctrico para el sistema de bombeo (que representa casi el 50% del costo total de implementación del sistema de distribución), el suministro e instalación de medidor electromagnético, el suministro e instalación de Drive ACS880, y el Basic Panel KTP1200 PN a color, con pantalla de 12" táctil y 10 teclas defunción con interfaz PROFINET / Industrial Ethernet y USB. Los otros componentes representan, cada uno, menos del 1% del costo total. Los mismos se visualizan en las Tablas de la 23 a la 27 (Anexos 8, 9, 10, 11 y 12).

Así mismo, se muestra el detalle de los 3 componentes más costosos, presentados en las Tablas 28, 29 y 30 (Anexos 13, 14 y 15).

Desde una perspectiva técnica, la implementación del By-Pass es factible, ya que se aprovecharía el sistema de bombeo de la planta antigua asignándole una red específica que suministre el volumen demandado por los habitantes de Lago Agrio.

Los costos por metro cúbico de agua proveído a los consumidores, según su categoría, se detallan a continuación en la Tabla 13, donde destacan los cargos fijos y variables, que influyen directamente en el valor de las planillas extendidas a los beneficiarios del servicio de agua potable.

De esta forma se han revisado los costos asociados a la implementación, incluyendo la adquisición de materiales, instalación de tuberías, equipos de control de caudal y mitigación de la corrosión y fugas. Se debe verificar que las válvulas de aire existentes funcionen de manera correcta, ya que eso influirá en el rendimiento hidráulico de las tuberías del sistema de distribución de agua potable.

El costo total de implementación total del Bypass es de aproximadamente \$ 240000,00.

Tabla 13.

Cargos por metro cúbico de agua según la categoría del consumidor.

| Categorías y Subcategorías de Consumidores |                    | Bloques de consumo                        |             |             |          |
|--|--------------------|---|-------------|-------------|----------|
|  |                    | Bloque A                                  | Bloque B    | Bloque C    | Bloque D |
| Rangos de consumo m <sup>3</sup> /mes      |                    | 0 < x ≤ 10                                | 10 < x ≤ 25 | 25 < x ≤ 40 | x > 40   |
| <b>Categoría RESIDENCIAL</b>               | Cargo Fijo (CF) \$ | Cargo Variable - CV (USD/m <sup>3</sup> ) |             |             |          |
| <b>HOGARES</b>                             | 1.28               | 0,19                                      | 0,25        | 0,34        | 0,54     |
| Categorías y Subcategorías de Consumidores |                    | Bloques de consumo                        |             |             |          |
|  |                    | Bloque A                                  | Bloque B    | Bloque C    |          |
| Rangos de consumo m <sup>3</sup> /mes      |                    | 0 < x ≤ 25                                | 25 < x ≤ 50 | x > 50      |          |
| <b>Categoría NO RESIDENCIAL</b>            | Cargo Fijo (CF) \$ | Cargo Variable - CV (USD/m <sup>3</sup> ) |             |             |          |
| <b>COMERCIAL</b>                           | 1.28               | 0,60                                      | 0,80        | 1,00        |          |
| <b>INDUSTRIAL</b>                          | 1.28               | 0,60                                      | 0,80        | 1,00        |          |
| <b>OFICIAL</b>                             | 1.28               | 0,60                                      | 0,80        | 1,00        |          |

Nota: Tomado de EMAPALA, 2022.

Por último, los flujos de efectivo de la EMAPALA reflejan los siguientes ingresos devengados desde 2019 con una proyección realizada usando una regresión lineal simple (que refleja un coeficiente de determinación del 99.18% para la ecuación  $y = 706.174x + 4.000.000$ ) y una regresión lineal con aproximación cuadrática (que refleja un coeficiente de determinación del 100% para la ecuación  $y = 111.339x^2 + 260.818x + 5.000.000$ ).

Para la proyección con crecimiento se estima un incremento de casi el 50% del 25% de la cantidad de población desatendida, en atención a que la tendencia de la población de Lago Agrio a usar la red pública es de casi el 50% del total (Tabla 14). Entonces, el crecimiento estimado en los ingresos, sobre los costos unitarios variables sería de aproximadamente 12%. Por ejemplo, para la ecuación lineal se proyectaría como:  $y = 1.12(706.174x) + 4.000.000$ .

Tabla 14.

Ingresos anuales (en dólares) registrados y proyectados para EMAPALA hasta 2028.

| <b>Año</b>  | <b>Registrado</b>                        |  |  |  |   |  |
|-------------|--|--|--|--|---|--|
| <b>2019</b> | 4874660,76                               |  |  |  |   |  |
| <b>2020</b> | 5469495,62                               |  |  |  |   |  |
| <b>2021</b> | 6287008,38                               |  |  |  |   |  |
| <b>Año</b>  | <b>Proyección lineal sin crecimiento</b> | <b>Proyección cuadrática sin crecimiento</b> | <b>Proyección lineal con crecimiento</b> | <b>Proyección cuadrática con crecimiento</b> | <b>Diferencia proyecciones lineales</b> | <b>Diferencia proyecciones cuadráticas</b> |
| <b>2022</b> | 6824696,00                               | 7824696,00                                   | 6824696,00                               | 7824696,00                                   | 0,00                                    | 0,00                                       |
| <b>2023</b> | 7530870,00                               | 9087565,00                                   | 7530870,00                               | 9087565,00                                   | 0,00                                    | 0,00                                       |
| <b>2024</b> | 8237044,00                               | 10573112,00                                  | 8745489,28                               | 11241885,44                                  | 508445,28                               | 668773,44                                  |
| <b>2025</b> | 8943218,00                               | 12281337,00                                  | 9536404,16                               | 13155097,44                                  | 593186,16                               | 873760,44                                  |
| <b>2026</b> | 9649392,00                               | 14212240,00                                  | 10327319,04                              | 15317708,80                                  | 677927,04                               | 1105468,80                                 |
| <b>2027</b> | 10355566,00                              | 16365821,00                                  | 11118233,92                              | 17729719,52                                  | 762667,92                               | 1363898,52                                 |
| <b>2028</b> | 11061740,00                              | 18742080,00                                  | 11909148,80                              | 20391129,60                                  | 847408,80                               | 1649049,60                                 |

Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 15, proyectados para 5 años solamente, cuyos cálculos se hicieron empleando una hoja de cálculo de MS Excel. Con los datos calculados se estimará el VAN y la TIR. La tasa nominal considerada fue de 16,5%.

De acuerdo con los resultados, el VAN es de al menos \$ 1871151,17 (proyectado de forma lineal) con una TIR superior al 100%. Esto justifica la inversión incluso a corto plazo.

Tabla 15.

Datos empleados para determinar la VAN y TIR usando las diferencias en los ingresos proyectados con y sin la implementación del proyecto, con el método lineal y el cuadrático.

|              |               |               |
|--------------|---------------|---------------|
| Inversión    | -\$ 240000,00 | -\$ 240000,00 |
| Ingreso 2024 | \$ 508445,28  | \$ 668773,44  |
| Ingreso 2025 | \$ 593186,16  | \$ 873760,44  |
| Ingreso 2026 | \$ 677927,04  | \$ 1105468,80 |
| Ingreso 2027 | \$ 762667,92  | \$ 1363898,52 |
| Ingreso 2028 | \$ 847408,80  | \$ 1649049,60 |
| VAN          | \$ 1871151,17 | \$ 3185836,30 |
| TIR          | 226%          | 307%          |

## 6. Análisis de resultados

### 6.1. Análisis del funcionamiento actual de la PTAP

En primera instancia se realizó un diagnóstico del funcionamiento actual de la PTAP para la comprobación de las deficiencias en la distribución del servicio y, mediante un estudio de campo, determinar el porcentaje de desabastecimiento que afecte a los sectores de Lago Agrio.

Del estudio de campo, se verificó que la dotación actual es de 170 lts/hab/días, atendiendo solo al 27,65% de la población de Lago Agrio hasta 2010. Debiendo suplir, según las Normas CPE INEN 5 parte 9-1, para poblaciones de hasta 5000 habitantes en clima cálido, con 195 lts/hab/día. Es decir, que la planta antigua cumplía con el 87,17% del abastecimiento normal.

Por otra parte, si relacionamos la dotación de 170 lts/hab/días con la recomendada para 2023, que es de 210 lts/hab/días, se tiene un porcentaje de desabastecimiento de 20% que, proyectada a 10 años y considerando un crecimiento poblacional del 150%, se tendría un desabastecimiento futuro del 30% en Lago Agrio. Esto es bastante alto, teniendo en cuenta que, según el INEC, 2010, más del 57% de los pobladores acceden al agua potable por vías diferentes a la red pública.

Por lo expuesto, mediante el estudio de campo, se llegó a determinar que el desabastecimiento afecta a más del 25% de los sectores de Lago Agrio.

## **6.2. Propuesta de distribución de planta para EMAPALA**

Luego del análisis del funcionamiento actual de la PTAP, se realizó una simulación de la nueva distribución de tuberías de la PTAP para el análisis de la eficiencia de diferentes escenarios para el sistema de distribución de agua potable, procurando el incremento de su caudal y presión de salida, considerando la corrosión, fugas y control de caudal. Para esto se usó del software WaterGEMS.

Comparando la distribución antigua con la actual (ver Anexos 17 y 18) usando el software WaterGEMS, se verifica que, al ser un sistema de tuberías y válvulas, el tiempo de instalación es menor en relación con implementar una cisterna y sistema de bombeo. Además, al independizar las PTAP, se focalizaría una mejor distribución de agua potable en la población.

De acuerdo con las estimaciones, para el año 2033, el caudal demandado será de 72 l/s, para lo cual, la planta nueva puede tratar 120 l/s a su máxima capacidad y 100 l/s normalmente. Incluso considerando lo determinado por EMAPALA, 2022, que las pérdidas y fugas son del 20% (por deterioros y corrosión en las tuberías) se puede proveer un caudal mínimo de 80 l/s.

Es decir que, técnicamente, la implementación del By-Pass es viable, ya que se aprovecharía el sistema de bombeo de la planta antigua al asignarle una red específica que surta de volumen a un determinado sector de Lago Agrio.

En resumen, se describe en la Tabla 31 (Anexo 16) un cuadro comparativo las diferencias entre los tipos de diseño para la PTAP. Con los parámetros y normas precitadas se logra determinar qué tipo de diseño es el más conveniente para la ciudad de Lago Agrio.

### **6.3. Análisis comparativo para la determinación de la factibilidad de implementación de la propuesta**

Por último, se realizó el análisis técnico económico, considerando los costos unitarios para la determinación de su factibilidad. Con la determinación de los costos de implementación del sistema de distribución de agua potable y los ingresos por prestación del servicio, la factibilidad se determinó usando los valores del VAN y la TIR.

Con el detalle de los costos unitarios para establecer los costos variables que, con los costos fijos predeterminados para la PTAP, nos permiten calcular el costo total o los costos asociados con la implementación de la red de distribución de agua potable. El costo total es de aproximadamente \$ 240000,00.

Luego, empleando el tarifario de cobro por metro cúbico de agua, según la categoría del consumidor, se estiman los ingresos generados. La determinación de la diferencia de los ingresos proyectados en las condiciones actuales con respecto a los generados con la implementación del By-pass, permitieron calcular un VAN para 5 años a partir de 2023, el cual fue de \$ 1871151,17 y una TIR de 226%. Esto indica que la inversión se recuperará en un corto plazo. Cabe resaltar que la proyección de los ingresos considerando una curva de crecimiento cuadrática indican un VAN y una TIR aún más altos y que refuerzan lo concluido.



## 7. Conclusiones

- El estudio de campo permitió diagnosticar el funcionamiento actual de la PTAP y determinar la existencia de deficiencias en la distribución del servicio. En el caso específico de Lago Agrio, los resultados del estudio indican que al menos el 25% de los sectores se ven afectados por estas deficiencias. Estos hallazgos pueden servir como base para implementar mejoras en el servicio de agua potable y alcantarillado, y garantizar que la población de Lago Agrio tenga acceso a un suministro de agua de calidad y adecuado para sus necesidades. Es importante seguir realizando estudios periódicos para monitorear el funcionamiento de la PTAP y asegurarse de que el servicio siga mejorando con el tiempo.
- Con el uso del software WaterGEMS se logró estimar los caudales y parámetros funcionales de la planta nueva, para el contraste con la antigua. En este sentido, el software resultó ser una herramienta eficaz para la simulación de la nueva distribución de tuberías de la PTAP a través del Bypass, siendo esta una solución adecuada al problema de la distribución de agua potable para la población de Lago Agrio. La simulación permitió evaluar de manera precisa la eficiencia de un bypass en la red de distribución, justificando el modelo propuesto. Es importante destacar que la implementación de un bypass en la red de distribución de agua potable puede aumentar la eficiencia del sistema y garantizar un suministro adecuado de agua potable para la población de Lago Agrio (zona Oeste).
- El análisis técnico económico permitió determinar los costos de implementación del sistema de distribución de agua potable y evaluar su factibilidad. Este considera los costos unitarios de los diferentes componentes del sistema, incluyendo la construcción de tuberías, materiales, mano de obra y otros gastos asociados. Además, la factibilidad mediante los indicadores del VAN y el TIR (VAN \$ 1871151,17 y una TIR de 226%), los resultados justifican la inversión, asegurando un corto tiempo de recuperación por el alto valor tanto del VAN (muy superior a la inversión) como de la TIR.

## Referencias Bibliográficas

- Alegret Breña, E., Martínez Valdés, Y., Alegret Breña, E., & Martínez Valdés, Y. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(3), 41-55.
- Arcos Pulido, M. del P., Ávila de Navia, M., Lilia, S., Torres, E., Mónica, S., & Gómez Prieto, A. C. (2005). *Microbiological indicators of contamination of the water sources*.
- Arizaga Mondragón, J. A. (2016). *Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Vinces*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/15356>
- Bas González, I. (2020). *Análisis técnico-económico de un sistema de bombeo híbrido fotovoltaico*.
- Buenaño Sánchez, A. F., & DT-Ballesteros López, L. (2013). “Aporte gubernamental y su incidencia en la provisión de servicios de agua potable en la zona rural del Cantón Lago Agrio Provincia de Sucumbíos”. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/5272>
- Burbano Ruiz, J. E. (2011). *Presupuestos* [Text]. Biblioteca Hernán Malo González de la Universidad del Azuay; Biblioteca Hernán Malo González. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/63194>
- Cárdenas Jaramillo, D. L., & Patiño Guaraca, F. E. (2010). *Estudios y diseños definitivos del sistema de agua, potable de la comunidad de Tutucán, canton Paute, Provincia del Azuay*.
- Castañeda Cortes, M. C. (2015). *Propuesta para la implementación de técnicas alternativas con ayudantes de coagulación naturales en la planta de tratamiento de agua potable de la empresa aguas de Facatativá*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/6913>

- Castañeda Galvis, L. F. (2015). *Modelo de gestión para el mantenimiento de tuberías en redes de distribución de agua potable*.  
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2199>
- Chevron Corporation. (2016). *En Nueva Loja entró en pruebas el nuevo sistema de captación de agua*. <https://www.juiciocrudo.com/articulo/en-nueva-loja-entro-en-pruebas-el-nuevo-sistema-de-captacion-de-agua/6329>
- Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería industrial*, 029, 153-170.
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: Un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170.
- CONAGUA, C. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*.
- Córdoba Fernández, A. J. (2016). *Nuevo sistema de filtración rápida de alta tasa con lechos únicos y mixtos*.
- Costa Cañizares, F. P. (2013). *Control de calidad de soldadura y recubrimientos en la fabricación de tubos y accesorios de acero para la conducción de agua potable-proyecto de rehabilitación grandes acueductos plan huancavilca*.
- Cueva Carranza, D. V. (2015). *Plan de negocios para la creación de una planta ecológica de purificación de agua, en la ciudad de Nueva Loja, Cantón Lago Agrio, Provincia de Sucumbíos*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3789>
- Daniela, J. (2014). *Problemas de salud relacionado con el consumo de agua en la Parroquia Nueva Loja de la ciudad de Lago Agrio en el período Marzo Agosto 2014*.
- David I., C., & Lewis, R. I. (2010). *Project Manager's Portable Handbook*. McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071741057>
- Derjaguin, B. (1934). *Kolloid-Zeitschrift*, 69, 155. Shuttleworth, R.(1950) *Proc.* 63, 444.

- Díaz Malpartida, T. A., & Vargas Pastor, C. I. (2016). *Diseño del sistema de agua potable de los caseríos de Chagualito y Llurayaco, distrito de Cochorco, provincia de Sánchez Carrion aplicando el método de seccionamiento.*
- Diseños y Proyectos Reunidos S.A. (2021, septiembre 1). *DISEPROSA | Engineering & Consulting.* <https://diseprosa.com/>
- Edzwald, J. (2011). *Water quality & treatment: A handbook on drinking water.* McGraw-Hill Education.
- EMAPALA. (2022). *Plantas de tratamiento de agua potable.* Emapala. <https://emapala.gob.ec/>
- Empresa Pública Municipal y Alcantarillado de Lago Agrio. (2019, enero 4). NUEVA PLANTA DE AGUA POTABLE DURENO. EMAPALA. <https://emapala.gob.ec/nueva-planta-de-agua-potable-dureno/>
- Espinoza Ortega, E. A., & Abril Abril, J. A. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control de la concentración de manganeso en agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable tixán-etapa ep.*
- Fillo, J., Koraido, S., & Evans, J. (1992). Sources, characteristics, and management of produced waters from natural gas production and storage operations. En *Produced Water* (pp. 151-161). Springer.
- Gaona Ramos, D. J. (2014). *Artículo Científico—Automatización del proceso de retro-lavados de los filtros de la planta de tratamiento de agua e implementación de un sistema HMI para los procesos de filtrado y retro-lavado para la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Lago Agrio.* <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/8869>
- García Martínez, J. D., & Torres Novoa, A. F. (2016). *Evaluación del efecto de los desinfectantes en la disminución de la biopelícula en la tubería de la planta piloto Francisco Wiesner.*

- Goren, O. (2008). *Geochemical Evolution and Manganese Mobilization in Organic Enriched Water Recharging Calcareous-Sandstone Aquifer; Clues from the Shafdan Sewage Treatment Plant*. Hebrew University.
- Granizo Rojas, R. J. (2020). *Modelo para la predicción y evaluación de la demanda de agua potable de Emapala EP mediante redes neuronales artificiales*.
- Guerrero Zapata, M. F. (s. f.). *Diseño del sistema de agua potable en el aserío Pedregal, distrito de Buenos Aires, provincia de Morropón, región Piura, Abril 2019*.
- Hamaker, H. C. (1937). The London—Van der Waals attraction between spherical particles. *physica*, 4(10), 1058-1072.
- Hankins, N. P. (2016). *Emerging membrane technology for sustainable water treatment /*.
- Hugues, R. T. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139.
- INEC. (s. f.). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Agua y Alcantarillado (2015) TTITULO - PDF Free Download*. Recuperado 8 de septiembre de 2022, de <https://docplayer.es/48341136-Estadistica-de-informacion-ambiental-economica-en-gobiernos-autonomos-descentralizados-municipales-agua-y-alcantarillado-2015-titulo.html>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1992). *CPE INEN 5. Parte 9-1:1992* (Código de Práctica Ecuatoriano N.º 9-1). Instituto Ecuatoriano de Normalización. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5-parte9-1.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9-1.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 1 108:2011*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1108.pdf>

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023, marzo 30). *INEC. Estadísticas*.  
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2015, agosto 10). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Agua y Alcantarillado (2015)*. <https://docplayer.es/48341136-Estadistica-de-informacion-ambiental-economica-en-gobiernos-autonomos-descentralizados-municipales-agua-y-alcantarillado-2015-titulo.html>
- Jeż-Walkowiak, J., Dymaczewski, Z., & Weber, Ł. (2015). Iron and manganese removal from groundwater by filtration through a chalcedonite bed. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 64(1), 19-34.
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. CEPAL.
- Kawamura, S. (2000). *Integrated design and operation of water treatment facilities*. John Wiley & Sons.
- Klemeš, J. J. (2012). Industrial water recycle/reuse. *Current opinion in chemical engineering*, 1(3), 238-245.
- Lazarova, V., Bouwer, H., & Bahri, A. (2004). Water quality considerations. En *Water reuse for irrigation* (pp. 31-60). CRC Press.
- Leal Ascencio, M. T. (2005). Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. P. *Solar Safe Water, Posibilidades para la Provisión de Agua Segura Usando Nuevas Tecnologías (curso)*, 63-72.
- Lima Cabascango, P. D. (2005). *Análisis técnico económico para la interconexión de la EMAPA-I a nivel de distribución primaria como gran consumidor* [BachelorThesis, QUITO/EPN/2005]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5591>

- Luna, R., & Chaves, D. (2012). *Guía para elaborar estudios de factibilidad de proyectos ecoturísticos*.
- Medina Orozco, L. E., Bravo Espinosa, M., Prat, C., Martínez Menes, M., Ojeda Trejo, E., & Serrato Barajas, B. E. (2008). Pérdida de suelo, agua y nutrientes en un Acrisol bajo diferentes sistemas agrícolas en Michoacán, México. *Agricultura técnica en México*, 34(2), 213-223.
- Mohammad A. Al-Ghouti, Maryam A. Al-Kaabi, Mohammad Y. Ashfaq, Dana Adel Da'na. (2022). *Journal of Water Process Engineering*.  
<https://journalpublishingguide.vu.nl/WebQuery/vubrowser/2903>
- Municipio de Lago Agrio. (2022, septiembre 10). Cantón Lago Agrio [Informativa]. *Alcaldía de Lago Agrio*. <https://www.lagoagrio.gob.ec/index.php/canton-lago-agrio/>
- Muñiz, L., & González, L. M. (2009). *Control presupuestario: Planificación, elaboración, implantación y seguimiento del presupuesto*. Profit Editorial.
- Narváez Leime, D. J., & Pachacama Pachacama, D. A. (2021). "Diseño de una red de agua potable de 1,5KM para la junta de aguas, San Vicente de Andoas, cantón Pedro Vicente Maldonado, provincia de Pichincha." [BachelorThesis].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19879>
- Nesbitt, B. (Ed.). (2007). 8—Valve and piping sizing. En *Handbook of Valves and Actuators* (pp. 193-213). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-185617494-7/50037-7>
- Newcombe, G., & Dixon, D. (2006). *Interface science in drinking water treatment: Theory and applications*. Academic Press.
- Nickisch, M. B., Sánchez, L., Tosolini, R., Díaz, F. T., & Jordan, P. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. *Aqua-LAC*, 10(1), 15-25.

- OMS. (2022). *Organización Mundial de la Salud*. <https://www.who.int/es>
- Pajares, M., & Orlando, E. (2002). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad deficiencias biológicas*.
- Parimal Pal. (2017). *Industrial Water Treatment Process Technology—1st Edition*. <https://www.elsevier.com/books/industrial-water-treatment-process-technology/pal/978-0-12-810391-3>
- Parisher, R. A., & Rhea, R. A. (2022). Chapter 10—Piping Arrangement Drawings, Sections, and Elevations. En R. A. Parisher & R. A. Rhea (Eds.), *Pipe Drafting and Design (Fourth Edition)* (pp. 217-279). Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822047-4.00003-0>
- Pereyra, L. E. (2022). *Metodología de la investigación*. Klik.
- Phatai, P., Wittayakun, J., Chen, W.-H., Futralan, C. M., Grisdanurak, N., & Kan, C.-C. (2014). Removal of manganese (II) and iron (II) from synthetic groundwater using potassium permanganate. *Desalination and Water Treatment*, 52(31-33), 5942-5951.
- Quezpaz Fuel, J. D. (2014). *Problemas de salud relacionado con el consumo de agua en la Parroquia Nueva Loja de la ciudad de Lago Agrio en el período Marzo Agosto 2014*. <http://www.repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/230>
- Ramirez Sanga, F. W. (2021). *Calidad del agua superficial de la cuenca del Rio Chonta empleando filtro lento de arena ascendente y descentente, Cajamarca 2019*.
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la investigación científica*. Page Publishing Inc.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2015). *NTE INEN 2497:2015*. Servicio Ecuatoriano de Normalización. [chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2497.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2497.pdf)



- Sistema Banco de Información. (2022, agosto 13). *SBI - Sistema Banco de Información*.  
<https://aplicaciones3.ecuadorencifras.gob.ec/sbi-war/>
- Tebbutt, T. H. Y. (1998). 1—Water—A precious natural resource. En T. H. Y. Tebbutt (Ed.),  
*Principles of Water Quality control (Fifth Edition)* (pp. 1-11). Butterworth-Heinemann.  
<https://doi.org/10.1016/B978-075063658-2/50002-1>
- Tutoriales al Día - Ingeniería Civil. (2021, agosto 22). *Dos Métodos para la Estimación de Poblaciones Futuras*. <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/dos-metodos-para-la-estimacion-de-poblaciones-futuras/>
- UNE-EN, 1508:1999. (2022). *Abastecimiento de agua. Requisitos para siste...* UNE.  
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0009803>
- USEPA, E. (1999). Method 1664 revision A: N-hexane extractable material (HEM; oil and Grease) and silica gel treated N-hexane extractable material (SGT-HEM; non-polar Material) by extraction and gravimetry. *United States Environmental Protection Agency, Washington*.
- USI Group, U. S. I. (2022). *Tubería de agua de acero AWWA C200*. <https://www.united-steel.com/es/newsshow/366.html>
- Vargas, L. (2004). Procesos unitarios y plantas de tratamiento. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría*, 104-150.
- Verberk, J., Hamilton, L., O'halloran, K., Van Der Horst, W., & Vreeburg, J. (2006). Analysis of particle numbers, size and composition in drinking water transportation pipelines: Results of online measurements. *Water Science and Technology: water supply*, 6(4), 35-43.

## Anexos

### Anexo 1

Tabla 16.

Normas de calidad organoléptica requeridas para el agua potable.

| Característica                            | Unidad    | Límite recomendable | Límite permisible  |
|---|-----------|---------------------|--|
| Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)      | mg/l      | 0                   | 0,05   |
| Aluminio (Al)                             | mg/l      | 0,2                 | 0,3  |
| Cloruros (Cl <sup>-</sup> )               | mg/l      | -                   | 250  |
| Clorofenoles                              | mg/l      | -                   | 0,002  |
| Cobre (Cu)                                | mg/l      | -                   | 1  |
| Color                                     | UCV Pt-Co | 5                   | 15   |
| Detergentes, expresados como SAAM         | mg/l      | -                   | 0,5  |
| Dureza, como CaCO <sub>3</sub>            | mg/l      | 150                 | 500  |
| Hierro (Fe)                               | mg/l      | 0,3                 | 0,5  |
| Manganeso (Mn)                            | mg/l      | 0.05                | 0,1  |
| Oxígeno disuelto                          | mg/l      | 6                   | 80% de saturación  |
| pH  | Unidad    | 7 – 8,5             | 6,5 – 8,5  |
| Sabor y olor                              | -         | No objetable        | No objetable   |
| Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) | mg/l      | 250                 | 400  |
| Temperatura                               | °C        | -                   | Que no exceda en más de 5 °C la temperatura ambiental media de la región |
| Total, de sólidos en disolución           | mg/l      | 250                 | 1000   |
| Turbiedad                                 | UNT       | 1                   | 10   |
| Zinc (Zn)                                 | mg/l      | 1,5                 | 1  |

Nota: Tomado de CPE INEN 5. Parte 9-1:1992.

### Anexo 2

Tabla 17.

Compuestos que afectan la potabilidad del agua y son peligrosos para la salud.

| Sustancia       | Concentración máxima aceptable (mg/l) |
|-----------------|---------------------------------------|
| Sólidos totales | 1500                                  |
| Hierro          | 50                                    |
| Manganeso       | 5                                     |
| Cobre           | 1,5                                   |
| Zinc            | 1,5                                   |

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Magnesio + Sulfato de sodio | 1000 |
| Sulfato de alquil-bencilo   | 0,5  |
| Nitratos                    | 4,5  |
| Fluoruros                   | 1,5  |

Nota: Tomado de CPE INEN 5. Parte 9-1.

### Anexo 3

Tabla 18.

Coefficientes de pérdida de carga localizada para los accesorios más comunes en las conducciones de agua.

| <b>Pieza, conexión o dispositivo</b> | <b>K<sub>L</sub></b> |
|--------------------------------------|----------------------|
| Rejilla de entrada                   | 0,80                 |
| Válvula de pie                       | 3,00                 |
| Entrada cuadrada                     | 0,50                 |
| Entrada abocinada                    | 0,10                 |
| Entrada de borda o reentrada         | 1,00                 |
| Ampliación gradual                   | 0,30                 |
| Ampliación brusca                    | 0,20                 |
| Reducción gradual                    | 0,25                 |
| Reducción brusca                     | 0,35                 |
| Codo corto de 90°                    | 0,90                 |
| Codo corto de 45°                    | 0,40                 |
| Codo largo de 90°                    | 0,40                 |
| Codo largo de 45°                    | 0,20                 |
| Codo largo de 22°30'                 | 0,10                 |
| T con flujo en línea recta           | 0,10                 |
| T con flujo en ángulo                | 1,50                 |
| T con salida bilateral               | 1,80                 |
| Válvula de compuerta abierta         | 5,00                 |
| Válvula de ángulo abierta            | 5,00                 |
| Válvula de globo abierta             | 10,00                |
| Válvula de compuertas                | 2,00                 |
| Válvula de retención                 | 2,50                 |
| Boquillas                            | 2,75                 |
| Controlador de gasto                 | 2,50                 |
| Medidor Venturi                      | 2,50                 |
| Confluencia                          | 0,40                 |
| Bifurcación                          | 0,10                 |
| Pequeña derivación                   | 0,03                 |
| Válvula de mariposa abierta          | 0,24                 |

Nota: Tomado de CONAGUA, 2007.

## Anexo 4

Tabla 19.

Ficha para evaluar los indicadores del estudio de factibilidad de un proyecto.

| <b>Componentes de la evaluación del proyecto</b>              |  | <b>Escala</b> |          |          |          |          |
|---|--|---------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Dimensión</b>  | <b>Indicador</b>   | <b>1</b>      | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| Viabilidad técnica  | Grado de validez del enfoque de trabajo propuesto para alcanzar los objetivos.   |               |          |          |          |          |
|   | Nivel de dominio del enfoque de trabajo propuesto.   |               |          |          |          |          |
|   | Grado de validez de la tecnología propuesta.   |               |          |          |          |          |
|   | Suficiencia de los recursos humanos, materiales y económicos necesarios en términos de cantidad y calidad.                         |               |          |          |          |          |
|   | Establecimiento de acuerdos de asistencia técnica.   |               |          |          |          |          |
|   | Capacidad técnica de los beneficiarios.  |               |          |          |          |          |
| Resiliencia de la organización                                | Relevancia de los logros obtenidos por el proyecto.  |               |          |          |          |          |
|   | Nivel de capacidad administrativa.   |               |          |          |          |          |
|   | Grado de participación comunitaria en la formulación, ejecución, distribución de beneficios y contribución al proyecto.            |               |          |          |          |          |
|   | División de funciones y responsabilidades.   |               |          |          |          |          |
|   | Nivel de estandarización de los procedimientos contables y administrativos.  |               |          |          |          |          |
|   | Experiencia del equipo de trabajo en la planificación, formulación, ejecución y evaluación de proyectos ambientales o productivos. |               |          |          |          |          |
|   | Nivel de cohesión grupal.  |               |          |          |          |          |
|   | Actitud orientada al logro, incluyendo apoyo mutuo, responsabilidad, perseverancia y contribución.                                 |               |          |          |          |          |
| Rentabilidad financiera                                       | Contribución de los socios o beneficiarios del proyecto.   |               |          |          |          |          |
|   | Estado financiero (activos, pasivos y patrimonio) del proyecto.  |               |          |          |          |          |
|   | Estado de resultados (ingresos, egresos y saldo) en el último período.   |               |          |          |          |          |
|   | Proyección del flujo de efectivo.  |               |          |          |          |          |
|   | Aporte de los socios o beneficiarios del proyecto.   |               |          |          |          |          |
|   | Aporte de otros al proyecto.   |               |          |          |          |          |
|   | Suficiencia de recursos (organizacionales y otros) para financiar las actividades del proyecto.                                    |               |          |          |          |          |
| Proyección del mercado, volumen de producción y rentabilidad. |  |               |          |          |          |          |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   | Sostenibilidad del proyecto después del financiamiento.                                  |  |
|   | Capacidad de pago de créditos.   |  |
| Viabilidad contextual   | Factores externos que pueden facilitar o dificultar el desempeño o impacto del proyecto. |  |
|   | Riesgos crecientes o decrecientes.   |  |
|   | Condiciones ambientales, climáticas, de plagas y características del terreno.            |  |
|   | Obstáculos o restricciones.  |  |
|   | Competidores.  |  |
|   | Precios de compra o venta.   |  |
|   | Negociaciones.   |  |
|   | Problemas de servicio.   |  |
|   | Permisos.  |  |
|   | Acceso a recursos materiales, económicos o técnicos.                                     |  |
| Factores de complementariedad del proyecto                              | Complementariedad con otros proyectos.   |  |
|   | Ejecución conjunta del proyecto entre varias organizaciones.                             |  |
|   | Cofinanciamiento del proyecto por diversas fuentes de recursos.                          |  |
|   | Integración de recursos de asistencia técnica.   |  |
|   | Potencial como proyecto piloto o de replicabilidad.                                      |  |
|   | Contribución a la conectividad o formación de corredores biológicos.                     |  |
|   | Compatibilidad del proyecto con las condiciones ambientales de la región.                |  |
|   | Compatibilidad del proyecto con las condiciones culturales de la región.                 |  |
| Compatibilidad del proyecto con las condiciones políticas de la región. |  |  |

Nota: Tomado de Luna & Chaves, 2012.

## Anexo 5

Tabla 20.

Barrios del Sector Oeste de la ciudad de Nueva Loja.

| <b>Nombre</b>       | <b>Nombre</b>       |
|---------------------|---------------------|
| 1. El Pondo         | 15. Betsa           |
| 2. La Unión         | 16. El Condado      |
| 3. Rafael Chica     | 17. Los Almendros   |
| 4. 23 de Noviembre  | 18. La Laguna       |
| 5. El Carmen        | 19. Campo Bello     |
| 6. Portal del valle | 20. Laura María     |
| 7. Jaime Hurtado    | 21. Venecia         |
| 8. San Eduardo      | 22. Lotización 1    |
| 9. Lotización 2     | 23. Nueva Alianza   |
| 10. Arazá           | 24. San José        |
| 11. CICS            | 25. Privado         |
| 12. Zoila Jaramillo | 26. Mario Guerrero  |
| 13. Luz y Esperanza | 27. 14 de Noviembre |
| 14. Velasco Ibarra  | 28. Plan Victoria   |

Nota: Tomado de Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio EMAPALA EP, 2018.

## Anexo 6

Tabla 21.

Tipos de vivienda existentes en el cantón Lago Agrio.

| <b>Tipo de vivienda</b>        | <b>Cantidad</b> |
|--------------------------------|-----------------|
| Casa/Villa                     | 11 271          |
| Departamento                   | 1 575           |
| Cuartos en casa de inquilinato | 4 013           |
| Mediagua                       | 1 651           |
| Rancho                         | 572             |
| Covacha                        | 77              |
| Choza                          | 30              |
| Otra                           | 108             |

Nota: Elaborado por Agro precisión- PDOTCLA 2011. Tomado de INEC, 2010

## Anexo 7

Tabla 22.

Resumen de demanda de caudales y sus variaciones para los barrios de la Vía Quito.

| Parámetro           | Unidad      | Valor (para el 2033) <sup>1</sup> |
|---------------------|-------------|-----------------------------------|
| Población de diseño | Hab.        | 13046                             |
| Dotación            | lts/hab/día | 190                               |
| CMD                 | L/2         | 40,72                             |
| CMH                 | L/S         | 72,04                             |

Nota: Tomado de Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio EMAPALA EP, 2018.

## Anexo 8

Tabla 23.

Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable en dólares.

| RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS  |               |
|--|---------------|
| RUBRO : SE01   | UNIDAD: u     |
| DETALLE: Letrero en obra   |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b>  | <b>447,08</b> |
| RUBRO : OC01   | UNIDAD: m2    |
| DETALLE: Replanteo y nivelación                                    |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b>  | <b>1,38</b>   |
| RUBRO : OC02   | UNIDAD: m3    |
| DETALLE: Demolición, Remoción de hormigón                          |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b>  | <b>71,42</b>  |
| RUBRO : OC03   | UNIDAD: m3    |
| DETALLE: Excavación, de material a máquina H<3m                    |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b>  | <b>3,51</b>   |
| RUBRO : OC04   | UNIDAD: m3    |
| DETALLE: Excavación, de material a máquina H>3.1m                  |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b>  | <b>5,66</b>   |
| RUBRO : OC05   | UNIDAD: m3    |
| DETALLE: Desalojo y transporte de material a máquina ( DLA < 10km) |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b>  | <b>5,45</b>   |
| RUBRO : OC06   | UNIDAD: m3    |

<sup>1</sup> La red de distribución se diseñará para el año 2033 con un CMH de 72.04 L/S.

|   |              |
|---|--------------|
| DETALLE: Relleno compactado con mat. de mejoramiento (lastre de río) en estructuras, inc. Transporte. |              |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>27,34</b> |
| RUBRO : OC07  | UNIDAD: m3   |
| DETALLE: Mejoramiento lastre de río - suministro, tendido y compactado, inc. transporte (DLA < 10km)  |              |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>22,58</b> |
| RUBRO : OC08  | UNIDAD: m2   |
| DETALLE: Corte y reposición de pavimento flexible (incluye desalojo y transporte)                     |              |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>57,07</b> |

### Anexo 9

Tabla 24.

Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable en dólares. *(Continuación...)*

|   |               |            |
|---|---------------|------------|
| RUBRO : OC09  |               | UNIDAD: m2 |
| DETALLE: Entibado de zanja con estructura de acero y refuerzos (h=2.40-6.0m)                    |               |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>9,79</b>   |            |
| RUBRO : OC10  |               | UNIDAD: m3 |
| DETALLE: Relleno sin compactar de piedra bola d>3" (subrasante CBR < 3), inc. transporte        |               |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>17,55</b>  |            |
| RUBRO : OC11  |               | UNIDAD: kg |
| DETALLE: Acero de refuerzo en barras (fy=4200 kg/cm2)   |               |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>2,52</b>   |            |
| RUBRO : OC12  |               | UNIDAD: m3 |
| DETALLE: Hormigón no estructural de cemento portland clase "e", f'c=180 kg/cm2 para replantillo |               |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>182,31</b> |            |
| RUBRO : OC13  |               | UNIDAD: m3 |
| DETALLE: Hormigón estructural de cemento portland clase "b" f'c=210 kg/cm2, incluye encofrado   |               |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>239,86</b> |            |
| RUBRO : OC14  |               | UNIDAD: m3 |
| DETALLE: Hormigón estructural de cemento portland clase "b" f'c=240 kg/cm2, incluye encofrado   |               |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>267,67</b> |            |
| RUBRO : OC15  |               | UNIDAD: u  |
| DETALLE: Tapa de H.A°, f'c=210kg/cm2, para caja de revisión 80*80*5 cm                          |               |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>38,38</b>  |            |
| RUBRO : OC16  |               | UNIDAD: m3 |
| DETALLE: Sub-base clase 3 - suministro, tendido y compactado, no inc. Transporte                |               |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>24,67</b>  |            |



|                       |  |               |
|-----------------------|--|---------------|
| RUBRO :               | OC17   | UNIDAD: m3    |
| DETALLE :             | Arena lavada de rio, incluye transporte                              |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>26,31</b>  |
| RUBRO :               | OC18   | UNIDAD: m2    |
| DETALLE :             | Retiro, almacenamiento, reposición de adoquines                      |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>22,49</b>  |
| RUBRO :               | HM1  | UNIDAD: u     |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Unión universal multimaterial H.D, D=12" |               |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>437,74</b> |

### Anexo 10

Tabla 25.

Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable en dólares. *(Continuación...)*

|                       |  |                 |
|-----------------------|--|-----------------|
| RUBRO :               | HM2  | UNIDAD: m       |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de tubería ASTM A53 GB, D=12", galvanizado ISO 1461               |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>426,52</b>   |
| RUBRO :               | HM4  | UNIDAD: u       |
| DETALLE :             | Suministro e Instalación de medidor electromagnético H.D, D=12"                            |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>18096,19</b> |
| RUBRO :               | HM20   | UNIDAD: u       |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Yee de acero HN C40, con tratamiento galvanizado de 12", 30°.  |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>1284,72</b>  |
| RUBRO :               | HM5  | UNIDAD: u       |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Codo de acero HN C40, con tratamiento galvanizado de 12", 90°. |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>461,36</b>   |
| RUBRO :               | HM6  | UNIDAD: u       |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Codo de acero HN C40, con tratamiento galvanizado de 12", 45°. |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>409,19</b>   |
| RUBRO :               | HM7  | UNIDAD: u       |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Codo de acero HN C40, con tratamiento galvanizado de 12", 30°. |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>393,80</b>   |
| RUBRO :               | HM8  | UNIDAD: u       |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Brida Slip On Clase 150 de 12", incl, empaques y pernos        |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |  | <b>461,36</b>   |
| RUBRO :               | HM9  | UNIDAD: u       |

|                       |   |                 |
|-----------------------|---|-----------------|
| DETALLE :             | Suministro e Instalación de válvula mariposa tipo Wafer de palanca H.D, D=12" |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>772,11</b>   |
| RUBRO :               | AT1   | UNIDAD: u       |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de caja moldeada 3VM1220-4ED32-0AA0                  |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>346,46</b>   |
| RUBRO :               | AT2   | UNIDAD: u       |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Drive ACS880 45KW /220VAC                         |                 |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>13434,13</b> |

### Anexo 11

Tabla 26.

Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable en dólares. *(Continuación...)*

|                       |   |                |
|-----------------------|---|----------------|
| RUBRO :               | AT3   | UNIDAD: m      |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Cable superflex color 3x2/0 + 3 neutros 50%                       |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>108,39</b>  |
| RUBRO :               | AT4   | UNIDAD: u      |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de amarras, terminales, cintas aislantes, tornillería, etc.          |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>684,14</b>  |
| RUBRO :               | AT5   | UNIDAD: m      |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de cable 3x16 awg apantallado  |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>2,47</b>    |
| RUBRO :               | AT6   | UNIDAD: m      |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de cable flexible varios colores 18 awg                              |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>0,91</b>    |
| RUBRO :               | AT7   | UNIDAD: u      |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Controlador Lógico Programable (PLC) 6ES7214-1BG40-0XB0           |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>1109,79</b> |
| RUBRO :               | AT8   | UNIDAD: u      |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Módulo de señal de 16DI a 24V DC                                  |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>677,19</b>  |
| RUBRO :               | AT9   | UNIDAD: u      |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Módulo de señal de 8DO tipo relé                                  |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>504,99</b>  |
| RUBRO :               | AT10  | UNIDAD: u      |
| DETALLE :             | Suministro e instalación de Módulo de señal de 8 entradas analógicas. Configurables como V/mA |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b> |   | <b>1219,63</b> |
| RUBRO :               | AT11  | UNIDAD: u      |

|  |                |
|--|----------------|
| DETALLE : Suministro e instalación de Switch Industrial Ethernet no administrable, formato compatible con PLC. Incluye WinCC V16 Basic |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b>  | <b>479,64</b>  |
| RUBRO : AT14   | UNIDAD: u      |
| DETALLE : Suministro e instalación TIA Portal V16, Incluye WinCC V16 BASIC   |                |
| <b>VALOR UNITARIO</b>  | <b>1100,79</b> |

## Anexo 12

Tabla 27.

Resumen de los costos unitarios por cada rubro requerido para la implementación del sistema de distribución de agua potable en dólares. *(Continuación...)*

|   |                 |            |
|---|-----------------|------------|
| RUBRO : AT12  |                 | UNIDAD: u  |
| DETALLE : Basic Panel KTP1200 PN a color, con pantalla de 12" táctil y 10 teclas defunción con interfaz PROFINET / Industrial Ethernet y USB  |                 |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>4335,69</b>  |            |
| RUBRO : AT13  |                 | UNIDAD: u  |
| DETALLE : Fuente PS 307 formato S 7-300. Entrada 120/230V AC; salida 24 VDC 5A 6ES  |                 |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>587,88</b>   |            |
| RUBRO : EL00  |                 | UNIDAD: u  |
| DETALLE : Suministro e Instalación de sistema eléctrico para bombeo en la captación (Incl.: Transf., Cab., T.P., M.T.). No incluye Generador. |                 |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>66552,27</b> |            |
| RUBRO : MS01  |                 | UNIDAD: u  |
| DETALLE : Señalización preventiva (letreros, conos, cintas)   |                 |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>594,03</b>   |            |
| RUBRO : MS02  |                 | UNIDAD: m3 |
| DETALLE : Agua para el control de polvo   |                 |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>1,07</b>     |            |
| RUBRO : MS03  |                 | UNIDAD: u  |
| DETALLE : Gestión de residuos, basureros, disposición   |                 |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>253,39</b>   |            |
| RUBRO : MS04  |                 | UNIDAD: m  |
| DETALLE : Cerramiento provisionales h=2.4m, lona verde  |                 |            |
| <b>VALOR UNITARIO</b>   | <b>11,87</b>    |            |

## Anexo 13

Tabla 28.

Detalle del rubro EL00: Suministro e instalación de sistema eléctrico para bombeo en la captación. No incluye Generador.

| EQUIPO DESCRIPCION                   | CANTIDAD A | TARIFA B    | COSTO HORA C=AxB | RENDIMIENTO R    | COSTO D=CxR                | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento | NP / EP / ND | VAE (%)          | VAE (%) Elemento |
|--------------------------------------|------------|-------------|------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|
| Herramienta Menor 5% de M.O.         |            |             |                  |                  | 276.23                     | 0.511%                     | 4716003011   | EP           | 100.00%          | 0.511%           |
| CAMION GRUA-CANASTA                  | 1.00       | 60.00       | 60.00            | 150.000          | 9,000.00                   | 16.634%                    | 491150011    | NP           | 0.00%            | 0.000%           |
| ESCALERA TELESCÓPICA                 | 3.00       | 5.00        | 15.00            | 150.000          | 2,250.00                   | 4.158%                     | 4299925210   | EP           | 100.00%          | 4.158%           |
| <b>SUBTOTAL M</b>                    |            |             |                  |                  | <b>11,526.23</b>           |                            |              |              |                  |                  |
| MANO DE OBRA DESCRIPCION             | CANTIDAD A | JORNAL/HR B | COSTO HORA C=AxB | RENDIMIENTO R    | COSTO D=CxR                | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento | NP / EP / ND | VAE (%)          | VAE (%) Elemento |
| INGENIERO ELECTRICO EO B1            | 2.00       | 4.31        | 8.62             | 150.000          | 1,293.00                   | 2.390%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 2.390%           |
| AYUDANTE EO E2                       | 1.00       | 3.83        | 3.83             | 150.000          | 574.50                     | 1.062%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 1.062%           |
| SUPERVISOR ELECT/SANIT GENERAL EO B3 | 2.00       | 4.30        | 8.60             | 150.000          | 1,290.00                   | 2.384%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 2.384%           |
| MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL EO C1 | 1.00       | 4.29        | 4.29             | 150.000          | 643.50                     | 1.189%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 1.189%           |
| PEÓN EO E2                           | 3.00       | 3.83        | 11.49            | 150.000          | 1,723.50                   | 3.185%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 3.185%           |
| <b>SUBTOTAL N</b>                    |            |             |                  |                  | <b>5,524.50</b>            |                            |              |              |                  |                  |
| MATERIALES DESCRIPCION               | UNIDAD     | CANTIDAD A  | PRECIO UNIT. B   | COSTO C=AxB      | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento               | NP / EP / ND | VAE (%)      | VAE (%) Elemento |                  |
| VER LISTA ELECTRICA                  | u          | 1.000       | 37,056.80        | 37,056.80        | 68.487%                    | 471732011                  | ND           | 40.00%       | 27.395%          |                  |
| <b>SUBTOTAL O</b>                    |            |             |                  | <b>37,056.80</b> |                            |                            |              |              |                  |                  |
| TRANSPORTE DESCRIPCION               | UNIDAD     | CANTIDAD A  | TARIFA B         | COSTO C=AxB      | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento               | NP / EP / ND | VAE (%)      | VAE (%) Elemento |                  |
| <b>SUBTOTAL P</b>                    |            |             |                  | <b>0.00</b>      |                            |                            |              |              |                  |                  |
| <b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b> |            |             |                  |                  | <b>54,107.53</b>           | <b>100.00%</b>             |              |              | <b>42.27%</b>    |                  |
| <b>INDIRECTOS (%)</b>                |            |             |                  | 18.00%           | <b>9,739.36</b>            |                            |              |              |                  |                  |
| <b>UTILIDAD (%)</b>                  |            |             |                  | 5.00%            | <b>2,705.38</b>            |                            |              |              |                  |                  |
| <b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>         |            |             |                  |                  | <b>66,552.27</b>           |                            |              |              |                  |                  |
| <b>VALOR UNITARIO</b>                |            |             |                  |                  | <b>66,552.27</b>           |                            |              |              |                  |                  |

## Anexo 14

Tabla 29.

Detalle del rubro HM4: Suministro e instalación de medidor electromagnético H.D., D=12".

| EQUIPO DESCRIPCION                                    | CANTIDAD A | TARIFA B    | COSTO HORA C=AxB | RENDIMIENTO R    | COSTO D=CxR                | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento | NP / EP / ND | VAE (%)          | VAE (%) Elemento |
|---|------------|-------------|------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|
| Herramienta Menor 5% de M.O.                          |            |             |                  |                  | 16.17                      | 0.110%                     | 4716003011   | EP           | 100.00%          | 0.110%           |
| <b>SUBTOTAL M</b>                                     |            |             |                  |                  | <b>16.17</b>               |                            |              |              |                  |                  |
| MANO DE OBRA DESCRIPCION                              | CANTIDAD A | JORNAL/HR B | COSTO HORA C=AxB | RENDIMIENTO R    | COSTO D=CxR                | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento | NP / EP / ND | VAE (%)          | VAE (%) Elemento |
| AYUDANTE EO E2  | 1.00       | 3.83        | 3.83             | 15.000           | 57.45                      | 0.390%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 0.390%           |
| PLOMERO EO D2   | 2.00       | 3.87        | 7.74             | 15.000           | 116.10                     | 0.789%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 0.789%           |
| MAESTRO DE OBRA EO C2                                 | 1.00       | 4.09        | 4.09             | 4.000            | 16.36                      | 0.111%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 0.111%           |
| SUPERVISOR ELECT/SANIT GENERAL EO B3                  | 1.00       | 4.30        | 4.30             | 8.000            | 34.40                      | 0.234%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 0.234%           |
| INGENIERO ELECTRICO EO B1                             | 1.00       | 4.31        | 4.31             | 8.000            | 34.48                      | 0.234%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 0.234%           |
| INGENIERO MECANICO EO B1                              | 1.00       | 4.31        | 4.31             | 15.000           | 64.65                      | 0.439%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 0.439%           |
| <b>SUBTOTAL N</b>                                     |            |             |                  |                  | <b>323.44</b>              |                            |              |              |                  |                  |
| MATERIALES DESCRIPCION                                | UNIDAD     | CANTIDAD A  | PRECIO UNIT. B   | COSTO C=AxB      | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento               | NP / EP / ND | VAE (%)      | VAE (%) Elemento |                  |
| MEDIDOR ELECTROMAGNETICO H.D., D=12", INCLUYE DISPLAY | U          | 1.000       | 14,372.74        | 14,372.74        | 97.692%                    | 482630111                  | NP           | 0.00%        | 0.000%           |                  |
| <b>SUBTOTAL O</b>                                     |            |             |                  | <b>14,372.74</b> |                            |                            |              |              |                  |                  |
| TRANSPORTE DESCRIPCION                                | UNIDAD     | CANTIDAD A  | TARIFA B         | COSTO C=AxB      | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento               | NP / EP / ND | VAE (%)      | VAE (%) Elemento |                  |
| <b>SUBTOTAL P</b>                                     |            |             |                  | <b>0.00</b>      |                            |                            |              |              |                  |                  |
| <b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>                  |            |             |                  |                  | <b>14,712.35</b>           | <b>100.00%</b>             |              |              | <b>2.31%</b>     |                  |
| <b>INDIRECTOS (%)</b>                                 |            |             |                  | 18.00%           | <b>2,648.22</b>            |                            |              |              |                  |                  |
| <b>UTILIDAD (%)</b>                                   |            |             |                  | 5.00%            | <b>735.62</b>              |                            |              |              |                  |                  |
| <b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>                          |            |             |                  |                  | <b>18,096.19</b>           |                            |              |              |                  |                  |
| <b>VALOR UNITARIO</b>                                 |            |             |                  |                  | <b>18,096.19</b>           |                            |              |              |                  |                  |

## Anexo 15

Tabla 30.

Detalle del rubro AT2: Suministro e instalación de Drive ACS880 45KW /220VAC.

| EQUIPO DESCRIPCION                   | CANTIDAD A | TARIFA B    | COSTO HORA C=AxB | RENDIMIENTO R    | COSTO D=CxR                | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento | NP / EP / ND | VAE (%)          | VAE (%) Elemento |
|--------------------------------------|------------|-------------|------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|
| Herramienta Menor 5% de M.O.         |            |             |                  |                  | 34.81                      | 0.319%                     | 4716003011   | EP           | 100.00%          | 0.319%           |
| <b>SUBTOTAL M</b>                    |            |             |                  |                  | <b>34.81</b>               |                            |              |              |                  |                  |
| MANO DE OBRA DESCRIPCION             | CANTIDAD A | JORNAL/HR B | COSTO HORA C=AxB | RENDIMIENTO R    | COSTO D=CxR                | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento | NP / EP / ND | VAE (%)          | VAE (%) Elemento |
| INGENIERO ELECTRONICO EO B1          | 1.00       | 4.31        | 4.31             | 50.000           | 215.50                     | 1.973%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 1.973%           |
| TÉCNICO ELECTONICO EO D2             | 1.00       | 3.87        | 3.87             | 50.000           | 193.50                     | 1.772%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 1.772%           |
| AYUDANTE EO E2                       | 1.00       | 3.83        | 3.83             | 75.000           | 287.25                     | 2.630%                     | 541210012    | EP           | 100.00%          | 2.630%           |
| <b>SUBTOTAL N</b>                    |            |             |                  |                  | <b>696.25</b>              |                            |              |              |                  |                  |
| MATERIALES DESCRIPCION               | UNIDAD     | CANTIDAD A  | PRECIO UNIT. B   | COSTO C=AxB      | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento               | NP / EP / ND | VAE (%)      | VAE (%) Elemento |                  |
| DRIVE ACS880 45KW /220VAC            | U          | 1.000       | 10,191.00        | 10,191.00        | 93.307%                    | 4912909637                 | ND           | 40.00%       | 37.323%          |                  |
| <b>SUBTOTAL O</b>                    |            |             |                  | <b>10,191.00</b> |                            |                            |              |              |                  |                  |
| TRANSPORTE DESCRIPCION               | UNIDAD     | CANTIDAD A  | TARIFA B         | COSTO C=AxB      | Peso Relativo Elemento (%) | CPC Elemento               | NP / EP / ND | VAE (%)      | VAE (%) Elemento |                  |
| <b>SUBTOTAL P</b>                    |            |             |                  | <b>0.00</b>      |                            |                            |              |              |                  |                  |
| <b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b> |            |             |                  |                  | <b>10,922.06</b>           | 100.00%                    |              |              |                  | <b>44.02%</b>    |
| <b>INDIRECTOS (%)</b>                |            |             |                  |                  | 18.00%                     |                            |              |              |                  | <b>1,965.97</b>  |
| <b>UTILIDAD (%)</b>                  |            |             |                  |                  | 5.00%                      |                            |              |              |                  | <b>546.10</b>    |
| <b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>         |            |             |                  |                  | <b>13,434.13</b>           |                            |              |              |                  |                  |
| <b>VALOR UNITARIO</b>                |            |             |                  |                  | <b>13,434.13</b>           |                            |              |              |                  |                  |

## Anexo 16

Tabla 31.

Cuadro comparativo de los tipos de diseño para la PTAP.

| Tipo de diseño   | Ventajas  | Desventajas   |
|--|---|---|
| <b>Mantener el sistema actual</b>  | <p>No hay gasto (inversión de dinero).</p> <p>No se modifica nada en la PTAP.</p> <p>No se tiene que hacer trabajos en planta, lo que implica paras en el proceso de impulsión de agua potable.</p>   | <p>Parte de la población seguirá teniendo problemas en obtener agua potable.</p> <p>El municipio a través de la empresa de agua potable no estaría gestionando mejoras para su población. Seguirían los problemas actuales.</p>   |
| <b>Aumentar la capacidad de almacenamiento y sistema de bombeo de la PTAP actual</b> | <p>Al tener mayor capacidad de almacenamiento, se prevería alcanzar a cubrir la necesidad de consumo actual de la población.</p> <p>Existirían mejoras realizadas tanto por el municipio como por la empresa de agua potable (inversión pública en mejoras).</p> <p>Se abriría plazas de trabajo (temporal), para la construcción del sistema a implementar, lo que contribuye a la economía local.</p> <p>Se abriría plazas de trabajo, para la operación y el mantenimiento del nuevo sistema a instalar.</p> | <p>Se debería invertir una mayor cantidad de dinero, lo que pudiera causar desbalances en la planificación de inversión del municipio.</p> <p>Al seguir avanzando con la obra, se pueden presentar percances, lo cual significaría realizar paradas técnicas en la planta, por consecuencia, la población podría quedarse sin abastecimiento de agua potable durante algunas horas.</p> |

Ya no existiría problemas de abastecimiento de agua potable en la población en general.

Se debería realizar estudios previos para ver geográficamente donde se pudiera ubicar las cisternas con los cuartos de bombas a implementar.

Implementar este sistema, demandaría mayor tiempo, ya que se debe construir e implementar obras civiles, eléctricas y mecánicas.

Sería la implementación económicamente más viable.

Existirían mejoras realizadas tanto por el municipio como por la empresa de agua potable (inversión pública en mejoras).

Al seguir avanzando con la obra, se pueden presentar percances, lo cual significaría realizar paradas técnicas en la planta, por consecuencia, la población podría quedarse sin abastecimiento de agua potable durante algunas horas.

Se abriría plazas de trabajo (temporal), para la construcción del sistema a implementar, lo que contribuye a la economía local.

Aumento del consumo eléctrico en la PTAP antigua, ya que entraría en funcionamiento el sistema de bombeo de manera constante.

Se abriría plazas de trabajo, para la operación y el mantenimiento del nuevo sistema a instalar.

Al independizar las PTAP, se focalizaría una mejor distribución de agua potable en la población.

Constructivamente, se debería realizar excavaciones profundas para realizar los trabajos requeridos, las mismas pueden ser riesgosas si no se toma medidas de seguridad oportunas.

### **Implementación del bypass**

Al ser un sistema de tuberías y válvulas, el tiempo de instalación es menor en relación con implementar una cisterna y sistema de bombeo.

Al ser un sistema en el cual se plantea independizar mediante válvulas de corte, se prevé intervenir en las tuberías existentes, las mismas que tienen varios años de instalación, se debe tener cuidado, ya que se puede afectar la tubería existente, causando grandes paras en el abastecimiento de agua potable.

Se reducen costos de operación en el tratamiento de agua potable

Se aumenta la cobertura del servicio de agua potable

Cerca de 20000 personas reciben el servicio de agua las 24 horas de manera constante

Técnicamente la implementación del By-Pass es viable, ya que se aprovecharía el sistema de bombeo de la planta antigua al asignarle una red específica que surta de volumen a un determinado sector.

*Anexo 17*

Plano Planta

*Anexo 18*

Plano Perfil