

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

PROYECTO INTEGRADOR:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA JUNTA ADMINISTRATIVA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA DE CUTUGLAGUA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

FREDERICK RUPERTO CHIMBO VINCES

frederick.chimbo@epn.edu.ec

MIGUEL ANGEL CHIQUITO TENORIO

miguel.chiquito@epn.edu.ec

DIRECTORA:

ING. SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA, MSc.

sandra.panchi@epn.edu.ec

CODIRECTOR:

ING. CESAR ALFONSO NARVAEZ RIVERA, MSc

cesar.narvaez@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Chimbo Vines Frederick Ruperto y Chiquito Tenorio Miguel Angel como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogos en Agua y Saneamiento Ambiental bajo nuestra supervisión:



PATRICIA PANCHI JIMA

DIRECTORA DEL ROYECTO



CESAR NARVAEZ RIVERA

CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Chimbo Vines Frederick Ruperto con CI: 1725042913 y Chiquito Tenorio Miguel Angel con CI: 1753110483 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Frederick Ruperto Chimbo Vines



Miguel Angel Chiquito Tenorio

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, que más que nadie sabe de los sacrificios y esfuerzos que he pasado a lo largo de mi vida personal y profesional, por permitirme ser una persona de bien y dotarme de un alma de acero para afrontar cada obstáculo con optimismo y sabiduría.

A mis padres que con su motivación, consejos y apoyo incondicional estoy culminando una etapa importante en mi vida, porque a pesar de todas las dificultades familiares me enseñaron a nunca darme por vencido y luchar por mis metas. Por esta y muchas razones más este logro se los dedico, que es muestra de humildad, esfuerzo y perseverancia.

Frederick Chimbo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme todos los días, acompañándome y guiándome a lo largo de mi carrera.

A mis padres por su ejemplo de lucha y sacrificio, por estar conmigo en los momentos buenos y malos, inculcándome valores de superación.

A la Ing. Patricia Panchi por su paciencia, apoyo y guía en la realización de este trabajo.

Frederick Chimbo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo universitario a mis padres por ser pilares fundamentales en el transcurso de mi vida, ya que gracias a su apoyo incondicional fue posible la culminación de esta etapa, entre otros logros se los debo a ellos.

Miguel Chiquito

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido contar con la ayuda de mis padres ya que siempre supieron aconsejarme y guiarme por el camino correcto para alcanzar un peldaño más en mi vida.

A mis hermanos que supieron inculcarme el valor de perseguir mis sueños.

A compañeros que estuvieron en los buenos y malos momentos de la carrera universitaria.

Mi expresión de gratitud inmensa hacia la Ing. Patricia Panchi por ser directora y haber aceptado el reto de este proyecto.

Miguel Chiquito

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Planteamiento del Problema.....	2
1.3	Justificación.....	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo General.....	4
1.4.2	Objetivos Específicos.....	4
1.5	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
1.5.1	Calidad de Agua.....	4
1.5.2	Agua Potable.....	4
1.5.3	Parámetros Físicos.....	4
1.5.4	Parámetros Químicos.....	5
1.5.5	Parámetros Biológicos.....	6
1.5.6	Normativa legal vigente.....	6
1.5.7	Sistema de Abastecimiento de agua.....	7
1.5.8	Partes con la que consta un sistema de Abastecimiento de Agua Potable.....	7
1.5.9	Caudal de Diseño.....	8
2	METODOLOGÍA.....	1
2.1	Plan de muestreo.....	1
2.1.1	Planteamiento de puntos de control.....	1
2.1.2	Trabajo en Campo.....	4
2.1.3	Equipos y materiales de muestreo.....	5
2.1.4	Etiquetas de muestras y libretas de campo.....	5
2.2	Aforo de Caudal.....	5
2.3	Caracterización de agua.....	6
2.3.1	Medición de parámetros in-situ.....	6

2.3.2	Toma de muestras para análisis físico-químico y microbiológico	7
2.3.3	Análisis de muestras en el laboratorio	9
2.3.4	Parámetros Físicos	9
2.3.5	Parámetros Químicos	10
2.3.6	Metales Pesados	11
2.3.7	Parámetros Biológicos	13
2.4	Encuesta sobre Catastro De Medidores.....	13
2.4.1	Procesamiento de datos	14
2.5	Análisis Poblacional	14
2.5.1	Población Actual	14
2.5.2	Cálculo de la población actual por tanque.....	15
2.5.3	Población de Diseño	15
2.6	Cálculo de la demanda de agua requerida.....	16
2.7	Capacidad del tanque distribuidor.....	18
2.7.1	Suministro y consumo.....	19
2.7.2	Cálculo de porcentaje de volumen del tanque a gravedad.....	19
2.7.3	Cálculo del porcentaje de volumen del tanque a bombeo	20
2.7.4	Cálculo del volumen de los tanques de distribución	20
2.7.5	Tanque de Distribución	21
2.8	Levantamiento de la ubicación georreferencial	23
2.9	Socialización con la comunidad	23
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
3.1	Descripción del sistema de abastecimiento en la (JAAPS)	24
3.1.1	Ubicación	24
3.1.2	Servicios Básicos.....	25
3.1.3	Condiciones climatológicas.....	25
3.1.4	Aspectos Socioeconómicos	25
3.2	Descripción de la red de Abastecimiento existente	25
3.2.1	Captación	25

3.2.2	Almacenamiento y cuarto de bombeo.....	26
3.2.3	Tanque de distribución.....	26
3.3	Evaluación de la calidad de agua que se capta y abastece	26
3.3.1	Puntos de control.....	26
3.4	Evaluación de la demanda de agua requerida para el periodo de diseño.	40
3.4.1	Porcentaje de crecimiento poblacional y consolidación del año 2020	41
3.4.2	Poblaciones futuras de la JAAPS.....	42
3.4.3	Estimación del caudal	43
3.5	Propuesta técnica para optimización de los tanques de abastecimiento de agua potable	43
3.5.1	Distribución Horaria	43
3.5.2	Análisis de suministro y consumo	44
3.5.3	Capacidad de los tanques distribuidores.....	45
3.5.4	Capacidad del tanque a bombeo	46
3.5.5	Dimensionamiento del Tanque	49
3.6	Discusión de Resultados.....	49
3.6.1	Análisis de los resultados de la calidad de agua en base a las Normativas ...	49
3.6.2	Análisis de dotación de agua que requiere la población diseño de la JAAPS	51
3.6.3	Propuesta técnica para optimización de los tanques.....	57
3.6.4	Socialización de la Propuesta Técnica.....	64
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
4.1	Conclusiones	66
4.2	Recomendaciones	67
5	BIBLIOGRAFÍA.....	68
6	ANEXOS.....	72
	Anexo 1: Libreta de campo.....	72
	Anexo 2: Encuesta de consumo de agua	73
	Anexo 3: Propuesta técnica de optimización de volumen	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Toma de puntos de control.....	2
Figura 2: Esquema del sistema de abastecimiento de JAAPS	2
Figura 3: Medidor portátil multiparámetro.....	7
Figura 4: Medición con el Colorímetro Hach y Turbidímetro.....	7
Figura 5: Toma de muestras	8
Figura 6: Preservación de muestras.....	8
Figura 7: Proceso y determinación del color aparente.....	10
Figura 8: Digestión de viales de rango bajo para DQO	11
Figura 9: Determinación de Hierro	12
Figura 10: Determinación de Manganeseo.....	12
Figura 11: Fuentes de Captación	24
Figura 12: Mapa de división territorial de la Parroquia de Cutuglagua.....	24
Figura 13: Ubicación de los puntos de muestreo.....	27
Figura 14: Suministro y consumo del sistema a gravedad	44
Figura 15: Suministro y consumo del sistema a bombeo	45
Figura 16: Recorrido del sistema desde la captación hacia el tanque Santa Catalina	60
Figura 17: Recorrido del sistema desde la captación hacia el Tanque el Tambo 3	61
Figura 18: Recorrido del sistema desde la captación hacia el Tanque el Rosario	62
Figura 19: Recorrido de la línea de conducción del tanque Santa Catalina.....	63
Figura 20: Recorrido de la línea de conducción del tanque el Tambo 3	63
Figura 21: Recorrido de la línea de conducción del tanque el Rosario	64
Figura 22: Presentación del proyecto a los directivos de la JAAPS.....	65
Figura 23: Plano del tanque compensador.....	79
Figura 24: Plano del tanque compensador.....	80

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1:Resultados de conductividad y temperatura	30
Grafica 2:Resultados Conductividad y Sólidos Totales Disueltos.....	31
Grafica 3: Resultados de Turbidez con la Normativa.....	32
Grafica 4:Resultados turbidez y Sólidos Suspendidos Totales.....	33
Grafica 5: Resultados de Color aparente	33
Grafica 6:Resultados Oxígeno Disuelto.....	34
Grafica 7: Resultados Potencial Hidrógeno.....	35
Grafica 8: Relación Potencial hidrógeno (pH) y temperatura.....	35
Grafica 9: Resultados Dureza Total	36
Grafica 10: Resultados Dureza cálcica.....	36
Grafica 11: Resultados Cloro Libre Residual.....	37
Grafica 12: Resultados de Hierro y Manganeso	38
Grafica 13: Resultados DQO y DBO	39
Grafica 14: Población proyectada	52
Grafica 15: Población proyectada por tanque	53
Grafica 16: Caudal de diseño	54
Grafica 17: Caudal de diseño.....	55
Grafica 18: Curva del consumo horario del tanque Santa Catalina	74
Grafica 19: Curva del consumo horario del tanque el Tambo 3 y Rosario	75
Grafica 20: Curva integral de consumo del tanque Santa Catalina.....	76
Grafica 21: Curva integral de consumo del tanque el Tambo 3 y el Rosario	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros de calidad de agua analizados en cada punto.....	3
Tabla 2: Etiqueta de muestras	5
Tabla 3: Parámetros analizados in- situ	6
Tabla 4: Parámetros Analizados	9
Tabla 5:Tasas de crecimiento poblacional	16
Tabla 6: Asignación del Nivel de complejidad	16
Tabla 7: Dotaciones Recomendadas	16
Tabla 8: Coeficiente de consumo máximo diario	18
Tabla 9: Coeficiente de consumo máximo horario.....	18
Tabla 10:Caudales de diseño para elementos de un sistema de agua potable	18
Tabla 11: Constante en función a la capacidad de volumen.....	22
Tabla 12: Puntos de control de calidad de agua.....	26
Tabla 13: Resultados físico-químico y microbiológicos de agua cruda.....	28
Tabla 14: Resultados de parámetros <i>in-situ</i> de agua cruda.....	29
Tabla 15:Resultados obtenidos en laboratorio de agua potable	29
Tabla 16:Resultados obtenidos <i>in-situ</i> de agua potable	30
Tabla 17:Número de lotes y medidores del tanque de distribución Santa Catalina	40
Tabla 18: Número de lotes y medidores del tanque de distribución el Tambo 3.....	40
Tabla 19: Número de lotes y medidores del tanque de distribución el Rosario.....	40
Tabla 20: Población del 2014 y 2020 de la JAAPS	41
Tabla 21: Población del 2020 por tanque.....	42
Tabla 22: Proyecciones de consumo de la JAAPS por tanque.....	42
Tabla 23: Distribución horaria de consumo de los tres tanques	43
Tabla 24: Suministro a gravedad continuo por 24 horas	45
Tabla 25: Horas de bombeo.....	46
Tabla 26: Tanque de succión, suministro a gravedad	47
Tabla 27: Tanque de distribución elevado, suministro por bombeo.....	48
Tabla 28:Volumen de regulación e incendios.....	49
Tabla 29: Pre-dimensionamiento del tanque.....	49
Tabla 30: Límites máximos permisibles de acuerdo con diferentes normativas para agua de consumo humano	50
Tabla 31: Resultados comparados con el Acuerdo Ministerial 097-A.....	50
Tabla 32: Resultados comparados con la Normativa INEN 1108	51
Tabla 33: Caudales de demanda	55
Tabla 34: Relación de volúmenes actuales y diseñados	56

Tabla 35: Puntos GPs de los elementos pertenecientes al sistema	58
Tabla 36: Puntos GPs de los elementos pertenecientes al sistema	58
Tabla 37: Puntos GPs de los elementos pertenecientes al sistema	59
Tabla 38: Volumen regulador	77

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Caudal.....	6
Ecuación 2: Porcentaje de crecimiento población	14
Ecuación 3: Consolidación actual.....	14
Ecuación 4: Población actual	15
Ecuación 5: Método de Progresión Geométrica fórmula de Malthus	15
Ecuación 6: Dotación Bruta.....	17
Ecuación 7: Caudal medio diario.....	17
Ecuación 8: Caudal Máximo Diario	17
Ecuación 9: Caudal máximo horario.....	18
Ecuación 10: Volumen de regulación	20
Ecuación 11: Caudal de incendios	21
Ecuación 12: Altura del tanque	22
Ecuación 13: Área superficial del tanque	22
Ecuación 14: Largo y ancho del tanque	23

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se evaluó la calidad y demanda de agua que distribuye la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Rosario & Aymesa (JAAPS), la cual abastece a diecisiete barrios de la parroquia de Cutuglagua, a través de dos sistemas por gravedad y bombeo, trabajo que se realizó a través de: un recorrido por los sistema con la ayuda de un operador, levantamiento de información, registro fotográfico, datos de georreferenciación, toma de muestras para análisis *in situ* y laboratorio, obtención del mapa catastral de la zona y socialización con la junta directiva.

Para el análisis de calidad de agua se realizó la toma de 31 muestras distribuidas en siete puntos para análisis *in situ*, fisicoquímicos y microbiológicos con ayuda de los siguientes equipos: turbidímetro, colorímetro, medidor portátil, multiparámetro. Cabe mencionar que los parámetros se analizaron en el laboratorio del CICAM y los resultados obtenidos se los compararon con base en a las normas vigentes de los límites máximos permisibles, tanto para agua de consumo humano de la normativa INEN 1108-2021 y de agua cruda con el Acuerdo Ministerial 097-A.

Para el análisis de la demanda de agua se realizó una encuesta para determinar el número de lotes y así obtener la población actual por tanque de distribución con una consolidación del 74%, la población futura se calculó mediante el método de progresión geométrica, ya que al tener sostenibilidad económica permite un desarrollo local, además de contar con áreas de expansión, las cuales pueden ser dotadas de servicios. Para el análisis del volumen del tanque, se realizó una encuesta al operador sobre la distribución horaria a lo largo del día y determinar el suministro y consumo del sistema, de tal forma que se puede obtener el volumen requerido para abastecer a la población.

A la junta administradora de agua se le entregó un informe técnico donde se observa si los parámetros analizados para calidad de agua se encuentran dentro o fuera de los límites máximos permisibles, así como recomendaciones para una adecuada calidad y cantidad de agua potable, también se detalla los perfiles de las tuberías tanto para el sistema a gravedad y bombeo.

PALABRAS CLAVE: JAAPS, calidad de agua, muestreo, límites máximo permisibles, demanda horaria, consumo y suministro.

ABSTRACT

In this project, the quality of water for human consumption and the demand for water distributed by the Rosario & Aymesa Potable Water and Sanitation Administration Board (JAAPS), which supplies seventeen neighborhoods of the parish of Cutuglagua, using two systems by gravity and pumping, work that was carried out through: a tour of the system with the help of an operator, information gathering, photographs, georeferential data, taking samples for on-site and laboratory analysis, obtaining of the cadastral map of the area and socialization with the board of directors.

For the water quality analysis, 31 samples were taken distributed in seven points for on site, physicochemical and microbiological analysis with the help of the following equipment: turbidimeter, colorimeter, portable meter, multiparameter. It is worth mentioning that the parameters were analyzed in the CICAM laboratory, and the results obtained were compared based on the current standards of the maximum permissible limits, both for water for human consumption of the INEN 1108-2021 standard and for raw water with the Ministerial Agreement 097-A.

For the analysis of water demand, a poll was carried out to determine the number of plots and thus obtain the current population per distribution tank with a consolidation of 74%. The future population was calculated using the geometric progression method, since having economic sustainability allows local development, in addition to having expansion areas, which can be provided with services. For the analysis of the tank volume, a poll was carried out on the operator on the hourly distribution throughout the day and to determine the supply and consumption of the system, in such a way that the required volume to supply the population can be obtained.

The water management board was given a technical report where it is observed if the parameters analyzed for water quality are within or outside the maximum permissible limits, as well as recommendations for an adequate quality and quantity of drinking water, it is also detailed the profiles of the pipes for both the gravity and pumping system.

KEYWORDS: JAAPS, water quality, sampling, maximum allowable limits, hourly demand, consumption and supply.

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un bien natural, estratégico y de uso público, que debe cumplir valores socioeconómicos, medio ambientales y políticos; por lo que, el Estado establece leyes en función de los recursos hídricos con los reglamentos públicos del agua. El cual “garantiza de manera progresiva el acceso al agua, limpia, segura y permanente para consumo humano, el suministro de agua para riego y actividades productivas a escala nacional, regional, cantonal y local” (MICSE, 2013)

Al ser el agua un derecho prioritario para el ser humano se debe garantizar la calidad de las fuentes hídricas con el fin de mitigar y remediar la contaminación, a más de, precautelar las afecciones a las poblaciones aledañas la cual es responsabilidad tanto de las autoridades como de la ciudadanía. (Isch, 2011)

En el Ecuador han existido propuestas renovables para cubrir las necesidades básicas de agua potable y saneamiento ambiental en las zonas regionales, sin embargo, las iniciativas dadas no han culminado su totalidad, por consecuencia varias ciudades, pueblos y aldeas se han visto afectadas por la escasez del agua, lo que significa que el derecho al acceso del agua ha sido violentado. (Cueva, 2018)

La Carta Magna vigente en la República del Ecuador establece que “el agua como un derecho humano fundamental y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos”. Adicionalmente especifica que la administración del agua será únicamente pública o comunitaria. Además, menciona que la dotación de agua potable y riego serán concedidos exclusivamente por personas jurídicas estatales o comunitarias; así como también “el Estado fortalecerá el funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario” (Cueva, 2018). Por ello, la Constitución de la República del Ecuador reconoce cuán importante es el acceso al líquido vital para el ser humano al igual que su dirección de gobernanza debe integrar una visión democrática y participativa. (Cueva, 2018)

1.1 Antecedentes

El sistema de abastecimiento de agua potable administrado y operado por la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Rosario & Aymesa (JAAPS), requiere mejoras en el diseño ya que el aumento poblacional exige nuevas medidas técnicas que satisfagan la demanda por el servicio, con la finalidad de abastecer agua de buena calidad a 17 barrios pertenecientes a la zona regional el Rosario, Aymesa y San Francisco.

La JAAPS cuenta con dos fuentes de captación con características subterráneas, en donde se extraen caudales para ser transportados a través de tuberías PVC con un diámetro de 6 pulgadas hacia los tanques de almacenamiento, para posteriormente ser conducidas hacia los tanques de distribución.

Por lo tanto, es de gran importancia realizar el análisis de la calidad de agua potable, la cual será suministrada para consumo humano, cumpliendo todos los parámetros establecidos en el TULSMA y la normativa INEN 1108.

1.2 Planteamiento del Problema

Uno de los problemas más importantes que presentan las ciudades en especial el sector rural es la obtención eficiente de los servicios básicos en especial el servicio de agua potable. “La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al agua salubre como aquella que presenta propiedades microbianas, químicas y físicas que cumplen con sus criterios de calidad, es decir, que por su calidad es inocua para el consumo humano” (Oxfam, 2020). Al igual que la infraestructura para captarla, conducirla y distribuirla debe cumplir con los parámetros establecidos por las normas para obtener resultados eficientes.

Según el censo realizado en el año 2019 por la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento (JAAPS) perteneciente a la parroquia de Cutuglagua, y el resultado de las actividades ejecutadas por practicantes preprofesionales de la Escuela Politécnica Nacional, se reflejó que la calidad de agua potable no presenta características organolépticas satisfactorias, al igual que un suministro de agua inadecuado según los usuarios. La JAAPS “debe contar con todos los elementos necesarios para captar, conducir, almacenar, tratar y distribuir de una manera eficiente el agua hasta los distintos sectores de servicio” (Secretaría del Agua , 2021). Por otro lado, el sistema de abastecimiento de Agua de la Junta Administradora de Agua Potable (JAAPS) opera desde hace 34 años, es decir se encuentra cerca de cumplir su periodo de diseño.

Los sistemas de agua potable deben cumplir por un lado con las normativas vigentes que garantizan la calidad del agua potable que se quiere suministrar (Secretaría del Agua , 2021): y por otro, con la cantidad suficiente, de manera que no se afecte el desarrollo social en el ser humano.

El presente trabajo se orienta a realizar un diagnóstico de la calidad de agua que se recibe en la fuente o captación y luego de su proceso de tratamiento: así como la evaluación de la capacidad de almacenamiento de los tanques distribuidores con los que cuenta la JAAPS de la parroquia de Cutuglagua.

1.3 Justificación

Se conoce que “el agua potable está presente en nuestras tareas cotidianas porque es esencial en el desarrollo de actividades como alimentación, limpieza e higiene personal” (Oxfam, 2020), por ende, la mala gestión del agua genera inconvenientes que alteran su calidad y se ve reflejada en el mal sabor, color y olor, por lo tanto, el correcto diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable trae resultados positivos en cuanto a la salud y bienestar de las personas que cuentan con este servicio. (Secretaría del Agua , 2021)

El sector rural opta por implementar y mantener un sistema convencional para tratar el agua, ya que “son sistemas diseñados y construidos a partir de criterios de ingeniería claramente definidos y tradicionalmente aceptados, con un resultado preciso para el nivel de servicio establecido por el proyecto” (Gonzalez, 2013), minimizando enfermedades hídricas que son las principales causas de muerte en las poblaciones que se favorecen de este tipo de sistemas. (Secretaría del Agua , 2021)

El sistema de abastecimiento de agua potable administrado y operado por la JAAPS debido al aumento poblacional exige nuevas medidas técnicas que satisfagan la demanda por el servicio, con la finalidad de abastecer de agua potable a 17 barrios, cerca de 11760 habitantes pertenecientes a la zona regional el Rosario, Aymesa y San Francisco.

El trabajo propuesto plantea la realización de un informe de evaluación, en el que se expondrán los problemas que presenta la Junta de Agua Potable, relacionados con la calidad y cantidad del recurso agua. Así, como una propuesta para la optimización del volumen de almacenamiento de los tanques de distribución desde los cuales se reparte el agua a los usuarios del sistema.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la calidad y cantidad de agua que se distribuye desde los tanques de abastecimiento de la Junta Administrativa de Agua Potable y Saneamiento de la Parroquia de Cutuglagua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar la calidad del agua que se capta y abastece.
- Determinar la demanda de agua requerida para el periodo de diseño.
- Proponer mejoras mediante una propuesta técnica para optimización de los tanques de abastecimiento de agua potable para el periodo de diseño.
- Socializar la propuesta de optimización del sistema de abastecimiento de agua potable con la comunidad.

1.5 Fundamentos teóricos

1.5.1 Calidad de Agua

Al dotar de agua a una población se debe considerar los criterios de calidad de agua, es decir, garantizar un agua limpia y segura contemplando el estudio de las características fisicoquímicas y biológicas de las fuentes de captación, las mismas que se analizan con base en las normativas vigentes de agua apta para consumo humano. (Chanaluisa, 2015)

1.5.2 Agua Potable

“El agua potable es aquella que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, es apta para los usuarios sin producir efectos adversos a su salud”. (Chanaluisa, 2015). La potabilización se basa principalmente en erradicar sustancias peligrosas para las personas, como virus y bacterias que pueden estar presentes en el agua. En definitiva, extermina cualquier riesgo para la salud. (Acciona, Unusual as Business, 2020) (INEN, 2003)

1.5.3 Parámetros Físicos

- **Temperatura**

La temperatura altera las características del agua, es decir, que una elevada temperatura afecta la cantidad de oxígeno que esta puede transportar, permite crecimiento de bacterias y reduce la solubilidad del cloro. Por lo cual induce a un proceso de desinfección erróneo. (Cárdenas, 2005)

- **Turbidez**

Se origina por la aglomeración de pequeñas partículas entre ellas el limo, arcilla, plancton y microorganismos suspendidos en el agua. Por consecuencia afecta el grado de transparencia del agua, al igual permite la subsistencia de los microorganismos, razón por la cual inhabilita la acción de cloro y otros desinfectantes. (Chanaluisa, 2015)

- **Color**

Indica la presencia de sustancias orgánicas y partículas coloidales que se vincula con sólidos disueltos y sólidos suspendidos. (Cárdenas, 2005)

- **Conductividad**

Es la capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica, como también, indica un valor indirecto de la cantidad de sustancias disueltas en el agua. (Rojas, 2009)

- **Sólidos totales (ST)**

Los sólidos totales son la suma de los sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales, es decir es residuo que queda después de evaporar la muestra más el residuo que se acumula en el filtro. (Carbotecnia, 2021)

1.5.4 Parámetros Químicos

- **Dureza**

Es la consecuencia de la disolución y lavado de los minerales, en particular sales de magnesio y calcio por lo que es una característica propia del agua. (Rivas, 2013) ya que nos ayuda a identificar que tan blanda o dura es el agua, los cuales nos permiten económicamente a minimizar el consumo de jabón es decir para el consumo doméstico e industrial. Otra consecuencia de la dureza es que trasmite un sabor indeseable en el agua para consumo humano. (Gomezcoello & Tacuri, 2017)

- **Potencial de Hidrogeno (pH)**

El pH permite medir el grado de acidez o de alcalinidad de una sustancia, esta información permite identificar posibles problemas de corrosión e incrustaciones en las tuberías, así como el mal sabor del agua. (Osorio, 2016)

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO)**

Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para estabilizar la materia orgánica que se presentan en una muestra de agua en el cual se da un proceso de oxidación aerobia. (Chanaluisa, 2015)

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno que se necesita para degradar la materia orgánica e inorgánica que se presenta en una muestra de agua residual, mediante un proceso químico. (Gomezcoello & Tacuri, 2017)

- **Hierro**

Las concentraciones de hierro en aguas superficiales, al estar en contacto directo con el aire llegan a generar coloraciones turbias e inaceptables provocadas por el oxígeno. (Chanaluisa, 2015)

- **Alcalinidad**

La alcalinidad es un parámetro que indica la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos, para la determinación de la alcalinidad de manera práctica se lo hace con la ayuda de indicadores en un proceso de titulación. (Gomezcoello & Tacuri, 2017)

- **Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto se establece como la concentración de oxígeno que puede existir en el agua a una temperatura dada, la insuficiencia de este parámetro en el agua potable puede causar afectaciones a la salud. (Cárdenas, 2005)

1.5.5 Parámetros Biológicos

- **Coliformes Totales**

Se los determina antes de un proceso de desinfección básicamente en la fuente de captación, la presencia de coliformes es un indicador de bacterias dañinas para el ser humano.

- **Coliformes Fecales**

Se los determina después de un proceso de desinfección, básicamente en los tanques de distribución y domicilios, ya que pertenecen a subgrupo de bacterias.

1.5.6 Normativa legal vigente

Es de gran importancia realizar el análisis de calidad de agua potable el cual será suministrada para consumo humano. El agua cruda debe ser analizada bajo el acuerdo

ministerial 097-A Reforma TULSMA en las fuentes de captación, mientras que el agua que se distribuye para consumo humano será analizada bajo la norma INEN 1108 en los tanques de distribución, domicilios al inicio y final de la red de distribución.

1.5.7 Sistema de Abastecimiento de agua

El sistema de abastecimiento de agua potable está compuesto por un conjunto de estructuras y obras hidráulicas con el fin de garantizar el suministro de agua a la población, ya que un diseño adecuado conlleva a resultados positivos tales como: un agua limpia y con una calidad óptima para ser consumida por el ser humano. (Espinoza, Pérez, & Gonzáles, 2006)

1.5.8 Partes con la que consta un sistema de Abastecimiento de Agua Potable

- **Captación**

Son estructuras necesarias para adquirir agua con el fin de ser tratadas y distribuidas a la localidad, por lo general se extrae de fuentes subterráneas (pozos o acuíferos) o superficiales (lagos, ríos, etc.) según las variables de disponibilidad. (Espinoza, Pérez, & Gonzáles, 2006)

- **Conducción**

Es la parte del sistema que transporta el agua desde la fuente de captación ya sea por medio de gravedad o bombeo hasta un tanque de regulación o unidades de tratamiento. (Aguirre, 2015)

- **Tratamiento**

Es un conjunto de estructuras por el cual se somete al agua a distintos procesos, con el propósito de hacerla idónea para el consumo humano, ya que permite la erradicación de bacterias y sustancias venenosas. A su vez mejora las características organolépticas. (Chanaluisa, 2015)

- **Estación de Bombeo**

Es un conjunto de estructuras hidráulicas que tiene como principal función elevar el agua hasta una cota mayor. (Espinoza, Pérez, & Gonzáles, 2006)

- **Almacenamiento**

Son depósitos destinados a conservar agua suficiente para compensar las variaciones de consumo diario, mantener las presiones en la red de distribución y remediar situaciones de emergencia, como los incendios. A su vez permite dar un tratamiento básico al agua. (Espinoza, Pérez, & Gonzáles, 2006) (Aguirre, 2015)

- **Red de distribución**

Es una red por tubería, que transporta el agua desde el tanque de almacenamiento hasta las conexiones domiciliarias. (USAID, 2016)

1.5.9 Caudal de Diseño

- **Población de Diseño**

Es la estimación de habitantes a corto y mediano plazo basados en datos de censos u otra fuente que muestre el aumento poblacional. La población futura se obtiene por el método lineal, geométrico, logarítmico y geográfico (Chanaluiza, 2015)

- **Tasa de crecimiento**

Es un indicador fundamental que permite medir el aumento o disminución de la población de un territorio para un período determinado. (Chanaluiza, 2015)

- **Dotación Neta**

Corresponde a la mínima cantidad de agua que requiere una población para satisfacer sus necesidades básicas de un área determinada. Se incluyen los consumos domésticos, comerciales, industriales y públicos. (EPMAPS, 2011)

- **Dotación Bruta**

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) establece que la dotación bruta es la cantidad máxima que se requiere para cubrir las necesidades básicas de la localidad, se debe tener en cuenta las pérdidas que suelen darse en el sistema. (EPMAPS, 2011)

- **Caudal Medio Diario (Qmd)**

Es el caudal que se estima para la población futura considerando la dotación bruta. Retribuye al promedio de los consumos diarios en un período de un año. (EPMAPS, 2011)

- **Caudal Máximo Diario**

Es el consumo máximo de agua que se da en 24 horas observado en un periodo de un año. (EPMAPS, 2011)

- **Caudal Máximo Horario**

Es el consumo máximo de agua que se da en una hora observado en un periodo de un año. (EPMAPS, 2011)

- **Caudal de Captación**

Se define como el Caudal Máximo Diario que una estructura hidráulica puede admitir más el porcentaje que se obtiene en las Normativas. (INEN, 2003)

- **Caudal de tratamiento**

“Es el caudal máximo diario más el 10%, esto nos permite establecer los componentes destinados para el tratamiento de ser necesario” (Jurado, 2016)

- **Método volumétrico**

Consiste en captar un caudal en un recipiente impermeable de volumen conocido y con la ayuda de un cronómetro registrar el tiempo de llenado, obteniendo así el caudal. (Aguirre, 2015)

- **Capacidad del tanque distribuidor**

El volumen de almacenamiento debe calcularse en base a datos de consumo de la población y su distribución horaria, información que depende de las características de la población en la que se identifica puntos críticos es decir de mayor y menor consumo. (Cualla, 2003)

- **Curva integral de consumo**

A partir de la curva de distribución horaria se define la curva integral de consumo, donde se toma en cuenta los valores del consumo acumulado por un periodo de 24 horas. (Cualla, 2003)

2 METODOLOGÍA.

2.1 Plan de muestreo

Se realizó el muestreo de agua superficial y subterránea de la JAAPS en los puntos de: captación, tanque de almacenamiento, tanque de distribución, domicilios al inicio y al final de la red de distribución. Se tomaron 31 muestras repartidas en 7 puntos del sistema de abastecimiento para análisis de parámetros *in situ*, fisicoquímicos y microbiológicos. Para la toma de muestras se tomaron en cuenta las sugerencias que establecen las normas INEN de tal manera que los resultados sean confiables. Los parámetros a considerar se determinaron en función del tipo de captaciones presentes en las zonas rurales, en este caso las captaciones poseen características de origen subterráneo.

2.1.1 Planteamiento de puntos de control

El levantamiento se realizó con un clima templado poco soleado, con la ayuda de un GPS y libreta de campo. El recorrido se efectuó junto con el Sr. Rosendo Cabezas operador de la JAAPS. El levantamiento de puntos GPS comprendió desde las fuentes de captación hasta los tanques de distribución, esta información permitió identificar los elementos del sistema, quebradas, zanjas, flujos de agua, así como también establecer los puntos de control de calidad de agua, la trayectoria de las líneas de conducción, y las cotas de los tanques de distribución que ayudaron a identificar la planimetría y los perfiles del sistema.

Una vez terminado el recorrido se determinaron los parámetros a analizar, con la finalidad de visualizar y tener conocimiento de las variaciones que presentan cada uno de los parámetros durante el proceso de abastecimiento de agua, los puntos establecidos fueron: fuentes de captación, tanques o pozos de almacenamiento, tanques de distribución, domicilios al inicio y final de la red de distribución por tanque.

El sistema de abastecimiento de la JAAPS correspondiente a un sistema por bombeo que inicia en el tanque de captación. Este tanque presenta una profundidad de 1,80 m y 9 m de largo. Posteriormente el agua es conducida hacia el tanque de succión, de 4 m de profundidad, 4 m de largo y ancho ubicado en el cuarto de bombeo, compuesto por tres bombas (dos para el tanque el Tambo 3 y una para el tanque el Rosario). El agua es bombeada hacia los tanques de distribución que presentan una forma circular: el tanque el Tambo 3 con un diámetro de 5 m y una altura de 4 m y el tanque el Rosario con un diámetro y altura de 5 m. El sistema a gravedad inicia desde la vertiente Shushuri hacia los pozos de captación que cuentan con 1.20 m de diámetro y una altura de 2 m aproximadamente, y desde allí hacia el tanque distribuidor con diámetro y profundidad de 5 m. Véase la figura 4



Figura 1: Toma de puntos de control

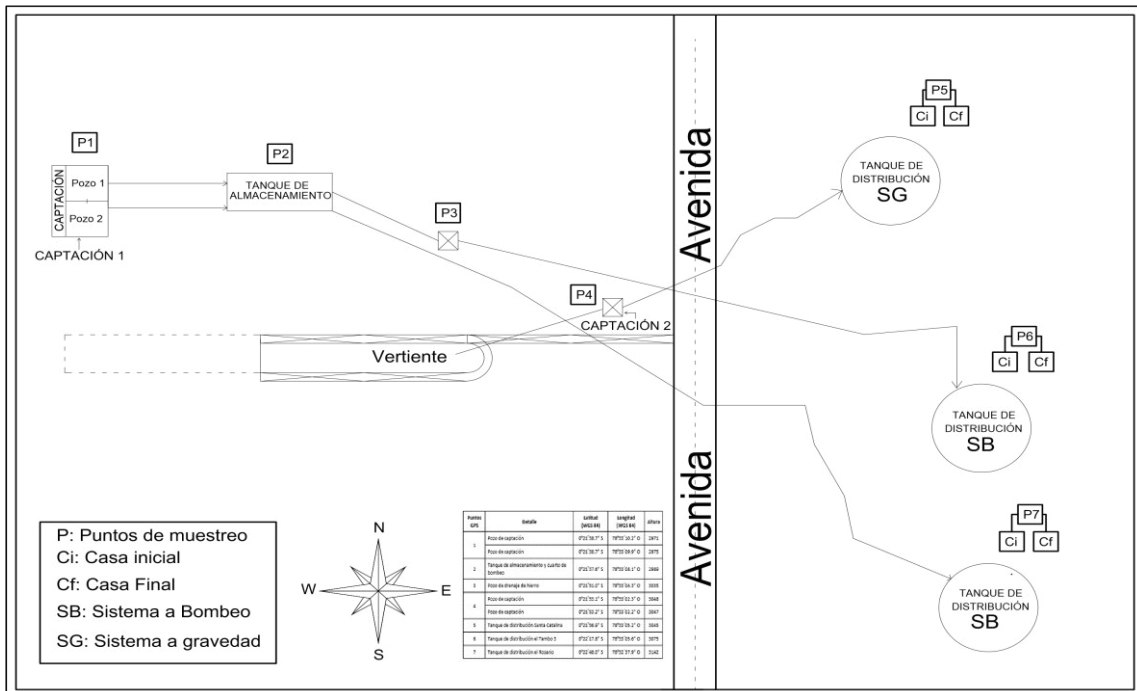


Figura 2: Esquema del sistema de abastecimiento de JAAPS

Tabla 1: Parámetros de calidad de agua analizados en cada punto

PUNTOS	PH	Oxígeno Disuelto	Temperatura	Color aparente	Color real	Sólidos en Suspensión	Cloro residual	Dureza	Alcalinidad	DQO	DBO ₅	Hierro	Manganeso	Coliformes fecales	Coliformes totales	Conductividad	Turbidez
P1	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
P2							✓										
P3												✓					
P4	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
P5		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			
P6		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			
P7		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			
Ci				✓			✓							✓			
Cf				✓			✓							✓			

Nota

- En el punto 2 se midió únicamente el cloro libre residual ya que se hace una desinfección cada 6 meses.
- En el punto 3 se midió solo la presencia de hierro ya que es un punto de control en el cual el técnico drena el agua cuyo contenido de hierro se sedimenta, cabe mencionar que es un pozo en el cual se realiza esta actividad y no es de grandes dimensiones.
- En el punto 4 se midieron todos los parámetros ya que es el pozo de captación superficial, del cual se alimenta al tanque a gravedad, este pozo no es de grandes dimensiones, cabe mencionar que el análisis no se realizó en la vertiente ya que el agua es conducida por una tubería con flujo libre hacia el punto 4 directamente, en donde se llevó a cabo la toma de muestra para el tanque de gravedad.
- Desde los puntos 2 y 4 hacia los tanques de distribución no se realiza ningún tipo de tratamiento, el proceso de desinfección solo se lleva a cabo en los tanques de distribución

2.1.2 Trabajo en Campo

- **Primera visita:**

La toma de muestra para análisis *in situ* se realizó en las dos fuentes de captación, tanque de almacenamiento y tanques de distribución. Las muestras definitivas se tomaron directamente de los tanques con la ayuda de un balde, el cual se curó 3 veces con el agua del punto a muestrear previo a la medición de los parámetros: pH, Temperatura, OD, turbidez, Conductividad, Cl libre residual y Cl total.

La segunda toma de muestra se realizó para los análisis en laboratorio, de la misma manera las tomas de muestras se obtuvieron de los tanques de captación, tanque de almacenamiento, tanque de control de hierro, tanques de distribución y en domicilios al inicio y al final de la red de distribución (2 casas por tanque). Posteriormente se colocó aproximadamente un litro de muestra, con la ayuda de una jarra aforada, dentro de las botellas ámbar las mismas que se etiquetaron y colocaron dentro de una hielera para mantener una temperatura de aproximadamente 4° C y finalmente se transportaron las muestras al día siguiente hacia los laboratorios de la ESFOT para análisis de DQO con ácido sulfúrico como preservante, DBO, ST, SD, hierro, Manganeso y color aparente. Se utilizó guantes de nitrilo, agua destilada y papel toalla para el llenado de los envases.

- **Segunda Visita:**

Se realizó la toma de muestras para análisis de Alcalinidad, Dureza Total y Dureza cálcica en las fuentes de captación y tanques de distribución. La toma de muestras se hizo directamente en los tanques, posteriormente se colocó aproximadamente un litro de muestra con la ayuda de una jarra aforada dentro de las botellas ámbar las mismas que se etiquetaron y colocaron dentro de una hielera para mantener una temperatura de aproximadamente 4° C y finalmente ser trasladadas inmediatamente al Laboratorio CICAM.

- **Tercera visita:**

Se efectuó la toma de muestras para análisis de Coliformes Totales y fecales en las fuentes de captación, tanques de distribución, casas iniciales y finales a la red de distribución. Se realizó la toma de muestras directamente de los tanques con la ayuda de un balde para posteriormente llenar aproximadamente las tres cuartas partes de los frascos estériles, los mismos que se etiquetaron y colocaron dentro de una hielera para mantener una temperatura de 4° C y finalmente ser llevados al Laboratorio del CICAM.

En todas las visitas fue de suma importancia evitar introducir recipientes contaminados, es decir envases utilizados para construcción como pintura o cemento, de igual manera todos

los equipos empleados para la medición de parámetros *in situ* (multiparámetro, cloro residual) fueron revisados, y lavados con agua destilada antes y después de ser utilizados.

Nota: Se realizó tres visitas debido a la emergencia Sanitaria que está pasando el país y se acataron los protocolos de seguridad propuestas por las máximas autoridades del país y la JAAPS.

- **Personal y Equipo**

El grupo se conformó por: Ing. Patricia Panchi, docente de la Escuela Politécnica Nacional, Sr. Rosendo Cabezas operador de la junta de agua potable (JAAPS), tesistas y compañeros encargados de los equipos para su correcto uso y medición.

2.1.3 Equipos y materiales de muestreo

Entre los equipos de muestreo se encuentran:

- Equipo Multiparámetro (pH, Conductividad, Temperatura, Turbidez, OD) y Equipo Colorímetro HACH DR 300 (Cloro).
- Botellas y embaces estériles para el traslado de las muestras de manera hermética, se utilizó ácido sulfúrico como preservante para el análisis de DQO.
- Equipo de protección personal e higiene (guantes, gafas, toallas de cocina etc.).

2.1.4 Etiquetas de muestras y libretas de campo

Etiquetas de muestras

La identificación de las botellas se realizó antes de la toma de la muestra, cada muestra se rotuló con los siguientes datos:

Tabla 2: Etiqueta de muestras

Código	
Referencia	
Fecha y hora	
Análisis que se realizarán	
Responsable	
Preservante	

Libretas de Campo

Para registrar los datos se tomaron como referencia los “check list” que se presentan en el anexo 1, se llenó de acuerdo con los datos obtenidos en campo.

2.2 Aforo de Caudal

Para el aforo del caudal del sistema a bombeo se utilizó el método volumétrico en base a la ecuación 1, el cual se llevó a cabo en el tanque de almacenamiento (cuarto de bombeo) con la ayuda de un balde y un cronómetro, se lo realizó por tres veces consecutivas en la tubería

de llegada del primer pozo de captación. Del segundo pozo de captación no se pudo utilizar este método ya que es de difícil acceso por lo que se duplicó el caudal obtenido ya que presentan las mismas dimensiones y características de recorrido. Para el aforo del caudal en el sistema a gravedad se utilizó el medidor de flujo ultrasónico desde la captación al tanque Santa Catalina.

$$Q = \frac{V}{t} (l/s)$$

Ecuación 1: Caudal

Fuente: (Aguirre, 2015)

Donde:

Q = Caudal (l/s)

V = Volumen (l)

t = Tiempo (s)

2.3 Caracterización de agua

2.3.1 Medición de parámetros in-situ

Tabla 3: Parámetros analizados in- situ

Parámetro	Equipo
pH	Multiparámetro
Conductividad	Multiparámetro
Oxígeno Disuelto	Multiparámetro
Temperatura	Multiparámetro
Turbidez	Turbidímetro
Cloro residual y total	Colorímetro HACH DR 300

Con la ayuda del equipo medidor portátil multiparámetro, se llevó a cabo la medición de los parámetros: pH, conductividad, temperatura, OD. Se empezó en la fuente de captación en donde el equipo antes de su uso, se enjuagó el sensor con agua destilada y se lo secó. Para la extracción de la muestra se ayudó de un balde sujeto a un cabo, el recipiente se lo curó tres veces para evitar que algún agente externo al cuerpo de agua pudiese alterar sus características originales, logrando así obtener una muestra representativa. Se procedió a colocar el sensor dentro de la muestra esperando que se estabilice el equipo y registrar los valores de: pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto, para finalmente sacar el sensor y volverlo a enjuagar con agua destilada y secarlo con toallas de cocina. Este proceso se realizó en los tanques de captación y en los tanques de distribución de agua.



Figura 3: Medidor portátil multiparámetro

La determinación de cloro libre residual se realizó en el tanque de almacenamiento, en los tanques de distribución, casa inicial y final por tanque. El proceso para determinar el cloro libre residual en los domicilios consistió en dejar fluir el agua por un minuto, terminado este tiempo se tomaron 10 ml de muestra en una celda de vidrio y posteriormente se agregó el reactivo de cloro libre residual para su medición, los datos obtenidos se registraron en la libreta de campo.



Figura 4: Medición con el Colorímetro Hach y Turbidímetro

2.3.2 Toma de muestras para análisis físico-químico y microbiológico

- **Recolección**

Se recolectaron las muestras en los puntos más relevantes del sistema de abastecimiento de la JAAPS ya establecidos, la toma de muestra que se llevó a cabo fue simple por lo que se realizó en un tiempo y un lugar determinado para análisis individuales de calidad.



Figura 5: Toma de muestras

- **Preservación**

La preservación de la muestra se realizó para conservar sus características una vez extraída de su punto de origen, manteniendo una muestra representativa y obtener resultados verídicos.

- Las muestras se las recolectó en botellas ámbar de 1 litro, con la finalidad de que los rayos UV no alteren sus características, posteriormente se etiquetó cada muestra correctamente, por otra parte, se recolectaron muestras en frascos estériles para análisis de coliformes.
- Para las muestras de análisis de DQO se colocaron 3 gotas de ácido sulfúrico por litro de muestra de tal manera que se dé un retardo a los cambios químicos que las muestras sufren una vez que se recolecta del cuerpo de agua en el que se encuentra.
- Todas las muestras que se llevaron a cabo para análisis físico-químico y microbiológico fueron almacenadas en una hielera con suficiente hielo manteniendo una temperatura de 4° C hasta ser trasladadas al laboratorio.



Figura 6: Preservación de muestras

- **Transporte y entrega al laboratorio**

Las muestras fueron transportadas en un vehículo personal en menos de 24 horas hacia el laboratorio para sus respectivos análisis, cumpliendo todos los requisitos de conservación de la muestra para que no exista algún tipo de contaminación cruzada.

2.3.3 Análisis de muestras en el laboratorio

Los análisis que se realizaron en el laboratorio del CICAM fueron: Sólidos suspendidos totales, Sólidos totales, DBO₅, alcalinidad, coliformes, dureza total y cálcica. Por otra parte, los análisis que se llevaron a cabo en el laboratorio de la “ESFOT” por parte de los tesisistas fueron: Hierro, Manganeseo, color aparente y DQO.

- Antes de realizar los ensayos se dejó a temperatura ambiente todas las muestras una vez retiradas las bolsas de hielo.
- Posteriormente se agitaron las botellas para homogenizar las muestras y realizar los ensayos de manera correcta.
- Finalmente se prepararon todos los reactivos y soluciones que se necesitan para realizar los respectivos análisis.

Tabla 4: Parámetros Analizados

Parámetro	Recipiente	Acondicionamiento	Preservación	Método
Parámetros Analizados en el laboratorio del CICAM				
SST	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	24 horas	Gravimetría
ST	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	24 horas	Gravimetría
DBO ₅	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	24 horas	Barométrico o volumetría
Alcalinidad	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	24 horas	Volumetría
Dureza total	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	1 mes	Volumetría
Dureza cálcica	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	1 mes	Volumetría
Coliformes fecales	Botella ambar de 1 litro	Análisis inmediato, refrigerar (4 – 5° C)	24 horas	Fermentación en tubos múltiples
Parámetros Analizados en el laboratorio de a ESFOT				
Color Aparente	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	5 días	Espectrofotometría
DQO	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C) y agregar H ₂ SO ₄	1 mes	Espectrofotometría
Hierro	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	1 mes	Espectrofotometría
Manganeseo	Botella ambar de 1 litro	Refrigeración (4–5°C)	1 mes	Espectrofotometría

2.3.4 Parámetros Físicos

- **Color aparente**

La medición se realizó con espectrofotometría HACH con una onda de longitud de 455 nm. Se colocó 10 ml de agua destilada en una celda de vidrio de 10 ml para ser utilizada como blanco, posteriormente se encendió el espectrofotómetro con el blanco ya preparado, luego de

ello se agregó 10 ml de la muestra sin filtrar en otra celda de vidrio de 10 ml para medir y anotar los resultados en unidades de Pt Co (Platino Cobalto).



Figura 7: Proceso y determinación del color aparente

- **Suspendidos Totales y Sólidos Totales**

El análisis de este parámetro se realizó en el laboratorio del CICAM aplicando el método gravimétrico, la determinación de este parámetro es el mismo que se aplicó para el de los sólidos disueltos totales. A continuación, se describe el proceso aplicado.

En primer lugar, se preparó el filtro de fibra de vidrio colocándolo en el porta-filtros, por consiguiente, se colocó el filtro en la mufla a una temperatura de 103^o C por 12 horas, trascurrido el tiempo se extrajo el filtro para dejarlo enfriar en un desecador, luego de ello se midió el peso del filtro en la balanza y se registró su medición. A continuación, se preparó la muestra en el vaso de precipitación para filtrar la muestra en el matraz Kitasato, después se colocó nuevamente los filtros en las capsulas para llevarlas a la estufa a una temperatura de 103^o C por un lapso de 4 a 6 horas. Posteriormente se colocó los crisoles en el desecador por 30 minutos para ser pesados en la balanza y anotar el resultado.

Para la determinación de los sólidos totales se aplicó un procedimiento similar al mencionado anteriormente.

- **Sólidos Disueltos Totales**

Para cuantificar este parámetro se procedió a realizar un cálculo ya que los sólidos totales son la suma de los sólidos disueltos totales y solidos suspendidos totales, y al contar con los datos necesarios se determinó su valor mediante una diferencia de suma y resta.

2.3.5 Parámetros Químicos

- **Demanda Química de Oxígeno**

Para determinar este parámetro se eligió dos viales de rango bajo (0 – 150 mg) ya que el tipo de muestra a analizar es de agua cruda, de igual manera se preparó el digestor a 150 °C

previamente, se procedió a preparar el blanco en el primer vial con un volumen de 2 ml de agua destilada y en el segundo vial se depositó 2 ml de la muestra homogenizada para luego ser llevadas al digesor, previamente calentado por dos horas. Transcurrido el tiempo se dejaron enfriar los viales a temperatura ambiente en una rejilla, para realizar la medición se encero el espectrofotómetro con el blanco ya preparado, a continuación, se colocó el vial con la muestra para medir y anotar los resultados en mg/l.



Figura 8: Digestión de viales de rango bajo para DQO

- **Demanda Biológica de Oxígeno**

Al igual que los sólidos este parámetro lo llevo a en el CICAM por el método respirométrico, que consistió en colocar 3 gotas del reactivo nitrificador inhibidor en la muestra de agua ubicada en la botella ámbar con la barrilla de agitación, posteriormente se colocó dos pastillas de hidróxido de sodio en el capuchón y se introdujo en la botella ámbar para su posterior sellado con el Oxitop, luego de ello se enceró y se etiquetó cada botella para colocarlas en la incubadora por 5 días, terminado el tiempo se registró los valores obtenidos.

2.3.6 Metales Pesados

- **Hierro**

Para el desarrollo de este parámetro se utilizó dos celdas de vidrio de 10 ml, en una de las celdas se depositaron 10 ml de la muestra sin el reactivo para utilizarlo como blanco, a continuación, se agregó un sobre de polvo del reactivo de hierro FerroVer® a otra celda con 10 ml de muestra sin filtrar, se tapó y agitó durante 3 minutos para que esta se mezcle. Para realizar la lectura se enceró el espectrofotómetro con el blanco ya preparado, posteriormente, se colocó la celda con la muestra para medir y anotar los resultados en mg/l Fe.



Figura 9: Determinación de Hierro

- **Manganeso**

Para realizar la medición de este parámetro se eligió el programa 290 Manganeso LR PAN. Se utilizaron dos celdas de vidrio de 10 ml, en la primera celda se depositó 10 ml de agua destilada para utilizarlo como blanco y en la segunda celda se agregó 10 ml de muestra, a continuación se colocó el reactivo de Ascorbic Acid Powder Pilow en ambas celdas, se tapó y agitó las celdas para disolver el reactivo, luego de ello se añadieron 12 gotas del reactivo Alkaline Cynade Reagent Solution a cada celda, se tapó y agitó para mezclar la solución, para finalizar se agregó 12 gotas de solución indicadora PAN. 0,1% a cada celda, de igual manera se tapó y agitó las celdas esperando así un tiempo de reacción de 2 minutos, terminado el tiempo se limpiaron las celdas y se colocaron en el portaceldas del espectrofotómetro. Para la medición se introdujo primero el blanco para encerrar el equipo, posteriormente se colocó la celda con la muestra para medir y anotar los resultados en mg/l Mn.



Figura 10: Determinación de Manganeso

Fuente: (Chiquito & Chimbo,2021)

- **Dureza Cálrica**

La determinación de este parámetro lo llevó a cabo el laboratorio del CICAM por el método de volumetría, el cual consistió básicamente en tomar la solución de ácido etilendiaminotetraacético "EDTA" como agente titulador para la muestra de agua, la muestra

de agua se acondicionó a un pH alcalino con hidróxido de sodio de concentración estándar, posteriormente se añadió el indicador Purpato de amonio mostrando así un cambio de color a rosa, por consiguiente se realizó la titulación agregando gotas de EDTA donde el punto de titulación se presentó cuando se evidenció un color púrpura, todos los datos adquiridos en mg/l se registraron.

- **Dureza total**

De la misma forma este parámetro lo realizó el laboratorio del CICAM utilizando el método volumétrico por lo que consistió esencialmente en filtrar la muestra añadiendo el reactivo buffer con pH 10, posteriormente se añadió el cianuro de potasio para eliminar distorsiones, a continuación, se realizó la titulación añadiendo el indicador negro de eriocromo T y como agente titulador EDTA referencial. El punto de titulación se presentó cuando existió un cambio de color violeta a color azul, los datos se obtienen en mg/l.

- **Alcalinidad**

El método aplicado para determinar este parámetro fue el volumétrico donde se agregaron 1 o 2 gotas del reactivo Heliantina evidenciando un color amarillento. En el cual se tituló con el reactivo Ac. Clorhídrico presentado un cambio de color rosa-anaranjado como punto de titulación, cabe mencionar que los datos adquiridos en mg/l lo realizó el laboratorio del CICAM.

2.3.7 Parámetros Biológicos

- **Coliformes totales y fecales**

El análisis lo realizó el laboratorio del CICAM aplicando el método de fermentación en tubos múltiples, Se llevaron a cabo dos ensayos de coliformes totales que comprenden las captaciones y nueve ensayos de coliformes fecales que hacen referencia a los tanques de distribución, domicilios iniciales y finales de cada tanque. Básicamente consistió en dos fases, confirmativa y presuntiva de modo que se utilizó el cultivo de caldo bilis de color verde y no se realizaron diluciones ya que las muestras eran de agua natural. El volumen que se introdujo a los tubos Durham mediante la micropipeta fue de 1 ml, para cada muestra se cambió las puntas de la micropipeta y posteriormente se introdujo en la incubadora, todos los tubos que mostraron turbidez fueron positivos y los que no presentaron cambios eran negativos. Los datos adquiridos fueron interpretados por el laboratorio del CICAM.

2.4 Encuesta sobre Catastro De Medidores

La encuesta permitió identificar y localizar el número de medidores actualmente utilizados en la localidad, así como obtener información sobre los lotes consolidados en el sector para realizar el análisis de la población. Todo este proceso se realizó con un número de 9 pasantes

de la Escuela Politécnica Nacional de la Carrera de Tecnología en Agua y Saneamiento Ambiental en un tiempo aproximado de cuatro meses entre diciembre del 2019 y marzo del 2020 con el consentimiento del Sr. Mesias Untuña expresidente de la JAAPS. A continuación, se detalla el proceso del censo y catastro que se realizó.

- En primer lugar, se solicitaron planos de urbanización por barrio, para así ubicar los domicilios y lotes ya censados a los cuales abastece la JAAPS.
- Después los pasantes se dividieron en grupos para dirigirse a una manzana y realizar el censo de una manera eficaz y eficiente.
- Una vez obtenida la información de cada hogar o lote vacío del sector, se guardaron en una plataforma digital donde se encuentran organizados actualmente.

2.4.1 Procesamiento de datos

Tabulando los datos que se obtuvieron en el censo realizado a los 17 barrios que abastece la JAAPS se consiguió información que permitió determinar el porcentaje de crecimiento poblacional y la consolidación de lotes actual, dadas por las siguientes fórmulas.

$$\%Cp = \frac{L \times \%Ap}{Lc}$$

Ecuación 2: Porcentaje de crecimiento población

Donde:

L = Total de lotes

%Ap.= Aumento poblacional (%)

Lc = Lotes consolidados

$$C. a = L \times \%Cp$$

Ecuación 3: Consolidación actual

Donde:

L = Total de lotes

%Cp. = Porcentaje de crecimiento poblacional (%)

2.5 Análisis Poblacional

2.5.1 Población Actual

En el censo se obtuvieron datos que dieron seguridad del número de Lotes consolidados y no consolidados actualmente, de tal manera que se cuantificó 3500 lotes con un número de habitantes que oscila entre 5 y 6 miembros por lote. De la misma manera se obtuvo información por parte de la JAAPS de la población del año 2014 realizada por la SENAGUA,

en la que consta que en el año 2014 la junta de agua presentó 3 360 lotes con el 70 % de consolidación, que corresponde a 2352 lotes habitados con un número de 5 miembros por lote, dando como resultado 11760 habitantes. Por lo cual se determinó el porcentaje de crecimiento poblacional del año 2020 con base en el porcentaje de consolidación realizado en el año 2014 por parte de la SENAGUA, este proceso permitió establecer los lotes consolidados y no consolidados para especificar el número de habitantes actuales en base a la ecuación 2 y 3.

2.5.2 Cálculo de la población actual por tanque

Para realizar el cálculo de la población actual se consideraron algunos aspectos como: el número de lotes consolidados, ya que existe un número considerable de lotes vacíos, lotes en construcción y lotes que solo son utilizados para cultivo. El número de habitantes varían entre 5 – 6 miembros por lote, por lo cual se asumió 6 miembros por lote ya que en su mayoría era la constante más repetida y en algunos lotes los miembros eran 7, por lo que se tomó un promedio, la fórmula que se utilizó es la siguiente:

$$P_A = \#L * \frac{\#hab}{L}$$

Ecuación 4: Población actual

Donde:

#L = número de lotes

#hab= número de habitantes (hab)

L = lote

2.5.3 Población de Diseño

Para establecer la población futura se consideró 6 miembros por lote, dado a los resultados del censo con un periodo de diseño de 25 años según la normativa del EMAAP 01-AP- 2008: La fórmula que se implementó es la siguiente:

$$P_F = P_{uc}(1 + r)^{tf-tuc}$$

Ecuación 5: Método de Progresión Geométrica fórmula de Malthus

Fuente: (Betancourt, 2014)

Donde:

P_F = Población futura (hab)

P_{uc} = Población actual (hab)

r = Tasa de crecimiento (%)

T_f = año final

T_{uc} = año del último censo.

Para el cálculo de población se utilizó la tasa de crecientito dada la siguiente tabla:

Tabla 5: Tasas de crecimiento poblacional

Región Geográfica	R (%)
Sierra	1
Costa, Oriente y Galápagos	1.5

Para el tanque el Rosario, Tambo 3 y Santa Catalina se realizó un análisis y cálculo del volumen para establecer el consumo neto de la población.

2.6 Cálculo de la demanda de agua requerida

- **Asignación Del Nivel De Complejidad**

Una vez determinado la población de diseño se estableció que nivel presenta la zona de estudio como lo indica la tabla 9, este análisis permitió identificar el rango de habitantes de la JAAPS posicionándose en un nivel medio.

Tabla 6: Asignación del Nivel de complejidad

Nivel	Población de Diseño
Bajo	<2500
Medio	2501 a 12500
Medio alto	12501 a 60000
Alto	>60000

Fuente: (RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000)

- **Dotación Neta**

Al no contar con información o registros de consumos de la JAAPS la estimación de la dotación neta se tomó en base al número de habitantes, es decir, la JAAPS presenta un nivel de complejidad medio como se detalla en la tabla 8, y por ende, se asume una dotación para un clima templado como se muestra en la tabla 9.

Tabla 7: Dotaciones Recomendadas

Población	Clima	Dotación (l/hab. día)
Hasta 5 000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5 000 a 50 000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Mas de 50 000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Fuente: (INEN, 2003)

- **Dotación Bruta**

Para el cálculo de la dotación bruta actual y futura se utilizó la dotación neta seleccionada según su nivel de complejidad, en este análisis se tomó el 25% de pérdidas en el sistema establecido por EPMAPS, La fórmula que se implementó es la siguiente:

$$D_{Bruta} = \frac{D_{Neta}}{1 - \% P}$$

Ecuación 6: Dotación Bruta

Fuente: (EPMAPS, 2011)

Donde:

D_{Bruta} = Dotación bruta (l/hab.d)

D_{Neta} = Dotación neta (l/hab.d)

% P = Porcentaje de pérdidas (%)

- **Caudal Medio Diario (Qmd)**

Una vez concluido el cálculo de la dotación para la población de diseño se precedió a determinar el caudal medio diario, aplicando la siguiente ecuación

$$Q_{md} = \frac{D_{Bruta} * P}{86400} (l/s)$$

Ecuación 7: Caudal medio diario

Fuente: (EPMAPS, 2011)

Donde:

Q_{md} = Caudal medio diario (l/s)

D_{Bruta} = Dotación bruta (l/hab.d)

P = Población futura (hab)

- **Caudal Máximo Diario (QMD)**

Para obtener el caudal máximo diario se utilizó el coeficiente k_1 establecido por las normas como se muestra en la tabla 10, y para el cálculo se utilizó la ecuación 9.

$$Q_{MD} = K_1 * Q_{md} (l/s)$$

Ecuación 8: Caudal Máximo Diario

Fuente: (EPMAPS, 2011)

Donde:

Q_{MD} = Caudal máximo diario (l/s)

Q_{md} = Caudal medio diario (l/s)

k_1 = Coeficiente de consumo máximo diario

Tabla 8: Coeficiente de consumo máximo diario

EPMAPS-INEN	K ₁
Parroquias rurales	1.3 - 1,5

Fuente: (INEN, 2003)

- **Caudal Máximo Horario**

Para la determinación del caudal máximo horario se utilizó el coeficiente k₂ establecido por las normas como se muestra en la tabla 11, y se aplicó la siguiente fórmula:

$$Q_{MH} = K_2 * Q_{md} (l/s)$$

Ecuación 9: Caudal máximo horario

Fuente: (EPMAPS, 2011)

Donde:

Q_{MH} = Caudal máximo horario (l/s)

Q_{md} = Caudal medio diario (l/s)

k₂ = Coeficiente de consumo máximo horario.

Tabla 9: Coeficiente de consumo máximo horario

EPMAPS-INEN	K ₂
Parroquias rurales	2.0 – 2.3

Fuente: (INEN, 2003)

- **Caudal de captación**

De acuerdo con la norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), el caudal de Captación viene dada por la información obtenida en la siguiente tabla:

Tabla 10: Caudales de diseño para elementos de un sistema de agua potable

Infraestructuras	Caudales
Captación de aguas superficiales	Q _{MD} +20%
Captación de aguas subterráneas	Q _{MD} +5%
Conducción de aguas superficiales	Q _{MD} +10%
Conducción de aguas subterráneas	Q _{MD} +5%
Red de distribución	Q _{MH}
Planta de tratamiento	Q _{MD} +10%

Fuente: (INEN, 2003)

- **Caudal de Tratamiento**

Se determinó el caudal de tratamiento en base a la tabla 13.

2.7 Capacidad del tanque distribuidor

Para determinar el volumen del tanque fue necesario conseguir datos de consumo de la población y su distribución horaria, para nuestro caso de estudio este análisis se llevó a cabo

con los operadores de cada sistema que tiene JAAPS, la distribución horaria dependió de la experiencia de los operadores ya que conocían las actividades de la zona identificando así las horas de mayor y menor demanda como se muestra en la tabla 22.

- **Tanque Santa Catalina “Sistema a Gravedad”**

Se realizó la visita técnica con el operador Luis Cuzco hacia un punto de monitoreo ubicado en la red de distribución el cual consta de un manómetro, por lo que permite medir la diferencia de presiones en las horas de mayor y menor consumo de la población, estableciendo así la distribución horaria a través de varias mediciones a lo largo del día por dos veces a la semana.

- **Tanque el Tambo 3 y Rosario “Sistema a Bombeo”**

Por lo mencionado anteriormente se realizó una nueva visita técnica con el operador Rosendo Cabezas el cual consistió de seguimientos continuos del gasto volumétrico en el tanque el Tambo 3, donde se puede estimar las horas de mayor y menor consumo de la población estableciendo así la distribución horaria a lo largo del día, siendo la misma distribución para el tanque el Rosario ya que las actividades de la población son similares.

2.7.1 Suministro y consumo

Para la estimación del volumen fue necesario realizar una encuesta a los operadores para conocer las horas de mayor suministro y consumo dentro del sistema, corroborando esta información con dos domicilios por cada tanque (véase el anexo 2), este análisis dependió directamente del tiempo y características de la población. Las unidades se expresaron en porcentaje del caudal máximo diario ya que este caudal llega al tanque de distribución, una vez que se logró conocer el suministro y consumo se realizó el método de la curva integral para conocer el volumen del tanque distribuidor en donde se evaluó el consumo en el transcurso del día.

2.7.2 Cálculo de porcentaje de volumen del tanque a gravedad

Para este análisis se calculó el porcentaje de suministro, es decir el agua que llega al tanque donde el 100% del caudal se divide para las 24 horas, este suministro calculado viene a ser el caudal completo que llega al tanque de distribución por cada hora del día. Una vez calculado el porcentaje de Suministro se determina el déficit horario para lo cual se realizó una diferencia entre el Suministro y el consumo, cabe mencionar que valores positivos representan el llenado del tanque, mientras que valores negativos muestra que el tanque se está vaciando, es decir el consumo de la gente supera al suministro del tanque, esto normalmente sucede en horas pico. Una vez acumulado el déficit horario se busca los valores extremos es decir el de mayor y menor valor los mismos que definen cuando tenemos el tanque completamente lleno y vacío. Véase la tabla 23

2.7.3 Cálculo del porcentaje de volumen del tanque a bombeo

- **Tanque de succión**

Este sistema suministra agua por bombeo al tanque distribuidor elevado por lo que se realizó el análisis en dos partes, en la primera parte se estudió el taque a succión, por lo tanto, se propone las horas de bombeo con referencia al mayor consumo del tanque distribuidor. Véase la tabla 25.

- **Tanque de distribución**

Para este análisis el consumo está dado por las actividades de la población a lo largo del día, mientras que el consumo de bombeo del tanque de succión viene a ser el suministro horario de bombeo para el tanque distribuidor. De la misma manera se realizó el cálculo mencionado en los tanques anteriores, obteniendo el volumen del tanque como se muestra en la tabla 26.

2.7.4 Cálculo del volumen de los tanques de distribución

- **Volumen de regulación**

Para establecer el volumen del tanque se procedió a determinar el volumen de regulación aplicando la siguiente ecuación:

$$V = 1.2 * QMD * \frac{V\%}{100}$$

Ecuación 10: Volumen de regulación

Fuente: (SENAGUA, 2012)

Donde:

QMD= Caudal máximo diario (m³/d)

V%= curva integral de consumo del QMD (%)

1,2= Factor de seguridad (d)

- **Volumen de protección contra incendios**

Dadas las normativas es importante tener en los tanques de regulación una reserva para incendios. este volumen se puede realizar de dos formas, una de ellas es mediante el uso de hidrantes y como segunda opción con base en la población. Cabe mencionar que este volumen debe ser considerado únicamente cuando el sector cuente con hidrantes, por lo tanto, el área de estudio al no contar con hidrantes este recurso seria antieconómico además de no disponer con la presión adecuada al estar constituida por sectores pequeños. Sin embargo, el cálculo del volumen contra incendios se realizó para un proyecto a futuro que

está considerando la JAAPS, por lo que este volumen se estimó con base en la población, por ello se determinó en primero lugar el caudal contra incendios que viene dada por la siguiente fórmula

$$Q_i = \frac{3.86}{60} \times \sqrt{\frac{P}{1000}} \times \left(1 - 0.01 \sqrt{\frac{P}{1000}} \right)$$

Ecuación 11: Caudal de incendios

Fuente: (EPMAPS, 2011)

Donde:

Qi = Caudal de incendios (m³/s)

P = población (hab)

- **Volumen de incendios**

Regularmente el lapso que se demora en controlar un incendio es de 2 horas, por lo que el volumen de incendio se obtuvo al multiplicar el caudal de incendio por el tiempo estandarizado, Los valores se detallan en la tabla 27.

2.7.5 Tanque de Distribución

- **Estado actual de los Tanques de Distribución de JAAPS**

En el transcurso de las visitas técnicas hacia los tanques de distribución de la JAAPS se distinguió que tanques se encuentran en óptimas condiciones y cuáles no, motivo por el cual se recolectó información de infraestructuras donde se identificó aspectos importantes como: el tiempo de diseño que cumple cada tanque, conocer que los tanques de distribución fueron construidos aproximadamente hace 34 años, y el proceso de construcción se realizó con la ayuda de los moradores del sector a través de mingas. El tanque ubicado en el barrio Santa Catalina que cuenta con un sistema a gravedad se encuentra en óptimas condiciones en cuanto a infraestructura, al igual que el tanque ubicado en el barrio el Rosario con un sistema a bombeo. Sin embargo, el tanque ubicado en barrio el Tambo 3 con un sistema por bombeo presenta filtraciones de agua por tanto no está en óptimas condiciones de servicio causando pérdidas y desabastecimiento de agua en el proceso de almacenamiento. Siendo esto un problema para la JAAPS se propone un nuevo tanque que recompense esta fuga de agua.

- **Condiciones de diseño del tanque**

Según lo estipulado por la normativa de diseño de sistemas de agua potable de la EPMAPS-Q, el tanque debe estar ubicado en zonas que no presenten deslizamientos, drenaje de agua natural como el agua lluvia o inundaciones, el tanque debe tener una distancia mínima a cualquier fuente de contaminación como pozos sépticos o depósitos de basura, debe contar

con un análisis de curvas de variación de consumo como presenta este proyecto. En el caso de no contar con la información se debe hacer uso de las normativas existentes, se recomienda dejar un borde de 0.30 m como mínimo, la forma del tanque puede ser variable siempre y cuando cumpla las exigencias de resistencia, durabilidad, seguridad y normas de calidad de agua potable. De la misma manera la EPMAPS establece, “que debe colocarse totalizadores en las tuberías de salida del tanque, como medidores que permitan determinar los volúmenes suministrados en forma diaria”, el tanque debe ser diseñado para un lavado y mantenimiento periódico, sin afectaciones al servicio.

- **Procedimiento para obtener las dimensiones del Tanque Distribuidor**

El tanque que se dimensionó solo está contemplado para el barrio el Tambo 3 ya que su infraestructura no presentó características adecuadas de almacenamiento y protección del agua. Se realizó el pre-dimensionamiento del tanque con las siguientes:

$$h = \frac{v}{3} + k$$

Ecuación 12: Altura del tanque

Fuente: (Cualla, 2003)

Donde:

h = Altura (m)

v = Capacidad en cientos de (m³)

k = Constante en función de la capacidad (véase la tabla 13)

Tabla 11: Constante en función a la capacidad de volumen

V (cientos de m ³)	K
< 3	2.0
4 - 6	1.8
7 - 9	1.5
10 - 13	1.3
14 - 16	1.0
>17	0.7

Fuente: (Cualla, 2003)

El área superficial del tanque se calculó de la siguiente forma:

$$As = \frac{v}{h}$$

Ecuación 13: Área superficial del tanque

Fuente: (Cualla, 2003)

Donde:

As = Área superficial del tanque en (m²)

v = Volumen para regulación (m³)

h = Profundidad (m)

El largo y ancho del tanque se determinaron con la siguiente ecuación:

$$B = L = \sqrt{As}$$

Ecuación 14: Largo y ancho del tanque

Fuente: (Cualla, 2003)

Donde:

As = Área superficial del tanque en (m²)

B = Ancho del tanque (m)

L = largo del tanque (m)

2.8 Levantamiento de la ubicación georreferencial

Para registrar la ubicación del sistema se tomaron puntos de referencia donde existían válvulas de regulación de caudal, quebradas y desniveles por donde pasa la tubería. Se esperó que el GPS se estabilizara a 4msnm para tener una mejor precisión y comenzar con la medición de las coordenadas en cada punto con mayor relevancia y las líneas de conducción hasta los tanques de distribución. Durante el trayecto se presentaron inconvenientes al momento de tomar los puntos exactos por donde pasan las tuberías que llegan a los tanques de distribución, por ende, se tomaron las coordenadas en los puntos más cercanos a ellas. El registro de la ubicación georreferencial ayudó a determinar coordenadas y elevaciones donde se encuentran los tanques con la finalidad de analizar las cotas previstas para las zonas de servicio.

2.9 Socialización con la comunidad

Debido a la emergencia sanitaria en la que se encuentra el país, la reunión prevista con los directivos de la JAAPS, se realizó mediante la plataforma Zoom con la presencia del Sr. Isaac Chuquer presidente de la Junta Administradora de Agua Potable, el Sr Freddy Moscoso secretario de la directiva y Sr. Rosendo Cabezas operador de la JAAPS. Los puntos expuestos fueron la calidad de agua que se capta y abastece, Diseño de la población futura y la capacidad de almacenamiento optima de agua para abastecer a la población.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción del sistema de abastecimiento en la (JAAPS)

Las fuentes de abastecimiento de agua que son captadas por la JAAPS son de un afloramiento vertical o manantial denominada como captación subterránea (captación 1) y de la vertiente Shushuri catalogada como captación superficial (captación 2) ver figura 1. Estas aguas son transportadas por una tubería de PVC con un diámetro de 6 pulgadas hacia las estructuras hidráulicas de almacenamiento de cada captación, para luego ser conducidas por gravedad y bombeo hacia los tres tanques de distribución los mismos que abastecen a 17 Barrios.



Figura 11: Fuentes de Captación

Fuente: (Google Earth)

3.1.1 Ubicación

La Parroquia de Cutuglagua tiene una extensión aproximada de 28.53 Km² y se encuentra ubicada al suroeste con la parroquia Tambillo, al este con la parroquia Uyumbicho, al norte con el cantón Mejía y al sur con la ciudad de Quito con una distancia de 15 km. (Mejía, s.f.)



Figura 12: Mapa de división territorial de la Parroquia de Cutuglagua

Fuente: GAD Mejía

3.1.2 Servicios Básicos

- **Agua**

La JAAPS posee un sistema de agua elemental, es decir, cuenta con un sistema de tratamiento básico que consiste en un proceso de desinfección a base de cloro en los pozos de captación cada 6 meses y en los tanques de distribución diariamente, para finalmente ser distribuida como agua apta para consumo humano.

- **Alcantarillado**

El 95% de la población cuenta con el sistema de alcantarillado y el 5% está en proceso de construcción.

- **Disposición de residuos**

El sector cuenta con el servicio de recolección de basura, donde los comuneros de la localidad recolectan los residuos en los puntos establecidos y debidamente autorizados para reducir el impacto ambiental y prevenir daños a la salud.

3.1.3 Condiciones climatológicas

La Parroquia de Cutuglagua, presenta un clima frío, habitualmente tiene precipitaciones a lo largo del año, con una temperatura media de dieciséis grados centígrados y un porcentaje del 86% de humedad.

3.1.4 Aspectos Socioeconómicos.

Dadas las características económicas se establece que los barrios de la JAAPS se encuentran en proceso de consolidación, debido a que la fuente de ingreso de la población está ligado a las necesidades de los moradores, es decir actividades de ganadería, agricultura, emprendimientos y microempresas familiares.

3.2 Descripción de la red de Abastecimiento existente

3.2.1 Captación

La JAAPS cuenta con dos fuentes de captación una superficial y otra subterránea.

- La captación subterránea se obtiene de un manantial y está constituida por dos pozos ubicados en el sector de Cutuglagua al sur de Quito, con una altitud de 2971 msnm y 2975 msnm respectivamente, el agua se infiltra por el suelo y es captada en pozos. Estas estructuras están construidas sobre el punto de captación moldeándose al perfil de la tierra.
- La captación superficial se obtiene de una vertiente llamada Shushuri ubicada en el sector de Cutuglagua al sur de Quito con una altitud de 3050 msnm, esta agua es

conducida mediante una tubería de PVC desde la vertiente hacia el pozo de captación con un diámetro de 6 pulgadas.

3.2.2 Almacenamiento y cuarto de bombeo

- Tanque de almacenamiento de agua subterránea: se encuentra ubicado dentro del cuarto de bombeo con dos tuberías de llegada de 6 pulgadas, de fácil acceso para la toma de muestra.
- Tanque de almacenamiento de agua superficial: el almacenamiento se realiza en un pozo con una tubería de PVC de llegada con un diámetro de 4 pulgadas, de fácil acceso para la toma de muestra.

3.2.3 Tanque de distribución

- Tanque de distribución de agua subterránea: cuenta con 2 tanques de distribución que se abastecen por bombeo, uno de ellos está localizado a 2.4 km de la fuente de captación a 3144 msnm ubicada en el barrio Tambo 3 con una tubería de llegada de 6 pulgadas, el otro tanque se encuentra a 2.9 km de la fuente de captación a 3142 msnm ubicado en el barrio el Rosario con una tubería de llegada de 4 pulgadas.

Tanque de distribución de agua superficial: es un tanque de distribución por gravedad y se encuentra a 1 km de la fuente de captación a 3051 msnm ubicado en el barrio Santa Catalina con una tubería de llegada de 6 pulgadas

Dados los procedimientos y cálculos realizados previamente, se llevó a cabo el análisis de calidad de agua y volumen de almacenamiento de los tanques de la JAAPS, con la finalidad de optimizar y dar propuestas para un mejor funcionamiento en el caso de ser necesario.

3.3 Evaluación de la calidad de agua que se capta y abastece

3.3.1 Puntos de control

Tabla 12: Puntos de control de calidad de agua

Puntos GPS	Detalle	Latitud (WGS 84)	Longitud (WGS 84)	Altura
1	Pozo de captación	0°21'38.7" S	78°33'10.2" O	2971
	Pozo de captación	0°21'38.7" S	78°33'09.9" O	2975
2	Tanque de almacenamiento y cuarto de bombeo	0°21'37.6" S	78°33'08.1" O	2989

3	Pozo de drenaje de hierro	0°21'51.0" S	78°33'04.3" O	3035
4	Pozo de captación	0°21'53.1" S	78°33'02.3" O	3048
	Pozo de captación	0°21'53.2" S	78°33'02.2" O	3047
5	Tanque de distribución Santa Catalina	0°21'56.9" S	78°33'05.2" O	3045
6	Tanque de distribución el Tambo 3	0°22'17.8" S	78°33'05.6" O	3075
7	Tanque de distribución el Rosario	0°22'48.0" S	78°32'37.9" O	3142

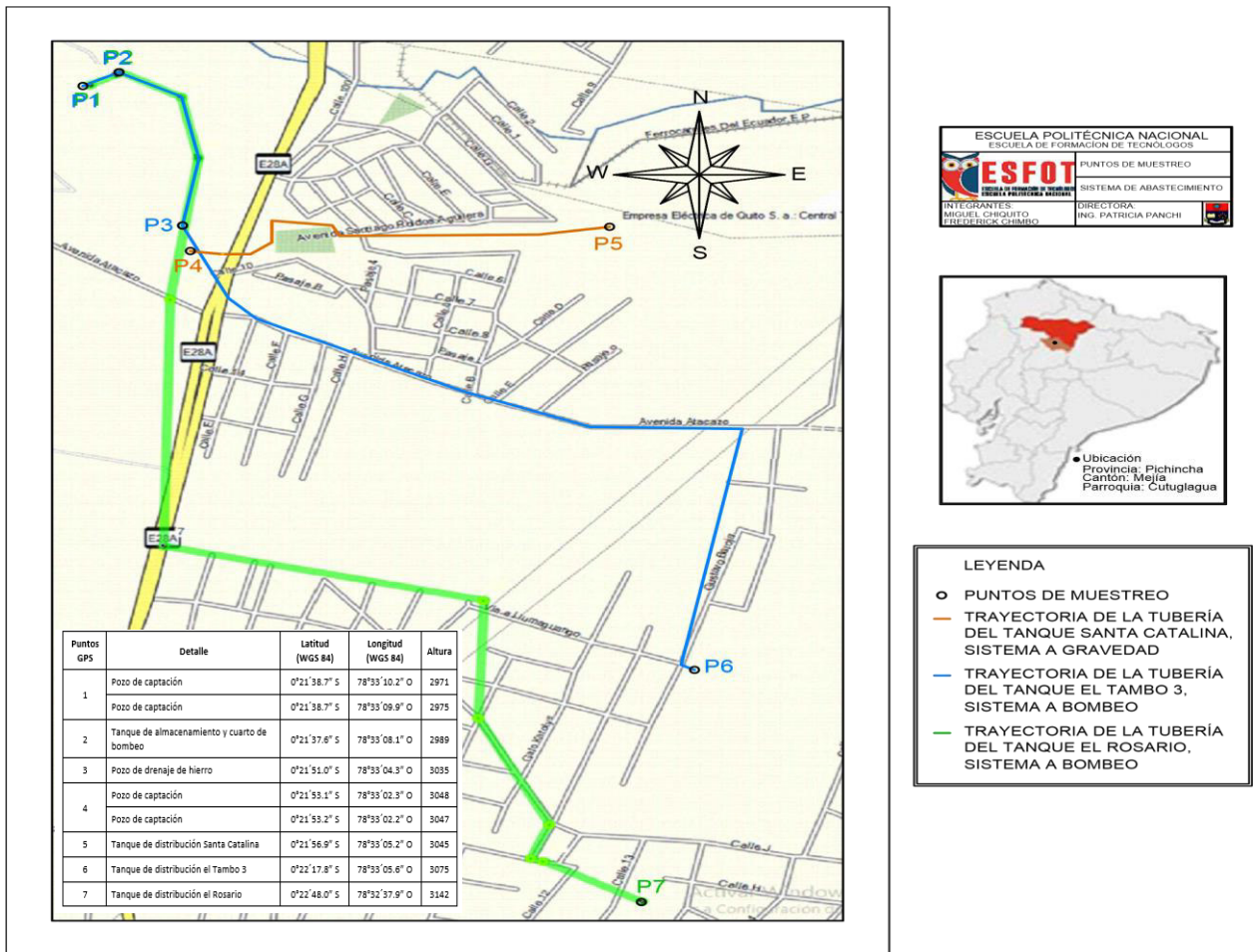


Figura 13: Ubicación de los puntos de muestreo

Los resultados obtenidos en el laboratorio y en campo se los comparó en base a las normativas vigentes, para agua cruda bajo la normativa del Acuerdo Ministerial 097-TULSMA, es decir aguas que no tienen ningún proceso de tratamiento, para el agua potable con la normativa INEN 1108:2021 que corresponde a los criterios de aceptación para consumo humano, es decir el agua que posee un proceso de tratamiento o desinfección. En la siguiente tabla se detalla los valores obtenidos en laboratorio y campo de las fuentes de captación.

Tabla 13: Resultados físico-químico y microbiológicos de agua cruda

Análisis en laboratorio					
Parámetro	Unidad	Código de muestras			
		P1	P2	P3	P4
Alcalinidad	mg/l	87.9			87.9
Coliformes totales	nmp/100 ml	<1.1			<1.1
Coliformes fecales	nmp/100 ml	<1.1			<1.1
Color aparente	u Pt-Co	2		13	6
Dureza cálcica	mg/l	39			48
Dureza total	mg/l	79			89
DBO	mg O2/l	0,5			0.9
DQO	mg/l	3			3
Hierro	mg/l	0.02		0.08	0.02
Manganeso	mg/l	0.013		0.012	0.008
Sólidos suspendidos totales	mg/l	5			3
Sólidos totales	mg/l	90			90
Sólidos disueltos totales	mg/l	85			87

Fuente: (CICAM & ESFOT, 2021)

Tabla 14: Resultados de parámetros *in-situ* de agua cruda.

Análisis en campo					
Parámetro	Unidad	Código de muestras			
		P1	P2	P3	P4
Conductividad	mS/cm	0.173			0.219
Cloro total	mg/l Cl		0.05		
OD	mg/l OD	2.34			2.22
Potencial Hidrógeno	pH	6.18			6.33
Temperatura	°C	16.08			16.86
turbidez	NTU	0.19			0.82

Fuente: (CICAM & ESFOT, 2021)

Tabla 15: Resultados obtenidos en laboratorio de agua potable

Análisis en laboratorio										
Parámetro	Unidad	Código de muestras								
		P5	P6	P7	T. Gravedad		T. Tambo		T. Rosario	
					Ci	Cf	Ci	Cf	Ci	Cf
Alcalinidad										
Coliformes totales	nmp/100 ml									
Coliformes fecales	nmp/100 ml	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
Color aparente	u Pt-Co	2	<0.01	<0.01						
Dureza cálcica	mg/l	46	42	41						
Dureza total	mg/l	89	75	73						
DBO	mg O2/l	1.2	1	1.3						
DQO	mg/l	4	3	4						
Hierro	mg/l	0.01	0.01	0.02						
Manganeso	mg/l	0.010	0.001	0.009						
Sólidos suspendidos totales	mg/l	2	0	0						
Sólidos totales	mg/l	84	70	80						
Sólidos disueltos totales	mg/l	82	70	80						

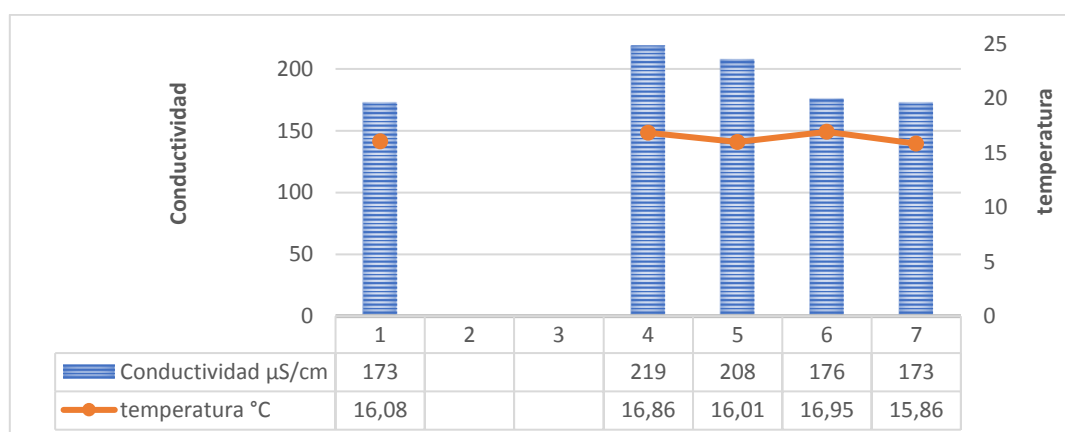
Fuente: (CICAM & ESFOT, 2021)

Tabla 16:Resultados obtenidos *in-situ* de agua potable

Análisis <i>in-situ</i>										
Parámetro	Unidad	Código de muestras								
		P5	P6	P7	T. Gravedad		T. Tambo		T. Rosario	
					Ci	Cf	Ci	Cf	Ci	Cf
Conductividad	mS/cm	0.208	0.176	0.173						
Cloro residual	mg/l Cl	0.47	0.38	0.11	1.48	0.30	0.21	0.26	0.10	0.04
OD	mg/l OD	12.53	3.34	5.56						
Potencial Hidrógeno	pH	6.10	6.8	6.79						
Temperatura	°C	16.01	16.95	15.86						
turbidez	NTU	0.28	0.11	0.16						

Fuente: (CICAM & ESFOT, 2021)

- **Conductividad y temperatura.**



Gráfica 1:Resultados de conductividad y temperatura

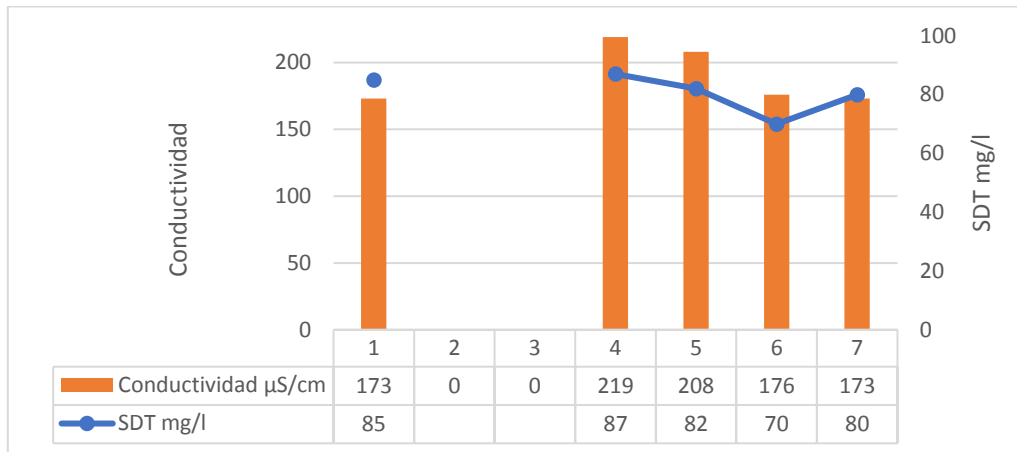
En la gráfica 1 se observa que la conductividad no presenta una variación significativa, debido a que la presencia de electrolitos en el agua no aumenta ni disminuye su concentración por lo que la presencia de sustancias disueltas, tales como alcalinos, carbonatos y cloruros son estables teniendo así una conductividad semejante entre los puntos 1, 6 y 7 que corresponden al sistema por bombeo al igual que los puntos 4 y 7 que corresponden al sistema de gravedad

En la normativa ecuatoriana no se establecen los límites máximos permisibles para la conductividad, sin embargo, según la OMS establece un límite máximo permisible menor o igual a 1000 micro siemens por centímetro, de tal manera que los resultados de conductividad obtenidos se encuentran muy por debajo de la normativa internacional cumpliendo así con la misma.

De la misma manera se observa que la temperatura y conductividad son directamente proporcionales, es decir, mientras la conductividad aumenta la temperatura también aumenta y viceversa, debido a la facilidad de transformar los componentes disueltos en electrolitos a temperaturas altas.

- **Conductividad y Sólidos Totales Disueltos**

En la gráfica 2 se muestran los resultados de la relación entre Sólidos Disueltos Totales y Conductividad.

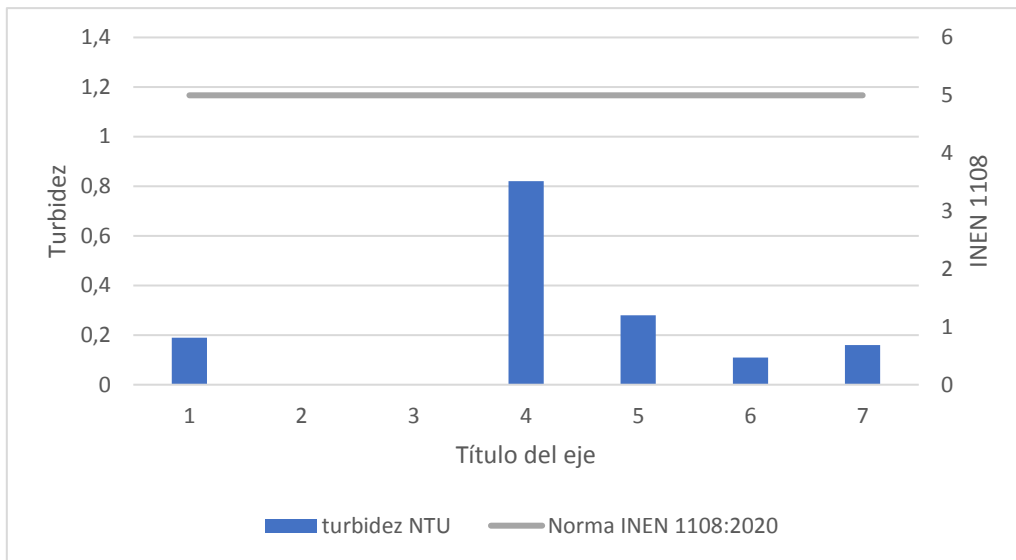


Grafica 2: Resultados Conductividad y Sólidos Totales Disueltos

La conductividad y solidos disueltos totales están estrechamente relacionadas, es decir, la conductividad depende de la cantidad de sales disueltas en el agua, por lo tanto, dada la gráfica se observa que en los puntos 1,6 y 7 del sistema a bombeo la conductividad es proporcional a la concentración de solidos totales disueltos, de la misma manera para los puntos 4 y 5 correspondientes a sistema a gravedad.

Entonces, la conductividad eléctrica determina un valor aproximado de concentración de sólidos disueltos totales en una muestra de agua, es decir, cuando la conductividad en el agua expresa valores grandes se debe a una concentración de solidos disueltos totales alta y viceversa.

- **Turbidez**



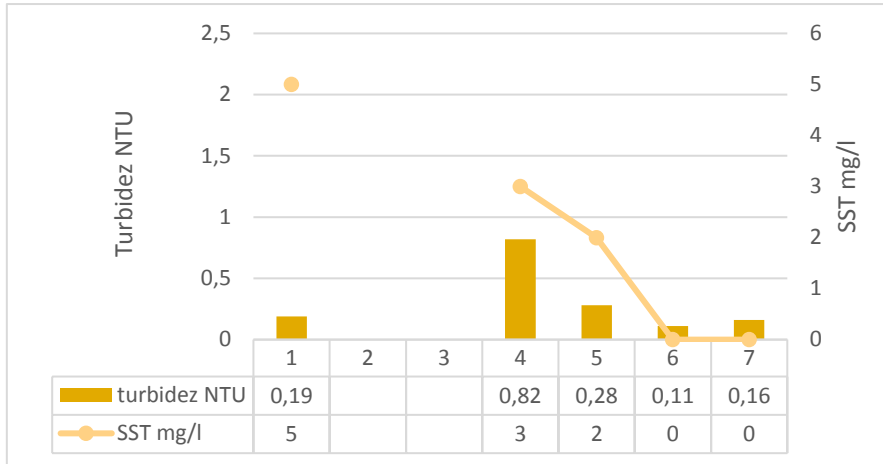
Grafica 3: Resultados de Turbidez con la Normativa

La norma INEN 1108:2021 De requisitos del agua para consumo humano establece un límite máximo permisible de 5 NTU, lo que significa que los resultados de las muestras obtenidas para los puntos 5,6 y 7 cumplen con la normativa, mientras que los puntos 1 y 4 de las fuentes de captación cumplen con la norma del Acuerdo Ministerial 097-A para agua cruda, siendo el límite máximo permisible de 100 NTU.

En el punto cuatro se tiene un valor que resalta sobre los demás, se debe a que el agua proviene directamente de la vertiente sin ningún proceso de filtración hacia el pozo de captación, en el momento de la toma de la muestra se pudo observar la presencia de sólidos suspendidos. En cuanto a los otros puntos tenemos valores bajos es decir poca presencia de sólidos en suspensión.

- **Turbidez y Sólidos Suspendidos**

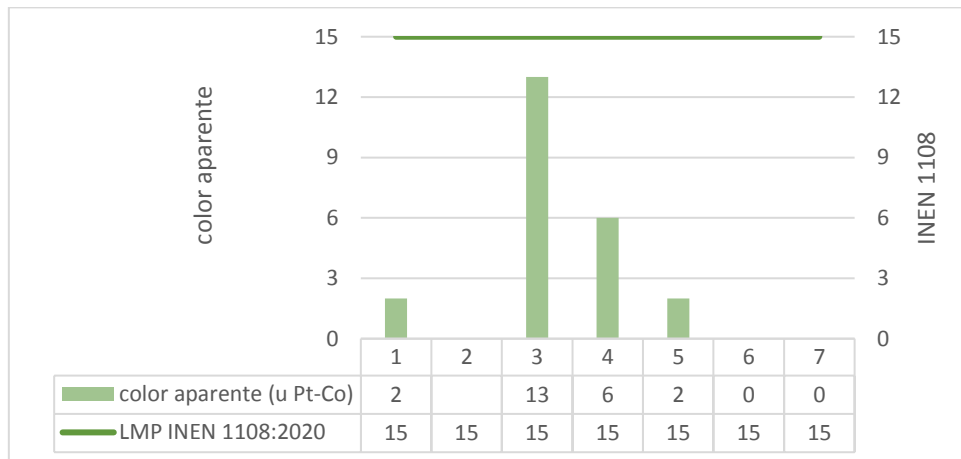
En la gráfica 4 se muestra la relación de turbidez y Sólidos Suspendidos Totales



Gráfica 4: Resultados turbidez y Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales permiten conocer la cantidad de partículas que se encuentran en suspensión en una muestra de agua, sin embargo, este parámetro no se encuentra en las normas de calidad del agua para consumo humano. Cabe mencionar que los valores que presenta la gráfica 4 son concentraciones bajas debido a que el agua captada es proveniente de un afloramiento vertical como de una vertiente y se les considera fuentes de agua segura, por esta razón no afecta la calidad de agua, incluso en los puntos seis y siete no existe la presencia de sólidos suspendidos totales de tal manera que la turbidez es escasa en dichos puntos.

- **Color Aparente**



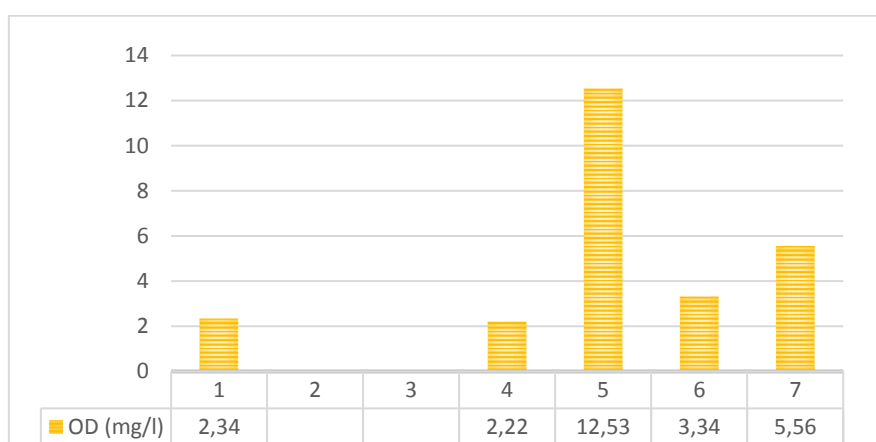
Gráfica 5: Resultados de Color aparente

Según la norma INEN 1108:2021 de agua para consumo humano, establece un límite máximo permisible de 15 u Pt-Co de color aparente, lo que significa que los resultados obtenidos están dentro de dicha normativa; por otro lado, en el punto 3 tenemos un valor de 13 u Pt-Co esto se debe a que en dicho punto se realiza procesos de drenaje de hierro, sin embargo, se encuentra dentro de los límites máximos permisibles.

- **Color real**

Como se observa en la gráfica 5 los valores de color aparente en los puntos analizados resultaron ser demasiados bajos, motivo por el cual no se realizó el análisis de color real ya que presentó valores mínimos de sustancias suspendidas y disueltas.

- **Oxígeno Disuelto**



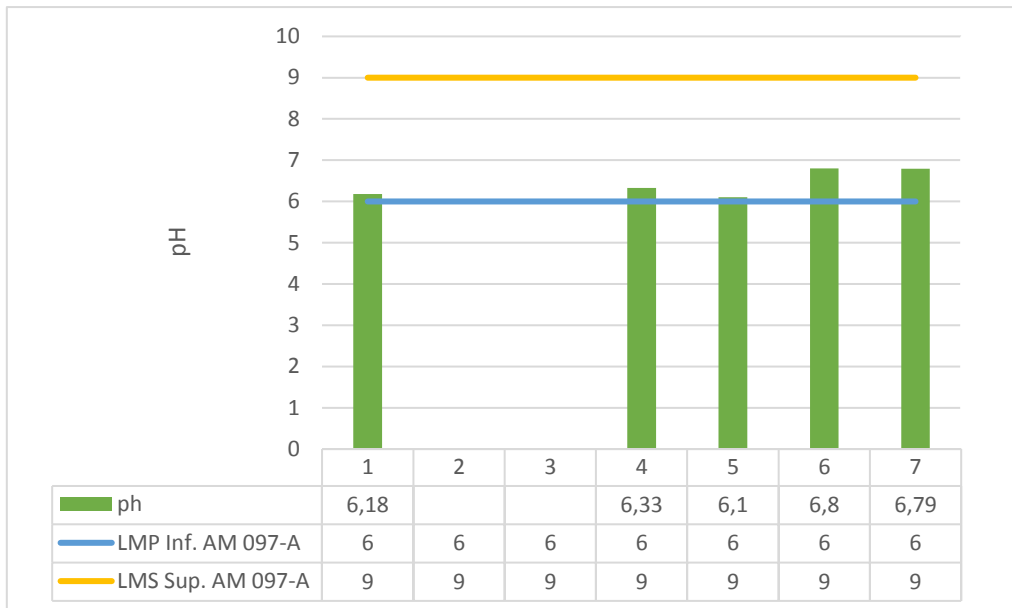
Grafica 6:Resultados Oxígeno Disuelto

En el punto 5 se tiene una concentración elevada de oxígeno disuelto, esto se debe al cambio de pendiente de las líneas de conducción, ya que el tanque de distribución al ser un sistema a gravedad se encuentra en un nivel bajo, presentando una concentración de oxígeno disuelto elevada ya que a menor altitud mayor es la cantidad de OD. El resultado en el punto 5 indica la poca proliferación de microorganismos y de materia orgánica ya que estos son encargados de consumir el oxígeno disuelto en el agua debido a la respiración de los organismos.

Los resultados obtenidos de oxígeno disuelto en los diferentes puntos varían según la altitud, temperatura y presión ya que el oxígeno disuelto se puede liberar en mayor o menor proporción dependiendo de estos factores.

- **Potencial Hidrógeno**

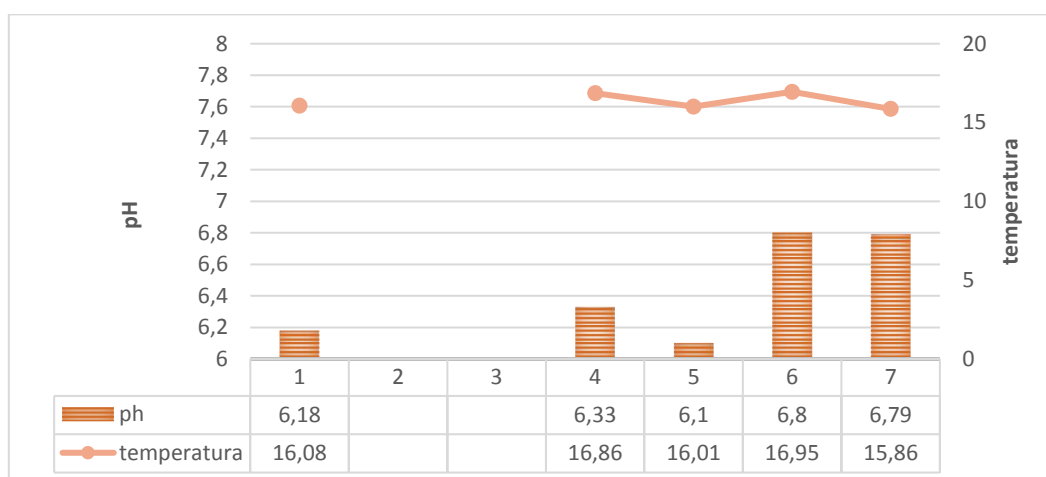
Según el Acuerdo Ministerial 097-A, establece un rango permisible de potencial hidrogeno entre 6 a 9 para aguas crudas, se observa en la gráfica 7 los resultados obtenidos se encuentran dentro del límite máximo permisible en los puntos 1 y 4 cumpliendo con la normativa.



Grafica 7: Resultados Potencial Hidrógeno

Según la normativa INEN 1108:2021, Se establece un rango de potencial hidrogeno de 6.5 a 8 apta para consumo humano, por lo tanto, los resultados que se presentan en los puntos 5,6 y 7 se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, por lo tanto los resultados se encuentran en el rango de 6.1 a 6.79, lo que indica que las muestras varían de un pH medianamente ácido a un pH casi neutro, evitando así varios problemas como son: corrosividad en las tuberías, manchas en las tuberías, disminución de la eficacia de desinfectantes de cloro, entre otros.

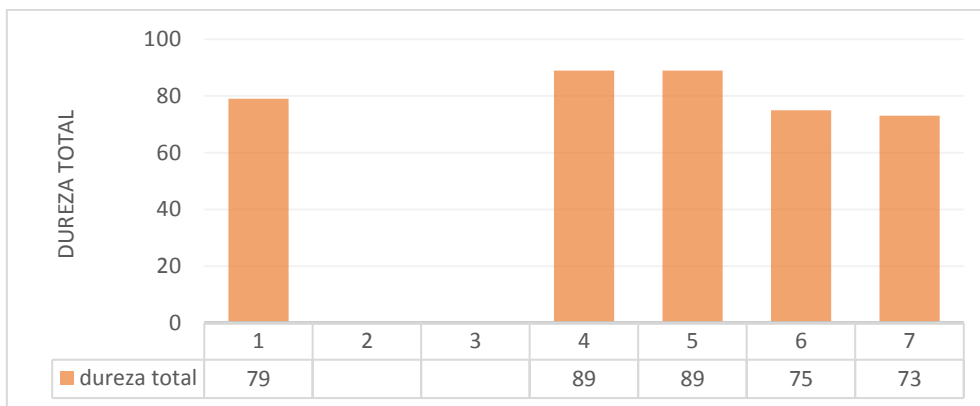
En la gráfica 8 se muestra la relación que existe entre el parámetro potencial hidrógeno y la temperatura del agua.



Grafica 8: Relación Potencial hidrógeno (pH) y temperatura

En la gráfica 8 se aprecia que la temperatura y el potencial hidrógeno son directamente proporcionales, esto quiere decir que a mayor temperatura mayor es el valor de pH. Sin embargo, otra consecuencia del aumento del potencial hidrógeno se da por los lechos filtrantes que presenta la región.

- **Dureza total**

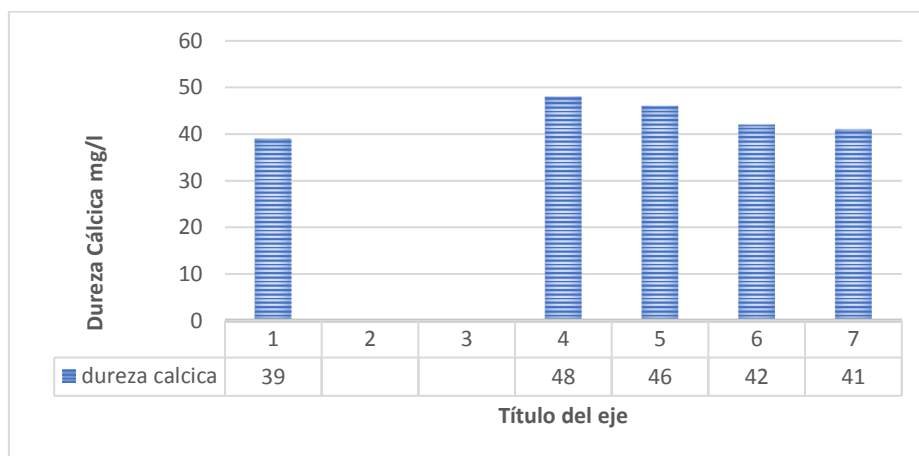


Grafica 9: Resultados Dureza Total

El Acuerdo Ministerial 097-A establecía un límite máximo permisible de 300mg/l CaCO_3 antes de su reforma, sin embargo, la OMS establece un rango permisible máximo de 100mg/l CaCO_3 , por lo tanto, los resultados de dureza total en las diferentes muestras se encuentran en el rango de 73 a 89 mg/l de CaCO_3 de tal forma que cumplen con la normativa.

Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud, el agua es blanda si se encuentra dentro de un rango de 0 a 60 mg/l de CaCO_3 , razón por la cual los valores obtenidos demuestran que el agua contiene minerales disueltos como el calcio y magnesio al no estar dentro del rango mencionado.

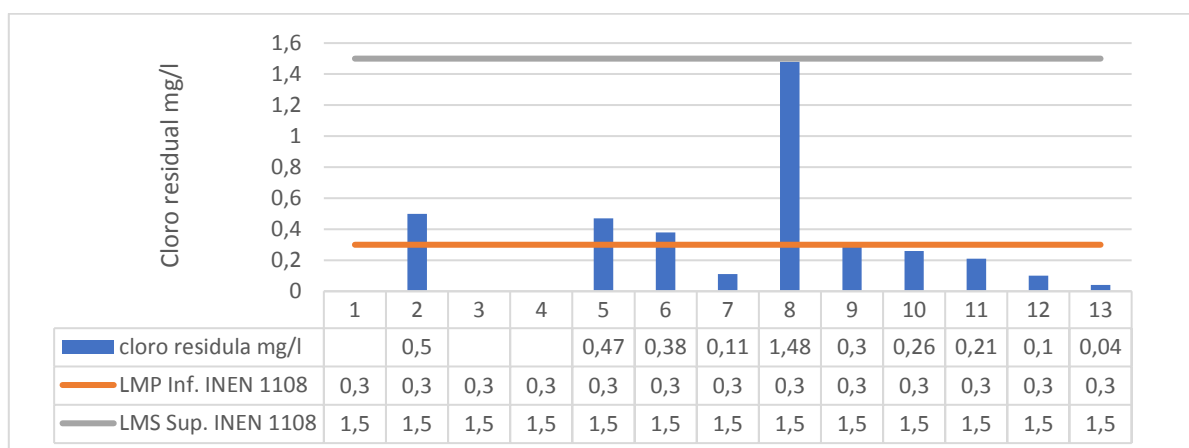
- **Dureza cálcica**



Grafica 10: Resultados Dureza cálcica

En el punto 4 y 5 que corresponden al sistema a gravedad tenemos los valores más altos debido a que el agua cruda proveniente de una vertiente acarrea diferentes minerales presentes en la tierra aguas arriba antes de su captación. Por otra parte, en los puntos 1, 6 y 7 del sistema a bombeo tenemos valores menores ya que el agua se filtra a través de la tierra acarreando minerales antes de su captación. Los análisis arrojan valores entre 39 – 48 mg/l de calcio disuelto en el agua, produciendo incrustaciones en las tuberías las cuales pueden afectar a las líneas de conducción y distribución.

- **Cloro Libre Residual**



Grafica 11: Resultados Cloro Libre Residual

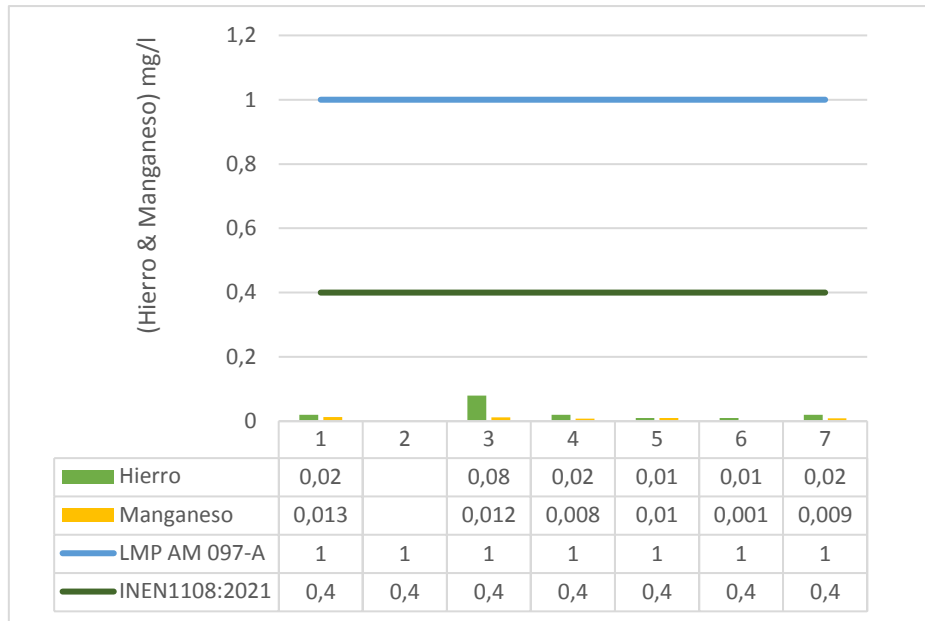
En la normativa INEN 1108:2021 indica el rango permisible de cloro residual entre 0.3 a 1.5mg/l, es decir los puntos 2, 5, 6 y 8 se encuentran dentro del rango permitido, cabe mencionar que el punto 8 que pertenece a la casa inicial del sistema a gravedad tiene un valor elevado, debido a que cuenta con dos sistemas de desinfección, uno en el tanque distribuidor y otro al inicio de la red de distribución. En el punto 2 donde se realiza una desinfección cada 6 meses se obtiene un valor 0,5 ya que previo a la toma de muestra se realizó dicho proceso por parte del operador.

En los puntos 7, 12 y 13 que corresponden al tanque el Rosario del sistema a bombeo, se observa concentraciones bajas de cloro, en vista que el día del análisis *in-situ* el tanque no contaba con el proceso de desinfección por dos días consecutivos, razón por la cual los valores obtenidos son bajos, sin embargo, aún cuenta con concentraciones de hipoclorito de calcio, mostrando un control adecuado de microorganismos patógenos presentes en el agua.

Las concentraciones de cloro presentes en la gráfica 11 muestra que el proceso de desinfección a lo largo de las líneas de conducción y distribución contiene concentraciones mínimas, lo que garantiza un adecuado control de la desinfección del agua antes de ser consumida por usuarios.

- **Hierro y Manganeso**

En la gráfica 12 se muestran los resultados de los parámetros Hierro y Manganeso.



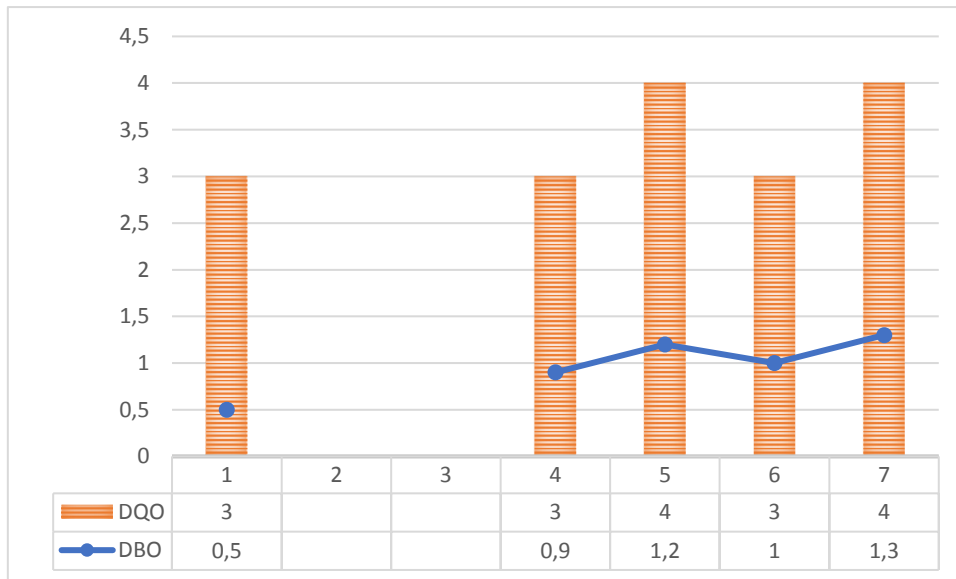
Gráfica 12: Resultados de Hierro y Manganeso

El Acuerdo Ministerial 097-A establece que la concentración de Hierro debe ser máximo de 1 mg/l para agua cruda, entonces los resultados obtenidos en los puntos 1,3 y 4 que pertenecen al agua sin ningún proceso de tratamiento se encuentran dentro la norma vigente; mientras que el agua para consumo humano viene dado por la normativa INEN 1108:2021, considera para el parámetro manganeso una concentración máximo de 0,4 mg/l, de tal manera que en los puntos 5, 6 y 7 que hacen referencia a los tanques de distribución se encuentran dentro de la normativa vigente.

Los resultados mostrados en la gráfica 12 son factibles, puesto que las concentraciones de hierro y manganeso son bajas, mostrando que estos elementos se encuentran en un estado estable, consecuencia de esto existen altas concentraciones de oxígeno disuelto.

- **Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

En la gráfica 13 se analizan los resultados del parámetro DQO y DBO.



Gráfica 13: Resultados DQO y DBO

Los valores de la DQO en los diferentes puntos se encuentran en un rango de 3 a 4 mg/l, por ende, cumple con el Acuerdo Ministerial 097-A, donde indica que el valor máximo permisible es < 4 mg/l; al tener concentraciones bajas de este parámetro presenta una buena calidad del agua, ya que es poca la presencia de materia orgánica en las fuentes de captación. Sin embargo, como se observa en la gráfica 13 al no tener demanda química y biológica alta, no presenta compuestos orgánicos e inorgánicos a base de nitrógenos que afecte a la muestra siendo de poca importancia el análisis de nitratos y nitritos en el estudio de calidad de agua para la JAAPS.

El Acuerdo ministerial 097-A establece un límite máximo permisible de 2 mg/l para la DBO₅, por lo tanto, los resultados obtenidos en los diferentes puntos cumplen con la normativa vigente, cumpliendo con la relación DQO/ DBO₅ que indica que la mayoría de las sustancias orgánicas e inorgánicas se oxidan de forma química en mayor cantidad.

- **Coliformes totales y fecales**

En los puntos 1 y 4, que corresponden a las fuentes de captación de los sistemas a gravedad y bombeo se tienen valores < 1.1 NMP/100 ml de coliformes fecales, por lo tanto cumplen con el Acuerdo Ministerial 097-A, donde indica el límite máximo permisible de 1000 NMP/100 ml para aguas sin tratar; por otro lado, la normativa INEN 1108:2021 determina un valor < 1.1 NMP/100 ml como límite máximo para coliformes fecales, razón por la cual los puntos 5, 6, 7, casas iniciales y finales de cada tanque de distribución cumplen con la normativa vigente, lo que indica la carencia de coliformes fecales y totales en las muestras analizadas.

Al obtener resultados con ausencia de microorganismos en todos los puntos analizados desde la captación hasta su distribución, indica que existe un mantenimiento y limpieza adecuado de las estructuras, así como los procesos de cloración adecuada por parte de operadores de JAAPS, ya que es un método de desinfección eficaz para eliminar patógenos y oxidar compuesto de hierro y manganeso que pueden afectar la calidad del agua.

3.4 Evaluación de la demanda de agua requerida para el periodo de diseño.

El estudio poblacional es de gran importancia para el diseño de infraestructuras en las cuales cubren las demandas para una localidad, si la obra no puede satisfacer la demanda de la población proyectada causaría, al poco tiempo de su funcionamiento, modificaciones en la obra para satisfacer las necesidades del sector, lo que representa un costo y desperdicio de recursos.

Clasificación de Barrios por Tanque de distribución

Tabla 17: Número de lotes y medidores del tanque de distribución Santa Catalina

Tanque	Barrio	Lote	Medidores
Gravedad	San Francisco 2	190	31
	Rosario 1	191	22
	Plan Génova	160	39
	Santa Isabel	121	36
	Aymesa	193	47
Total		855	175

Tabla 18: Número de lotes y medidores del tanque de distribución el Tambo 3

Tanque	Barrio	Lotes	Medidores
Bombeo	Tambo 1	157	34
	Tambo 2	160	67
	Tambo 3	432	117
	25 de noviembre	176	61
	La Joya 2	94	79
	Santa María	132	48
Total		1154	403

Tabla 19: Número de lotes y medidores del tanque de distribución el Rosario

Tanque	Barrio	Lote	Medidores
Bombeo	Rosario 2	191	36
	Rosario 3	167	36
	San Francisco 1	615	95
	San Francisco 3	144	18
	La Florencia	253	46
	San Cristóbal	124	46
Total		1494	277

La JAAPS cuenta con un total de 3500 lotes en el cual existe un porcentaje de lotes vacíos, en construcción y lotes que son utilizados para actividades agrícolas, de la misma manera existe un porcentaje de lotes consolidados que hace alusión a los lotes habitados por los moradores de la zona. Además, cuentan con 850 medidores registrados y en funcionamiento, cabe mencionar que existen conexiones clandestinas lo cual representa una fuga de agua sin control.

3.4.1 Porcentaje de crecimiento poblacional y consolidación del año 2020

Para el cálculo del crecimiento poblacional se aplicó la ecuación 2

$$\%Cp = \frac{3\,500 \times 70}{2352}$$

$$\%Cp = 104\% \longrightarrow 4\% \text{ de incremento}$$

Como se evidencia el porcentaje de crecimiento poblacional incremento en un 4% del total de lotes establecidos en el año 2014, por lo tanto, se asume un incremento del mismo valor para el porcentaje de consolidación de lotes actuales.

Para la determinación de la consolidación actual se aplicó la ecuación 3 con el porcentaje de crecimiento poblacional ya calculado, de la misma forma se aplicó la ecuación 4 para el cálculo de la población total como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 20: Población del 2014 y 2020 de la JAAPS

	Año 2014			Año 2020		
	Lotes	%	Habitantes	Lotes	%	Habitantes
Consolidado	2 352	70 %	11 760	2 590	74 %	15 540
No consolidado	1 008	30 %	-	910	26%	-
Total	3 360	100 %	11 760	3 500	100 %	15 540

La JAAPS cuenta con 2 590 lotes consolidados actualmente, por lo tanto, se determina el número de habitantes para cada uno de los tanques teniendo en cuenta los barrios a los que distribuyen el agua con una consolidación del 74 % como se muestra en la tabla siguiente

Tabla 21: Población del 2020 por tanque

Tanques Variable	Tanque Santa Catalina			Tanque el Tambo 3			Tanque el Rosario		
	Lotes	Porcentaje	Habitantes	Lotes	Porcentaje	Habitantes	Lotes	Porcentaje	Habitantes
Consolidado	633	74%	3 798	854	74%	5 124	1 106	74%	6 636
No consolidado	222	26%	0	300	26%	0	388	26%	0
Total	855	100%	3 798	1154	100%	5 124	1 494	100%	6 636

3.4.2 Poblaciones futuras de la JAAPS

Se presentan las variables tomadas para el cálculo de las poblaciones de diseño, como también se detalla los caudales para los diferentes años de los tanques de distribución al aplicar las ecuaciones del inciso 2.8 en la tabla 24

Variable	Valor
N de Lotes	2 590
N de habitante por lote	6
(Periodo de diseño)	25 años

Para el tanque el Rosario, Tambo 3 y Santa Catalina se realizó un análisis y cálculo del volumen para establecer el consumo neto de la población.

Tabla 22: Proyecciones de consumo de la JAAPS por tanque

AÑO	Población	Dotación Neta (l/hab. d)	Perdidas	Dotación Bruta (l/hab.d)	Qmd (l/s)	K1	QMD (l/s)	K2	QMH (l/s)	Caudal de captación (l/s)	Caudal de tratamiento (l/s)
Tanque Santa Catalina											
2020	3 798	190	25%	253	11.12	1.4	15.56	2.3	25.57	16.33	17.12
2025	3 992	190	25%	253	11.68	1.4	16.35	2.3	26.86	17.16	17.98
2030	4 195	190	25%	253	12.28	1.4	17.19	2.3	28.24	18.04	18.91
Tanque el Tambo 3											
2020	5 124	190	25%	253	15	1.4	21	2.3	34.05	22.05	23.1
2025	5 385	190	25%	253	15.76	1.4	22.06	2.3	36.25	23.16	24.26
2030	5 660	190	25%	253	16.57	1.4	23.19	2.3	38.11	24.35	25.50
Tanque el Rosario											
2020	6 636	190	25%	253	19.43	1.4	27.20	2.3	44.68	28.56	29.92
2025	6 974	190	25%	253	20.42	1.4	28.58	2.3	46.96	30	31.43
2030	7 330	190	25%	253	21.46	1.4	30.04	2.3	49.35	31.54	33.04

3.4.3 Estimación del caudal

Como se menciona en el subcapítulo 2.4 los caudales fueron aforados en campo, para el sistema a bombeo con el método volumétrico al aplicar la ecuación 1 y para el sistema a gravedad con el instrumento de flujo ultrasónico.

Q. sistema bombeo	13 l/s
Q. sistema gravedad	1, 71 l/s

3.5 Propuesta técnica para optimización de los tanques de abastecimiento de agua potable

3.5.1 Distribución Horaria

La distribución horaria se realizó en las 24 horas del día estableciendo el porcentaje en un rango del 1 a 10 del caudal máximo horario para los tres tanques, siendo el 1% el consumo mínimo y el 10% el máximo como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23: Distribución horaria de consumo de los tres tanques

	Santa Catalina	Tambo 3	Rosario
Hora	Consumo (%QMH)	Consumo (%QMH)	Consumo (%QMH)
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	2	2
4	1	2	2
5	1	2	2
6	6	5	5
7	6	6	6
8	6	7	7
9	7	7	7
10	9	6	6
11	4	7	7
12	5	5	5
13	7	7	7
14	5	5	5
15	4	4	4
16	3	3	3
17	6	5	5
18	7	6	6
19	8	7.5	7.5
20	8	7.5	7.5
21	1	1	1
22	1	1	1
23	1	1	1
24	1	1	1
total	100%	100%	100%

3.5.2 Análisis de suministro y consumo

- **Análisis de suministro y consumo del sistema a gravedad**

Como se muestra en la figura 14 el tanque distribuidor recibe un suministro de agua de la captación por medio de la línea de conducción con un caudal constante donde puede ser el QMD o el Qmd, y el volumen almacenado en este tanque es consumido por la población a través de la línea de distribución, el cual es variable en el transcurso del día dependiendo de las características y actividades de la localidad.

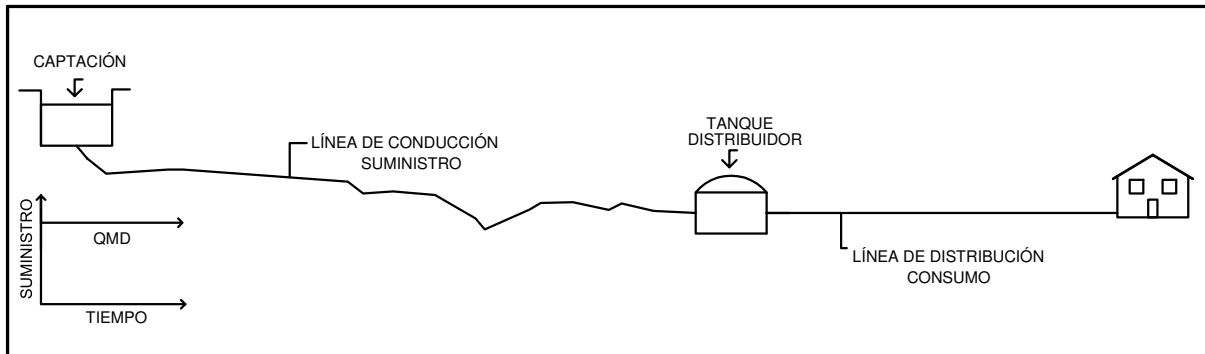


Figura 14: Suministro y consumo del sistema a gravedad

- **Análisis de suministro y consumo del sistema a bombeo**

El análisis se realizó por separado tanto para el tanque de succión como para el tanque de distribución, utilizando las características de suministro y succión para cada uno de los tanques como se observa en la figura 15.

En la primera parte el tanque de succión recibe un suministro de agua de la captación por medio de la línea de conducción con un caudal máximo diario constante, y este volumen almacenado es consumido por el tanque regulador a través de la bomba, donde el caudal depende únicamente del sistema de bombeo.

Para la segunda parte de este sistema, el tanque distribuidor recibe un suministro de agua dado por el sistema de bombeo, y el volumen almacenado en el tanque distribuidor es consumido por la población a través de la red de distribución.

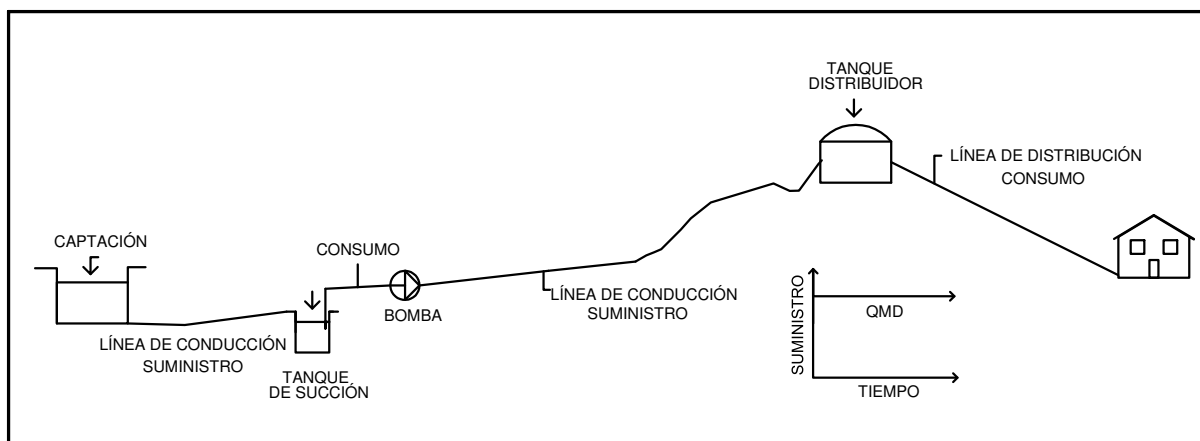


Figura 15: Suministro y consumo del sistema a bombeo

3.5.3 Capacidad de los tanques distribuidores

- **Capacidad del tanque a gravedad**

Para definir el porcentaje de volumen se tomó el menor valor del déficit acumulado donde se colocó el cero, ya que representa al tanque completamente vacío, posteriormente realizamos una diferencia con el déficit horario. De la misma forma se tomó el mayor valor del déficit acumulado ya que este representa el volumen del tanque como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 24: Suministro a gravedad continuo por 24 horas

HORA	CONSUMO	Σ CONSUMO	S (%)	Σ S	Δ (S-C)	$\Sigma\Delta$ (S-C)	V (%)
Intervalo de tiempo	(consumo horario)	Curva integral de consumo (consumo acumulado)	Suministro horario continuo	Curva integral de suministro	Déficit horario	Déficit acumulado	Volumen horario del agua en el tanque
1	1	1,00	4,17	4,17	3,17	3,17	15,83
2	1	2,00	4,17	8,33	3,17	6,33	19,00
3	1	3,00	4,17	12,50	3,17	9,50	22,17
4	1	4,00	4,17	16,67	3,17	12,67	25,33
5	1	5,00	4,17	20,83	3,17	15,83	28,50
6	6	11,00	4,17	25,00	-1,83	14,00	26,67
7	6	17,00	4,17	29,17	-1,83	12,17	24,83
8	6	23,00	4,17	33,33	-1,83	10,33	23,00
9	7	30,00	4,17	37,50	-2,83	7,50	20,17
10	9	39,00	4,17	41,67	-4,83	2,67	15,33
11	4	43,00	4,17	45,83	0,17	2,83	15,50
12	5	48,00	4,17	50,00	-0,83	2,00	14,67
13	7	55,00	4,17	54,17	-2,83	-0,83	11,83
14	5	60,00	4,17	58,33	-0,83	-1,67	11,00
15	4	64,00	4,17	62,50	0,17	-1,50	11,17
16	3	67,00	4,17	66,67	1,17	-0,33	12,33
17	6	73,00	4,17	70,83	-1,83	-2,17	10,50
18	7	80,00	4,17	75,00	-2,83	-5,00	7,67

19	8	88,00	4,17	79,17	-3,83	-8,83	3,83
20	8	96,00	4,17	83,33	-3,83	-12,67	0,00
21	1	97,00	4,17	87,50	3,17	-9,50	-3,17
22	1	98,00	4,17	91,67	3,17	-6,33	-6,33
23	1	99,00	4,17	95,83	3,17	-3,17	-9,50
24	1	100,00	4,17	100,00	3,17	0,00	-12,67

Como se evidencia los puntos de menor y mayor demanda de agua en el déficit horario acumulado son (-12.67) que representa el tanque vacío y el (15.83) muestra el 28.5 % del Volumen horario de agua en el tanque, es decir cuando el tanque está lleno

3.5.4 Capacidad del tanque a bombeo

- **Tanque de succión**

El total de horas a bombear son 19 con un descanso de 5 horas como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25: Horas de bombeo

Hora	Horas de Bombeo
1:00 – 4:00	4
4:00 - 5:00	0
5:00 - 9:00	4
9:00 - 10:00	0
10:00 -13:00	3
13:00-14:00	0
14:00-18:00	4
18:00-19:00	0
19:00-23:00	4
23:00-24:00	0

El consumo en el tanque de succión es únicamente en las horas de bombeo propuestas, este valor esta dado por el 100% del caudal dividido para las 19 horas de bombeo siendo este el caudal a bombear hacia el tanque de distribución, el suministro del tanque de succión viene dado por la captación por lo tanto es el 100% del caudal dividido para las 24 horas, entonces para el cálculo del porcentaje del volumen del tanque de succión se realizó el mismo análisis para el tanque a gravedad, se obtuvo el volumen del tanque como se muestra en la tabla 25.

Tabla 26: Tanque de succión, suministro a gravedad

HORA	CONSUMO	Σ CONSUMO	S (%)	Σ S	Δ (S-C)	$\Sigma\Delta$ (S-C)	V (%)
Intervalo de tiempo	consumo horario = suministro horario de bombeo TANQUE ELEVADO	Curva integral de consumo (consumo acumulado)	Suministro horario bombeo	Curva integral de suministro	Déficit horario	Déficit acumulado	Volumen horario del agua en el tanque
1	5,26	5,26	4,17	4,17	-1,10	-1,10	3,51
2	5,26	10,53	4,17	8,33	-1,10	-2,19	2,41
3	5,26	15,79	4,17	12,50	-1,10	-3,29	1,32
4	5,26	21,05	4,17	16,67	-1,10	-4,39	0,22
5	0,00	21,05	4,17	20,83	4,17	-0,22	4,39
6	5,26	26,32	4,17	25,00	-1,10	-1,32	3,29
7	5,26	31,58	4,17	29,17	-1,10	-2,41	2,19
8	5,26	36,84	4,17	33,33	-1,10	-3,51	1,10
9	5,26	42,11	4,17	37,50	-1,10	-4,61	0,00
10	0,00	42,11	4,17	41,67	4,17	-0,44	-4,17
11	5,26	47,37	4,17	45,83	-1,10	-1,54	-3,07
12	5,26	52,63	4,17	50,00	-1,10	-2,63	-1,97
13	5,26	57,89	4,17	54,17	-1,10	-3,73	-0,88
14	0,00	57,89	4,17	58,33	4,17	0,44	-5,04
15	5,26	63,16	4,17	62,50	-1,10	-0,66	-3,95
16	5,26	68,42	4,17	66,67	-1,10	-1,75	-2,85
17	5,26	73,68	4,17	70,83	-1,10	-2,85	-1,75
18	5,26	78,95	4,17	75,00	-1,10	-3,95	-0,66
19	0,00	78,95	4,17	79,17	4,17	0,22	-4,82
20	5,26	84,21	4,17	83,33	-1,10	-0,88	-3,73
21	5,26	89,47	4,17	87,50	-1,10	-1,97	-2,63
22	5,26	94,74	4,17	91,67	-1,10	-3,07	-1,54
23	5,26	100,00	4,17	95,83	-1,10	-4,17	-0,44
24	0,00	100,00	4,17	100,00	4,17	0,00	-4,61

Como se ve los puntos de menor y mayor demanda de agua en el déficit horario son (-4.61) que representa el tanque vacío y el (0.44) muestra el 5.04 % del Volumen horario de agua en el tanque, es decir cuando el tanque está lleno.

- **Tanque Distribuidor**

Como se observa los puntos de menor y mayor demanda de agua en el déficit horario son (-11.79) que representa el tanque vacío y el (15.05) muestra el 26.84 % del Volumen horario de agua en el tanque, es decir cuando el tanque está lleno como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 27: Tanque de distribución elevado, suministro por bombeo

HORA	CONSUMO	Σ CONSUMO	S (%)	Σ S	Δ (S-C)	$\Sigma\Delta$ (S-C)	V (%)
Intervalo de tiempo	(consumo horario)	Curva integral de consumo (consumo acumulado)	Suministro horario bombeo	Curva integral de suministro	Déficit horario	Déficit acumulado	Volumen horario del agua en el tanque
1	1	1,00	5,26	5,26	4,26	4,26	16,05
2	1	2,00	5,26	10,53	4,26	8,53	20,32
3	2	4,00	5,26	15,79	3,26	11,79	23,58
4	2	6,00	5,26	21,05	3,26	15,05	26,84
5	2	8,00	0,00	21,05	-2,00	13,05	24,84
6	5	13,00	5,26	26,32	0,26	13,32	25,11
7	6	19,00	5,26	31,58	-0,74	12,58	24,37
8	7	26,00	5,26	36,84	-1,74	10,84	22,63
9	7	33,00	5,26	42,11	-1,74	9,11	20,89
10	6	39,00	0,00	42,11	-6,00	3,11	14,89
11	7	46,00	5,26	47,37	-1,74	1,37	13,16
12	5	51,00	5,26	52,63	0,26	1,63	13,42
13	7	58,00	5,26	57,89	-1,74	-0,11	11,68
14	5	63,00	0,00	57,89	-5,00	-5,11	6,68
15	4	67,00	5,26	63,16	1,26	-3,84	7,95
16	3	70,00	5,26	68,42	2,26	-1,58	10,21
17	5	75,00	5,26	73,68	0,26	-1,32	10,47
18	6	81,00	5,26	78,95	-0,74	-2,05	9,74
19	7,5	88,50	0,00	78,95	-7,50	-9,55	2,24
20	7,5	96,00	5,26	84,21	-2,24	-11,79	0,00
21	1	97,00	5,26	89,47	4,26	-7,53	-4,26
22	1	98,00	5,26	94,74	4,26	-3,26	-8,53
23	1	99,00	5,26	100,00	4,26	1,00	-12,79
24	1	100,00	0,00	100,00	-1,00	0,00	-11,79

- **Volumen de regulación y contra incendios**

Como se evidencia en la tabla 27 el cálculo del volumen se determinó aplicando la ecuación 11 en función del consumo de la población para el sistema a gravedad y para el sistema a bombeo se calculó en función de las horas a bombear, estas horas de bombeo dependen de las características de la población. Para realizar el cálculo del volumen total fue necesario tener en cuenta el volumen contra incendio y el volumen de emergencia, valores aparte de la curva integral de consumo.

Tabla 28: Volumen de regulación e incendios

AÑO	Población	% VOLUMEN	QMD (l/s)	QMD (m ³ /d)	VOLUMEN DE REGULACIÓN (m ³)	CAUDAL DE INCENDIO (m ³ /s)	VOLUMEN CONTRA INCENDIOS (m ³)
Tanque Santa Catalina							
2020	3 798	28.50	15.56	1 344.38	459	0.12	864
2025	3 992	28.50	16.35	1 412.64	483	0.13	936
2030	4 195	28.50	17.19	1 485.22	508	0.13	936
Tanque el Tambo 3							
2020	5 124	26.84	21	1 814.4	584	0.14	1 008
2025	5 385	26.84	22.06	1 905.98	614	0.15	1 080
2030	5 660	26.84	23.19	2 003.62	645	0.15	1 080
Tanque el Rosario							
2020	6 636	26.84	27.20	2 350.08	757	0.16	1 152
2025	6 974	26.84	28.58	2 469.31	795	0.17	1 224
2030	7 330	26.84	30.04	2 595.46	836	0.17	1 224

3.5.5 Dimensionamiento del Tanque

Como se muestra en la tabla 28 las dimensiones del tanque son medianamente grandes motivo por el cual la JAAPS presentaría dificultades al momento de implementar dicha estructura, ya que representa costos de construcción, estudios topográficos y de suelo extremadamente altos, además de no contar con el espacio suficiente. Por tal razón se planteó la edificación de un tanque compensador de agua.

Tabla 29: Pre-dimensionamiento del tanque

Volumen de diseño	
K	1.8 (m ³)
V	584 (m ³)
As	156 (m ²)
B	12.5 (m)
L	12.5 (m)
H	3.75 (m)

3.6 Discusión de Resultados

3.6.1 Análisis de los resultados de la calidad de agua en base a las Normativas

Los resultados obtenidos se los comparó con las normativas vigentes, para las fuentes de captación sin ningún proceso de tratamiento se los analizó en base al Acuerdo Ministerial 097-A, mientras que las muestras de los tanques de distribución, casas iniciales y finales se compararon con la normativa vigente INEN 1108: 2021 para calidad de agua aptas para el

consumo humano, por otro lado, ciertos parámetros se analizaron en base a normativas internacionales.

En la Tabla 32 se aprecia una comparación de criterios de calidad del agua para consumo humano, entre las normativas ecuatorianas vigentes y algunos organismos internacionales.

Tabla 30: Límites máximos permisibles de acuerdo con diferentes normativas para agua de consumo humano

Parámetros	NTE INEN 1108:2021	Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 1	EPA	OMS
Oxígeno disuelto	-	-	-	-
Coliformes totales (NMP/100 ml)	-	-	-	-
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Ausencia	1000	-	-
Temperatura (°C)	-	-	-	-
pH	6.5 – 8.0	6 - 9	6.5 – 8.5	6.5 – 9.2
Dureza (mg/l)	-	-	-	500
Hierro (mg/l)	-	1	0.3	1
Manganeso (mg/l)	-	-	0.05	0.4
Color (u Pt-Co)	15	75	15	-
Turbidez (NTU)	5	100	-	5
Cloro	0.3 -01.5	-	-	-

Fuente: (Ministerio del Ambiente,2015) (INEN 1108,2016) (EPA,2016) (OMS,2006)

- **Análisis con el Acuerdo Ministerial 097-A 2015**

A continuación, se explica en la tabla los parámetros que cumplen o no con el límite máximo permisible según lo indica el Acuerdo Ministerial 097-A.

Tabla 31: Resultados comparados con el Acuerdo Ministerial 097-A

Parámetros	MUESTRAS				LMP Acuerdo Ministerial 097-A. Tabla 1	Observación
	P1	P2	P3	P4		
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1.1			< 1.1	1000	Cumple
Color aparente(u Pt-Co)	2		13	6	75	Cumple

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) mg/l	0.5			0.9	< 2	Cumple
Demanda química de oxígeno (DQO) mg/l	3			3	< 4	Cumple
Hierro Total (mg/l)	0.02		0.08	0.02	1.0	Cumple
Potencial hidrógeno (pH)	6.18			6.33	6 - 9	Cumple
Turbidez (NTU)	0.19			0.18	100	Cumple

Fuente: (ESFOT, CICAM)

Los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A, por lo cual las fuentes de captación de la JAAPS pueden ser tratadas, de tal manera que el agua que se abastece a la población sea apta para su consumo.

- **Análisis con la norma INEN 1108:2021**

A continuación, se explica en la tabla 35 los parámetros que cumplen o no cumplen con el límite máximo permisible según lo indica la norma INEN 1108:2021.

Tabla 32: Resultados comparados con la Normativa INEN 1108

Parámetros	MUESTRAS			LMP INEN 1108:2021	Observación
	P5	P6	P7		
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1.1	< 1.1	< 1.1	Ausencia	Cumple
Cloro residual	0.208	0.176	0.173		Cumple
Color aparente (u Pt-Co)	2	< 0.01	< 0.01	15	Cumple
Potencial hidrógeno (pH)	6.10	6.8	6.79	6-5 – 6.8	Cumple
Turbidez (NTU)	0.28	0.11	0.16	5	Cumple

Fuente: (ESFOT, CICAM)

Como se observa en la tabla los parámetros cumplen con la normativa INEN 1108, ya que los valores obtenidos están muy por debajo del límite máximo permisible, por lo tanto, el agua que distribuye la JAAPS es de buena calidad y apta para su consumo.

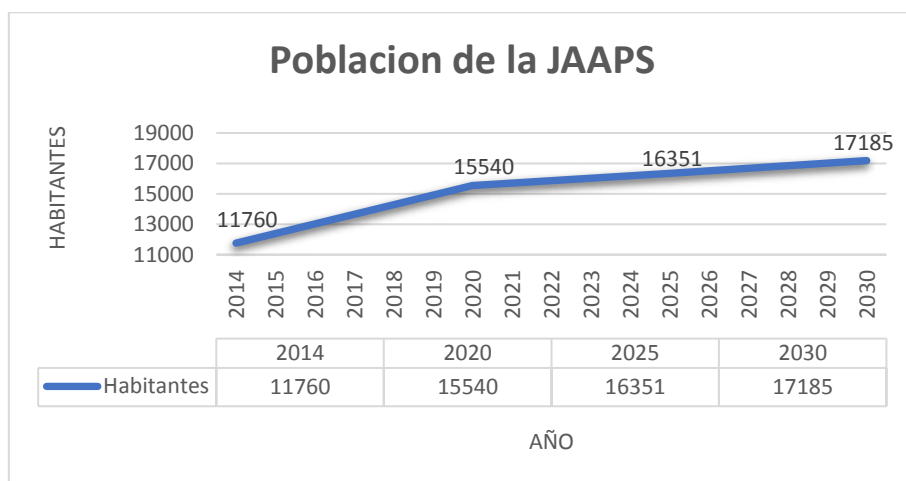
3.6.2 Análisis de dotación de agua que requiere la población diseño de la JAAPS

La demanda de agua que necesita abastecer la JAAPS a los moradores de la localidad requiere de un volumen que satisfaga las actividades cotidianas del día a día como son: agua

para consumo, alimentación, limpieza e higiene personal, entre otros. Es decir, el consumo de cada hogar, por lo tanto, se realizó el análisis de la demanda requerida para la población de diseño por lo que fue necesario determinar la población actual y futura, como también los caudales en las fuentes de captación para establecer una relación de consumo horario. Lo cual dependió del nivel de complejidad y características socioeconómicas de la zona, además información de consumo al transcurrir el día por parte de los operadores de la JAAPS. Este proceso se llevó a cabo con el TITULO A del RAS 2000 y normas establecidas por la EPMAPS.

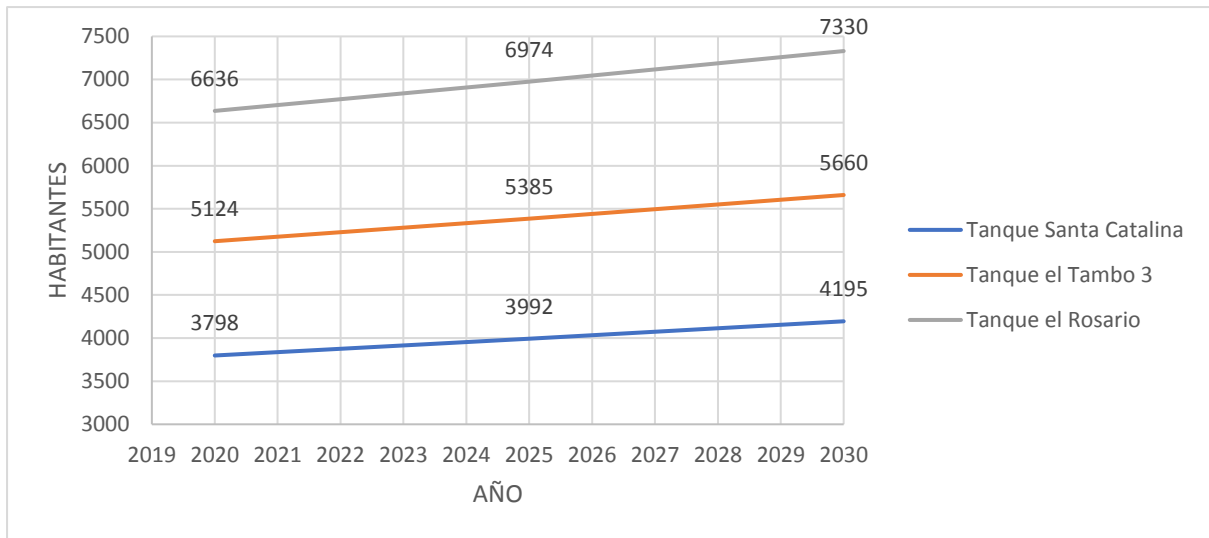
- **Análisis poblacional**

Dados los resultados en la tabla 22 se observa que la población a la que sirve la JAAPS se encuentra en proceso de consolidación, puesto que en el año 2014 la JAAPS abastece agua a una población de 11 760 habitantes correspondiente al 70 % de consolidación y para el año 2020 presenta una población de 15 540 habitantes equivalente al 74 % de consolidación, es decir, en los últimos años se ha evidenciado un proceso de urbanización exponencial como se puede visualizar en la siguiente gráfica.



Gráfica 14: Población proyectada

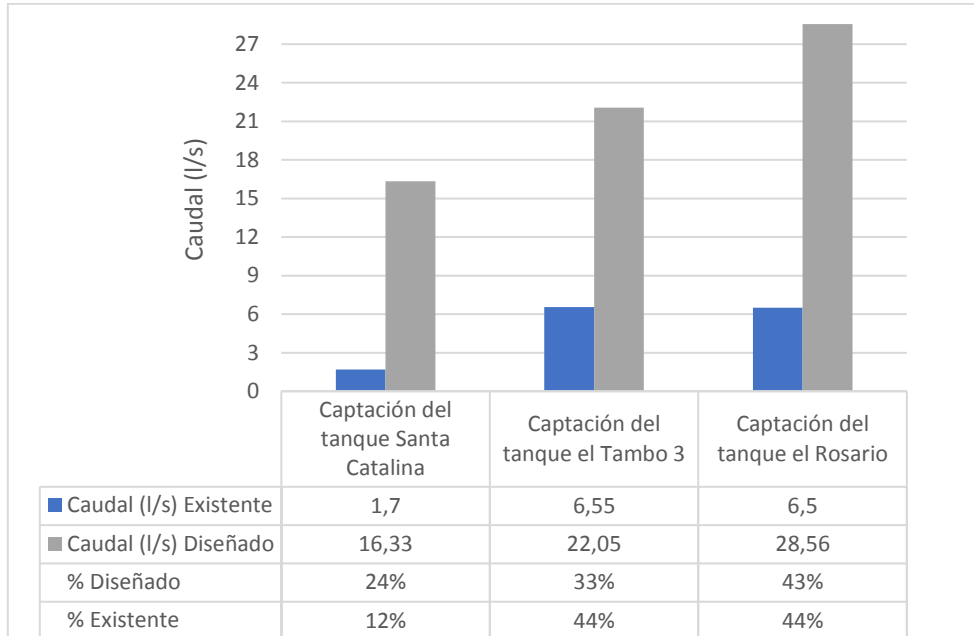
Como se muestra en la gráfica 15 el crecimiento poblacional aumenta proporcionalmente al transcurrir el tiempo, ya que cuenta con áreas verdes en las cuales se pueden posicionar y dotar de servicios básicos a la zona de estudio. Estas poblaciones son el total de habitantes a la que sirve la JAAPS. Este proceso fue indispensable ya que ayudó a establecer la población actual para estimar las proyecciones futuras de habitantes por tanque de distribución como se evidencia en la siguiente gráfica.



Grafica 15: Población proyectada por tanque

Como se muestra en la gráfica 15 el crecimiento poblacional es continuo, donde se manifiesta un incremento de usuarios en la zona a la que sirve la JAAPS en el transcurso de los años. Por otra parte, se observan lotes de uso agrícola y con infraestructura en construcción, es decir, existe una población que regularmente habita el sector y consume un volumen de agua, que hace referencia a los usuarios que van a establecerse en la localidad. Por consiguiente, existirá un incremento poblacional de manera que dificultará el proceso de distribución de agua al momento de cubrir la demanda de la zona, ya que al superar el volumen de agua que se puede almacenar en los tanques estas no cumplirán con la capacidad de volumen requerido causando cortes de agua y sobre esfuerzo de las bombas y válvulas al momento de satisfacer el servicio. Por tal razón, fue de suma importancia realizar estudios de proyección poblacional y demanda de agua con el fin de garantizar un suministro adecuado como la conservación de las fuentes de captación sin afectar su ciclo hídrico. Cabe mencionar que el análisis se enfocó en la demanda de agua para consumo humano, sin tomar en cuenta el abastecimiento de las actividades agrícolas que presenta la zona, por lo que es importante mantener su estabilidad ya que representa una sostenibilidad económica que permite un desarrollo local y posee áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicio sin problemas, por esta razón se estimó una población futura para el periodo de diseño por el método geométrico para los tres tanques de los que se abastece la localidad, ya que permite diseñar sistemas de abastecimiento y el periodo de vida útil de las infraestructuras.

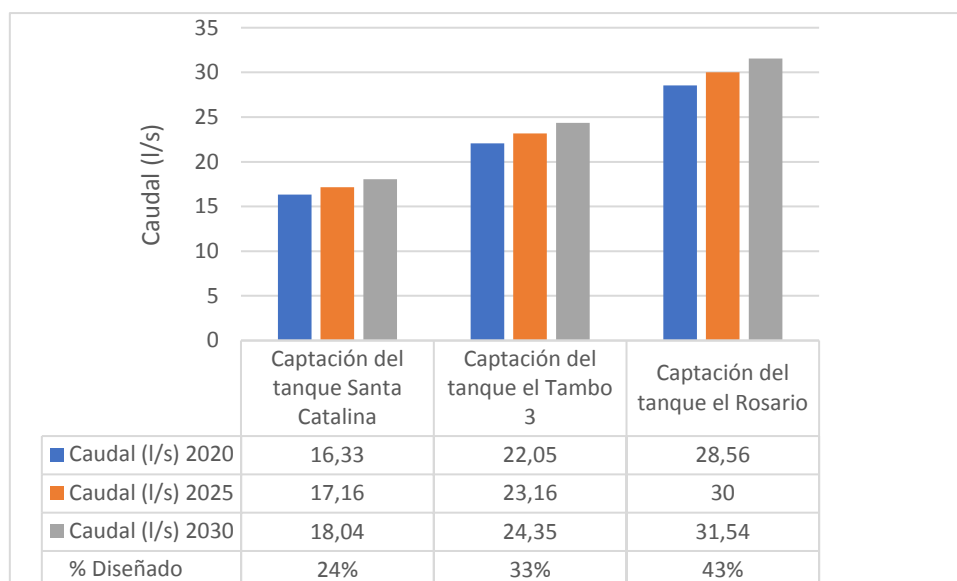
- **Evaluación del caudal de diseño**



Grafica 16: Caudal de diseño

La fuente de captación del sistema a bombeo proviene del afloramiento vertical, en la cual el agua es retenida por dos tanques con las mismas características de construcción, los cuales captan 6.55 l/s, de manera que se establece un caudal de 13 l/s con el que trabaja actualmente el sistema, el cual abastece a los tanques el Tambo 3 y el Rosario. De la misma forma, el sistema a gravedad cuenta con estructuras de regulación por lo que se establece un flujo de captación de 1.7 l/s con el que opera actualmente el tanque Santa Catalina.

Se evidencia en la gráfica que el caudal de captación diseñado presenta un incremento considerable al caudal de captación actual, que garantiza un abastecimiento óptimo para los moradores de cada zona ya que estará en condiciones equilibradas para asegurar el suministro de agua adecuado. La estimación del caudal de diseño es fundamental ya que permite realizar el diseño de las infraestructuras hidráulicas del sistema de abastecimiento. Además, es de suma importancia considerar las pérdidas por el transporte de agua de cada sistema, pérdidas que están consideradas dentro de las proyecciones de consumo del sistema de abastecimiento de la JAAPS con el 40% según el nivel de complejidad dado por el TITULO RAS 2000 Sistemas de acueducto 2010, valor que supera a lo establecido por la EPMAPS con un valor permisible de 25% máximo, los caudales para la optimización en los tanques de distribución se muestran en la gráfica siguiente.



Grafica 17: Caudal de diseño

Tabla 33: Caudales de demanda

AÑO	Población	Qmd (l/s)	QMD (l/s) Oferta	QMH (l/s) Demanda
Tanque Santa Catalina				
2020	3 798	11.12	15.56	25.57
2030	4 195	12.28	17.19	28.24
Tanque el Tambo 3				
2020	5 124	15	21	34.05
2030	5 660	16.57	23.19	38.11
Tanque el Rosario				
2020	6 636	19.43	27.20	44.68
2030	7 330	21.46	30.04	49.35

En la tabla 33 se aprecia que la demanda para el año 2020 y 2030 del tanque Santa Catalina, el Tambo 3 y Rosario son mayores a los de la oferta. Razón por la cual, se plantea regular el suministro de agua en los tanques de distribución con una dotación de 190 L/s puesto que el volumen de regulación actualmente no compensa las actividades y necesidades de la población como se muestra en la siguiente tabla 34.

- **Capacidad de almacenamiento actual y diseñado**

Tabla 34: Relación de volúmenes actuales y diseñados

Año	Volumen óptimo de regulación	Volumen tanque de almacenamiento	Consumo de la población
Tanque Santa Catalina			
2020	459 m ³	131 m ³	170 m ³
2030	508 m ³		188 m ³
Tanque el Tambo 3			
2020	584 m ³	100 m ³	214 m ³
2030	645 m ³		236 m ³
Tanque el Rosario			
2020	757 m ³	131 m ³	277 m ³
2030	836 m ³		306 m ³

La demanda de agua puede variar con ciertos factores como agua de buena calidad ya que los usuarios al estar seguros de contar con un agua óptima, el consumo tiende a ser mayor. Por otro lado, las características socioeconómicas y el correcto uso del recurso hídrico también influyen en el consumo de agua.

El volumen de los tanques de distribución actuales como se muestra en la tabla 34 es de 131 m³ y 100 m³, lo que indica que el almacenamiento de agua no es suficiente, ya que los resultados expuestos indican que para el año 2020 se requiere un volumen mínimo de 170 m³, 214 m³, 277 m³, ya que este volumen se consume durante todo el día. Por el contrario, para el año 2030 el periodo de diseño de los tanques de distribución cumple su funcionamiento de 30 años por lo que se requiere un volumen de almacenamiento de 188 m³, 236 m³, 306 m³, para compensar la demanda de la población para años posteriores.

Por otra parte, incluir el volumen contra incendios es innecesario puesto que el área de estudio cuenta con poblaciones pequeñas por tanque de distribución, por lo que su construcción no es óptima ya que cuenta con una capacidad de almacenamiento considerable como se muestra en la tabla 23, por lo cual su diseño e infraestructura es antieconómico. Sin embargo, en el caso de ser indispensable este volumen se debe hacer uso de hidrantes. El hidrante debe brindar un flujo de 5 l/s y abastecerse por una tubería de 3 pulgadas de diámetro, esto aplica para poblaciones entre 10000 a 20000 habitantes, en el que se considera 2 hidrantes para atender un incendio con una duración de 2 horas como mínimo. Además, el volumen de emergencia no se considera en este proyecto debido a las condiciones de la localidad. Sin embargo, se puede tener en cuenta este volumen al tomar el 25% o 30% de la suma de los volúmenes contra incendios y regulador lo cual cubrirá la demanda horaria y la demanda de incendios de la población. (Cualla, 2003)

3.6.3 Propuesta técnica para optimización de los tanques.

El tanque de distribución actual del barrio el Tambo es de cabecera por lo que abastece directamente a la población, sin embargo, su funcionamiento se ve afectado al transcurrir los años, por esta razón se propone un tanque de compensación de 40 m³ tipo MIDUVI, la selección de este tanque se debe a la diferencia de volúmenes entre el tanque el Tambo y los tanques Rosario y Santa Catalina como se muestra en la tabla 34. De este modo, el tanque el tambo carece de 31 metros cúbicos afectando el servicio continuo de agua a los moradores del sector. Mientras que los tanques Santa catalina y el Rosario a pesar de no contar con el volumen adecuado, satisface el servicio continuo de agua. Dadas estas razones el tanque propuesto garantiza las normativas establecidas por la EPMAPS y su forma circular ofrece una relación optima entre área y perímetro para mantener el servicio continuo.

El tanque que se propone será de compensación es decir va a estar llenándose y vaciándose continuamente, por lo que ayudará al tanque actual a recompensar las pérdidas en él, es decir, cuando no existe consumo, la totalidad del agua llega al tanque. Por otra parte, cuando el consumo es igual al suministro el agua no entra ni sale del tanque, de la misma manera cuando el consumo es mayor que el suministro se dotará de agua a la población tanto por la línea de distribución como el tanque de compensación. Este tanque se ubicará una cota mayor al tanque actual y en el espacio disponible que tiene la JAAPS, cabe mencionar que el tanque propuesto se puede implementar siempre y cuando se cumplan los requisitos establecidos por el autor, como se muestra en el anexo 3

- **Análisis de la Ubicación de los Tanques**

El recorrido se realizó en los tres tanques de distribución identificando que zonas del sector no cuentan con suficiente presión en la red de distribución, el problema más crítico que se identificó fue en el tanque el Tambo 3 ya que los domicilios adyacentes al tanque no cuentan con suficiente suministro de agua. La distancia que se tomó desde la captación hasta el tanque Santa Catalina fue de 1 Km, el desplazamiento que se llevó a cabo desde la captación hasta el tanque el Tambo fue de 2.4 Km, finalmente el recorrido entre la captación y el tanque el Rosario fue de 2.9 Km. A continuación, se presenta las coordenadas de los diferentes sistemas.

Tabla 35: Puntos GPs de los elementos pertenecientes al sistema
“Tanque a gravedad-barrio Santa Catalina”

Puntos GPS	Detalle	Latitud (WGS 84)	Longitud (WGS 84)	Altura
1	Vertiente Shushuri	0°21'52.9" S	78°33'04.0" O	3050
2	Pozo de captación	0°21'53.1" S	78°33'02.3" O	3048
	Pozo de captación	0°21'53.2" S	78°33'02.2" O	3047
3	Pozo de almacenamiento	0°21'53.0" S	78°33'00.9" O	3049
4	Tramo de tubería	0°21'52.1" S	78°32'59.5" O	3049
5	Tramo de Tubería, cambio de ruta.	0°21'50.3" S	78°32'59.5" O	3048
6	Tramo de tubería, cambio de ruta.	0°21'50.7" S	78°32'55.6" O	3047
7	Tramo de tubería, ruta recta.	0°21'51.6" S	78°32'55.1" O	3045
8	Válvula de aire	0°21'51.5" S	78°32'43.8" O	3045
	Válvula de purga	0°21'50.6" S	78°32'40.5" O	3043
9	Sistema de desinfección	0°21'50.4" S	78°32'38.9" O	3047
	Válvula reguladora de Caudal	0°21'50.6" S	78°32'39.0" O	3044
	Tanque de distribución a gravedad	0°21'50.6" S	78°32'39.0" O	3044

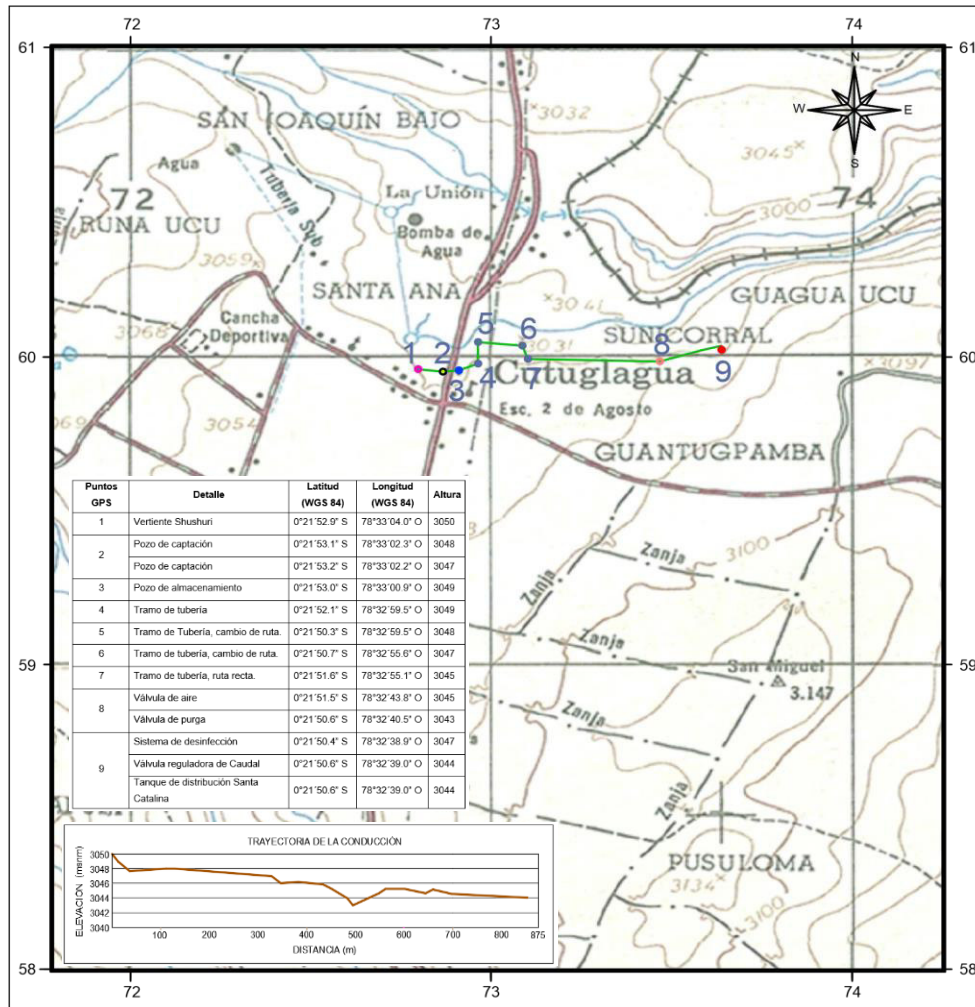
Tabla 36: Puntos GPs de los elementos pertenecientes al sistema
“Tanque a bombeo-barrio el Tambo 3”

Puntos GPS	Detalle	Latitud (WGS 84)	Longitud (WGS 84)	Altura
1	Pozo de Captación 1	0°21'38.7" S	78°33'10.2" O	2971
2	Válvula 1	0°21'38.4" S	78°33'09.5" O	2983
3	Tanque de almacenamiento y cuarto de bombeo	0°21'37.6" S	78°33'08.1" O	2989
	Válvula del tambo	0°21'37.7" S	78°33'08.2" O	2994
4	Sección cambio de diámetro turbina	0°21'37.7" S	78°33'08.5" O	3002

4	Tramo de tubería, Quebrada	0°21'39.7" S	78°33'04.6" O	3006
6	Pozo de drenaje de hierro	0°21'51.0" S	78°33'04.3" O	3035
7	Tramo de tubería, Av. Panamericana. Puente	0°21'57.4" S	78°33'02.2" O	3046
8	Tramo de tubería recta. esquina cambio de ruta	0°22'08.1" S	78°32'32.4" O	3095
9	Tramo de tubería, cambio de ruta hacia el tanque	0°22'27.9" S	78°32'35.7" O	3137
10	Válvula reguladora de Caudal	0°22'28.0" S	78°32'35.7" O	3141
	Sistema de desinfección	0°22'28.3" S	78°32'35.0" O	3144
	Tanque de distribución	0°22'28.3" S	78°32'35.0" O	3144

Tabla 37: Puntos GPS de los elementos pertenecientes al sistema "Tanque a bombeo el Rosario"

Puntos GPS	Detalle	Latitud (WGS 84)	Longitud (WGS 84)	Altura
1	Pozo de captación 2	0°21'38.7" S	78°33'09.9" O	2975
2	Válvula 2	0°21'37.8" S	78°33'08.4" O	2981
3	Tanque de almacenamiento y cuarto de bombeo	0°21'37.6" S	78°33'08.1" O	2989
	Válvula el Rosario	0°21'37.7" S	78°33'08.1" O	2997
4	Tramo de tubería, Quebrada	0°21'39.7" S	78°33'04.6" O	3006
5	Tramo de tubería vista	0°21'44.9" S	78°33'03.6" O	3029
6	Tramo de tubería (Iglesia)	0°21'56.9" S	78°33'05.2" O	3045
7	Tramo de Tubería, Av. Panamericana	0°22'17.8" S	78°33'05.6" O	3075
8	Tramo de tubería recta. esquina cambio de ruta	0°22'22.4" S	78°32'47.0" O	3113
9	Tramo de tubería, cambio de ruta hacia el tanque	0°22'44.6" S	78°32'43.5" O	3121
10	Válvula reguladora de Caudal	0°22'48.2" S	78°32'38.1" O	3142
	Sistema de desinfección	0°22'48.2" S	78°32'38.1" O	3142
	Tanque de distribución	0°22'48.0" S	78°32'37.9" O	3142



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

ESFOT
ESCUOLA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

PUNTOS GEO REFERENCIALES
TANQUE SANTA CATALINA
ESCALA: 1:5000

INTEGRANTES:
MIGUEL CHIQUITO
FREDERICK CHIMBO

Nº: 1
DIRECTORA:
ING. PATRICIA PANCHI



LEYENDA

- PUNTOS GEO REFERENCIALES
- VERTIENTE SHUSHURI
- POZOS DE CAPTACIÓN
- POZO DE ALMACENAMIENTO
- TRAMOS DE TUBERÍA
- VÁLVULA DE AIRE Y PURGA
- TANQUE DE DISTRIBUCIÓN
- CAUDAL
- PERFIL DE TUBERÍA
- CURVA DE NIVEL
- AVENIDA

Figura 16: Recorrido del sistema desde la captación hacia el tanque Santa Catalina

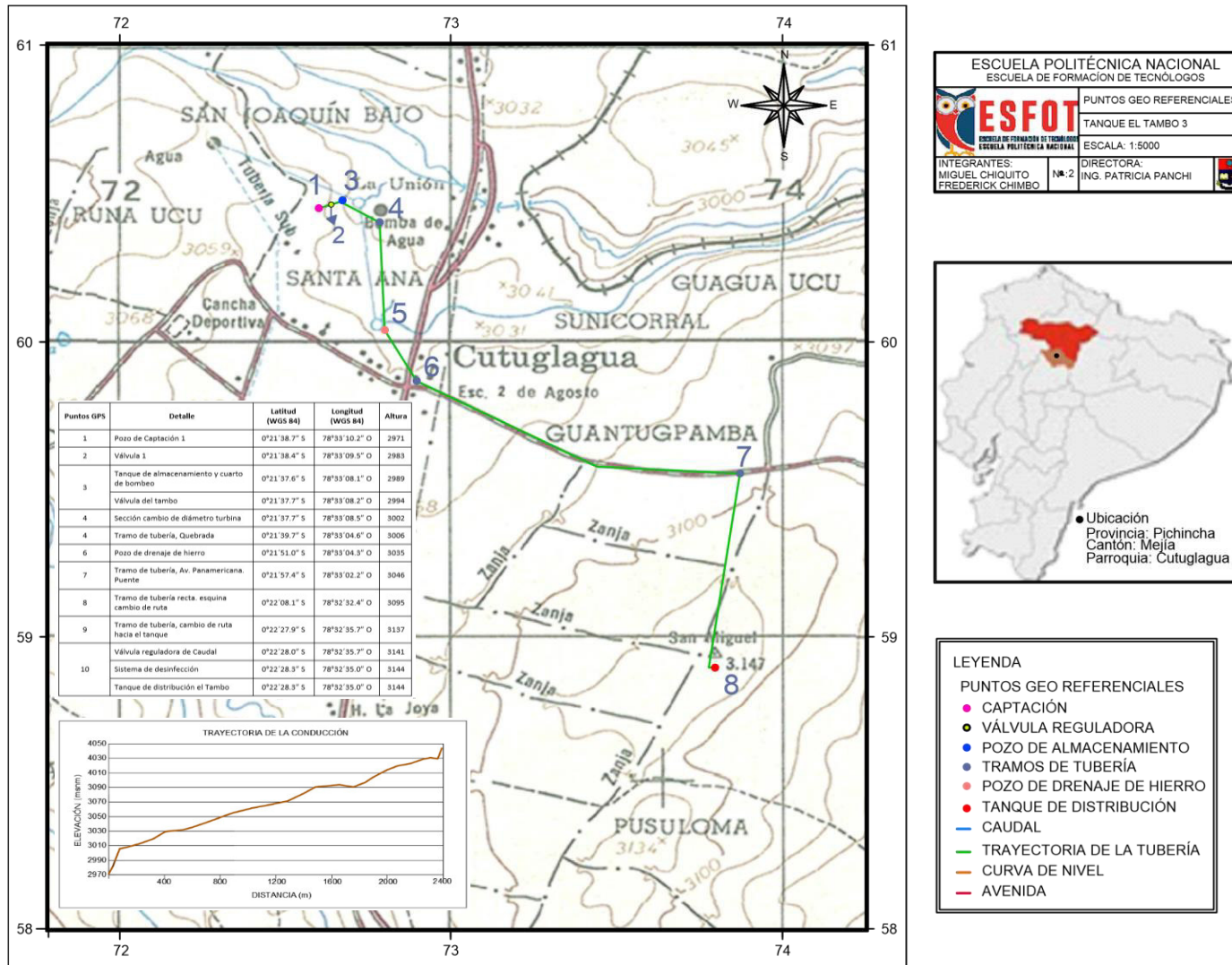
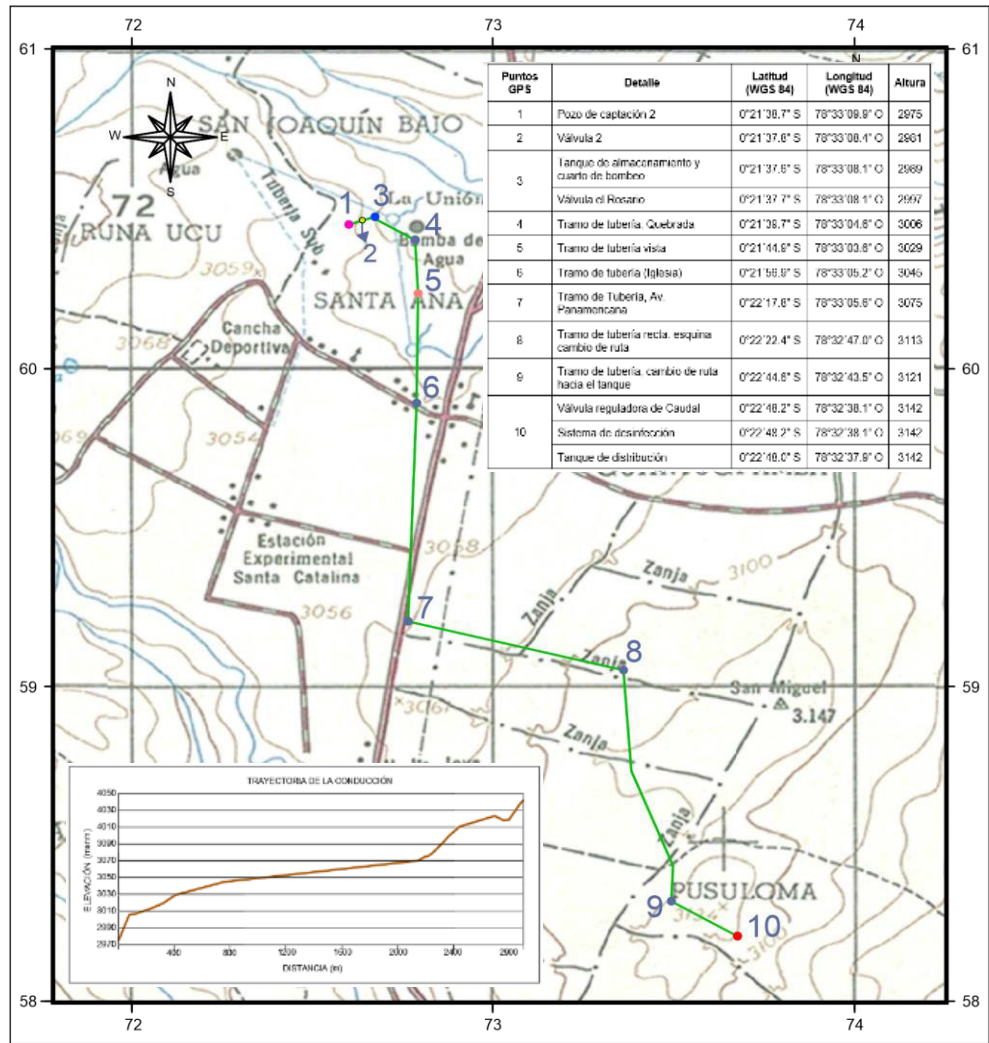


Figura 17: Recorrido del sistema desde la captación hacia el Tanque el Tambo 3



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

ESFOT

INTEGRANTES:
MIGUEL CHIQUITO
FREDERICK CHIMBO

PUNTOS GEO REFERENCIALES
TANQUE EL ROSARIO

ESCALA: 1:5000

DIRECTORA:
ING. PATRICIA PANCHI



LEYENDA

- PUNTOS GEO REFERENCIALES
- CAPTACIÓN
- VÁLVULA REGULADORA
- POZO DE ALMACENAMIENTO
- TRAMOS DE TUBERÍA
- POZO DE DRENAJE DE HIERRO
- TANQUE DE DISTRIBUCIÓN
- CAUDAL
- PERFIL DE TUBERÍA
- CURVA DE NIVEL
- AVENIDA

Figura 18: Recorrido del sistema desde la captación hacia el Tanque el Rosario

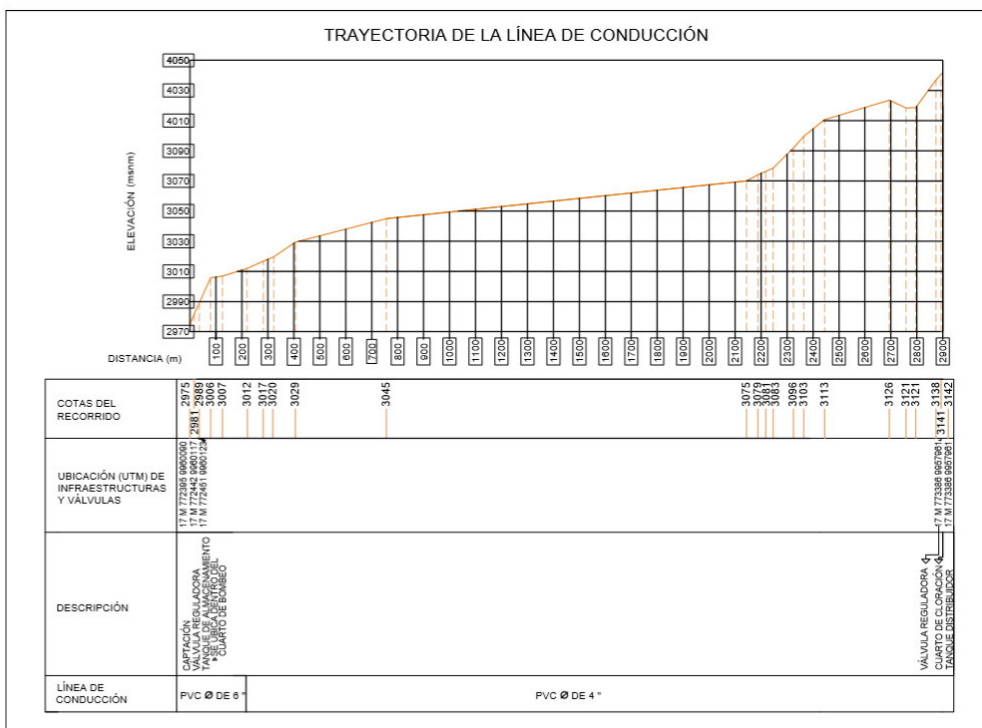


Figura 21: Recorrido de la línea de conducción del tanque el Rosario

Con respecto al recorrido por las líneas de conducción de cada tanque se observaron tramos de tubería vista en ciertos puntos, por ende, la profundidad de la tubería varía según la superficie del terreno. De la misma forma el terreno es susceptible a derrumbes lo que causa rupturas en las tuberías perjudicando el suministro a los tanques y causando cortes de agua a los habitantes.

La elevación que presenta el tanque Santa Catalina respecto al punto de captación es adecuada, lo que garantiza una presión uniforme en la zona de servicio. El tanque el Rosario se encuentra en el punto más elevado de su zona de servicio lo que garantiza las presiones mínimas en los sectores altos y las presiones máximas en los sectores bajos. Por otra parte, el tanque el Tambo 3 asegura las presiones máximas a las viviendas bajas, pero no garantiza las presiones mínimas a las viviendas adyacentes a este, ya que se encuentra ubicado al mismo nivel de la zona de servicio. Por esta razón el tanque a implementar se ubicará por encima de la cota del tanque actual, de tal manera que aumentará la carga piezométrica en las líneas de distribución y asegurará las presiones mínimas a los domicilios adyacentes.

3.6.4 Socialización de la Propuesta Técnica

Los resultados obtenidos durante la elaboración del proyecto fueron corroborados con los miembros de la directiva ya que realizaron pruebas de calidad de agua días después, en el cual se reflejaron datos similares a los obtenidos en este proyecto.

En cuanto a la población determinada, se expuso la demanda de agua requerida para satisfacer el consumo de la población considerando las horas de mayor y menor consumo, teniendo en cuenta el suministro por bombeo y gravedad al tanque de distribución de tal forma que se pudo obtener el volumen requerido para satisfacer la demanda de agua en las horas de mayor consumo, dada a la emergencia sanitaria la presentación del proyecto se realizó a través de la plataforma zoom como e muestra en la siguiente figura

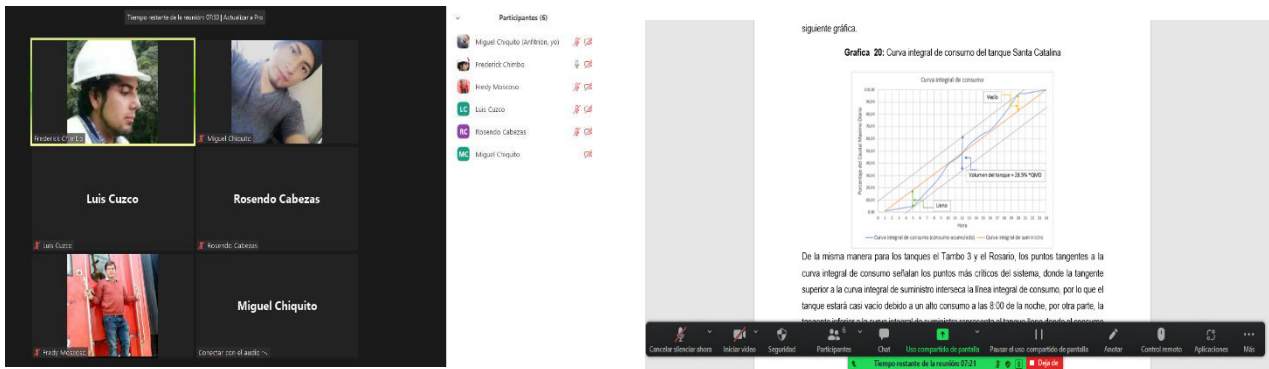


Figura 22: Presentación del proyecto a los directivos de la JAAPS

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos en el análisis de calidad de agua para las fuentes de captación demuestran que estas aguas pueden ser tratadas con procesos de desinfección empleando el cloro, ya que su composición es buena, no cuenta con presencia de microorganismos que son los principales causantes de enfermedades en el ser humano, por lo tanto, la JAAPS garantiza los índices de calidad de agua que distribuye a sus usuarios.
- Los valores obtenidos de la dureza del agua se encuentran dentro de las normas, pero se debe mencionar que se tiene concentraciones altas lo que afectaría a las redes de conducción y distribución ya que causan rupturas e incrustaciones en las tuberías, interrumpiendo el servicio continuo y generando costos en su mantenimiento.
- Al establecer la población actual se observó que el nivel de complejidad del sistema de abastecimiento de la JAAPS según RAS 2000 es medio, por lo que realizó las proyecciones de los habitantes y la población fluctuante para establecer la demanda de agua requerida en un periodo de diseño de 25 años.
- La JAAPS presenta un 26% de lotes no consolidados que al momento de urbanizarse deben ser dotados de agua, lo que provocaría un crecimiento poblacional exponencial de usuarios en la zona, que deberían ser considerados como parte del servicio a futuro.
- El sistema de abastecimiento de agua de la JAAPS presenta elementos que deben ser renovados, es el caso de los tanques de distribución que existen actualmente, de tal forma que garantice la demanda de agua en las horas definidas de mayor consumo, mediante la curva integral de suministro calculada ya que proporciona un flujo constante entre intervalos de tiempo tanto para el sistema a gravedad y bombeo.
- El sistema de Agua Potable de la JAAPS contará con un ajuste en el sistema por bombeo ya que se reducen las horas de funcionamiento de las bombas, garantizando costos mínimos de energía. Además, se propone un tanque de compensación de 40 m³ en el barrio el Tambo 3 considerando el área que dispone la JAAPS y cubra parte del volumen de regulación calculado. El tanque compensador se ubicará una cota mayor para garantizar el servicio en los domicilios adyacentes al tanque actual. Los niveles en los que se encuentran los tanques Santa Catalina y el Rosario son estables ya que garantizan las presiones mínimas y máximas en los domicilios.

- El informe técnico se entregó con la finalidad de dar a conocer los criterios de calidad de agua aptos para consumo humano y ratificando que el agua es segura para su consumo. Igualmente se dio a conocer la propuesta técnica para un mejoramiento óptimo del sistema de abastecimiento de agua de la JAAPS ya que ha sobrepasado su vida útil.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda que el proceso de desinfección se lo realice en los tanques de distribución, mas no en la red de distribución ya que sus concentraciones aumentarían provocando así un aspecto inadecuado en los domicilios iniciales.
- Se aconseja realizar el monitoreo de agua de forma periódica en los tanques de distribución ya que las fuentes de captación son seguras por tener características subterráneas, de tal manera que se minimicen costos en los análisis.
- Se sugiere la implementación de totalizadores en cada tanque de distribución que permitan medir el volumen de agua gastado en el transcurso del día, esto ayudará a corregir cualquier problema en el sistema de abastecimiento de agua como son fugas de agua o conexiones clandestinas.
- Dada la necesidad de contar con una dotación de agua continua para los moradores de la región, se recomienda la construcción de tanques compensadores ubicados en una cota mayor a los tanques de distribución, con el fin de garantizar las presiones máximas y mínimas en las urbanizaciones altas como bajas.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Acciona, Unusual as Business. (1 de 11 de 2020). *Acciona* . Obtenido de potabilizacion del agua : <https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/>
- Aguirre, F. M. (2015). *Abastecimiento de agua potable para comunidades rurales. Machala, Ecuador : Universidad Técnica de Machala.* Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6873>
- Ambiente, M. d. (2009). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGAS DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.* Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Andrade, M. A. (MAYO de 2015). *UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.* Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4871/1/120897.pdf>
- Betancourt, A. (2014). *EPMAPS.* Obtenido de <file:///C:/Users/MyO%20PC/Downloads/7682098.pdf>
- Carbotecnia. (19 de Febrero de 2021). *Carbotecnia* . Obtenido de Solidos Disueltos Totales: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/solidos-disueltos-totales-tds>
- Cardenas, D. L., & Patiño, F. E. (2010). *Universidad de Cuenca. Facultad de Ingenieria* . Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/725/1/ti853.pdf>
- Cárdenas, J. A. (2005). *Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.* Obtenido de https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=26612&shelfbrowse_itemnumber=36921#holdings
- Carrión, M. (20 de 3 de 2020). *Ágoraperia* . Obtenido de El Ágora diario del agua: <https://www.elagoradiario.com/agorapedia/cuanta-agua-planeta/>
- Chanaluisa, A. I. (2015). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.* Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4684/1/96T00303%20UDCTFC.pdf>

- Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para Acueductos y Alcantarillado*. Obtenido de file:///C:/Users/MyOPC/Downloads/Elementos_de_Diseño_para_Acueductos_y_Al.pdf
- Cueva, F. (2018). Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14995/tesis%20fer%2004-05-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ENCA. (2016). Obtenido de https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf
- EPMAPS. (MARZO de 2011). *Norma de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EMAAP-Q*. Obtenido de https://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/plan_maestro_agua_potable.pdf
- Espinoza, J., Pérez, D., & Gonzáles, M. (2006). *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/4921/1/72449.pdf>
- Fandiño, J. S., & Camargo, C. E. (Noviembre de 2013). *Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingenierías programa de Ingeniería civil, Bogotá D.C.* Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1101/2/Trabajo%20de%20grado%20Revisado.pdf>
- Gallego, M. T. (NOVIEMBRE de 2017). *Gerestión de Proyectos Informáticos*. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/17885/1/mtrigasTFC0612memoria.pdf>
- Gidahatari. (27 de 12 de 2013). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/gidahatari/protocolo-de-monitoreo-de-calidad-de-agua-subterranea>
- Gomezcoello, E. M., & Tacuri, M. X. (2017). *UNIVERSIDAD DE CUENCA*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27100/1/TESIS.pdf>
- Gonzalez, A. (5 de junio de 2013). *SlideShare*. Obtenido de sistemas convencionales de agua potable: <https://www.slideshare.net/AneuryGonzalez/sistemas-convencionales-de-abastecimiento-de-agua>
- Gústa, R. M. (25 de Septiembre de 2017). *OSE, Obras sanitarias del estado*. Obtenido de <http://www.ose.com.uy/agua/etapas-del-proceso-de-potabilizacion>

- INEN. (2003). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Quito: ECUADORIAN BUILDING CORE . Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf
- Isch, E. (2011). *CAMAREN*. Obtenido de <https://www.camaren.org/documents/contaminacion.pdf>
- Jurado, B. P. (2016). *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13464/BOL%C3%8DVAR%20PATRICIO%20L%C3%81RRAGA%20JURADO_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mejía, G. (s.f.). *Municipio del Canton Mejía*. Obtenido de <https://www.municipiodemejia.gob.ec/index.php/mejia/detalleParroquia/3>
- Molina, M. A. (Mayo de 2015). *UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO*. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4871/1/120897.pdf>
- Norma tecnica ecuatoriana, a. m. (20 de 09 de 2016). *Calidad del agua destinada al consumo humano*. Obtenido de <file:///C:/Users/MyO%20PC/Downloads/Dialnet-CalidadDelAguaDestinadaAlConsumoHumanoEnUnCantonDe-5774767.pdf>
- Osorio, B. G. (22 de Agosto de 2016). *Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Técnica Estatal de Quevedo*. Obtenido de <file:///C:/Users/MyOPC/Downloads/Dialnet-CalidadDelAguaDestinadaAlConsumoHumanoEnUnCantonDe-5774767.pdf>
- Oxfam. (26 de Marzo de 2020). *Importancia del abastecimiento de agua*. Obtenido de Entrada de blog: <https://blog.oxfamintermon.org/la-importancia-del-abastecimiento-de-agua/>
- RAS. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico* . Obtenido de https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- RAS. (2010). *Sistema de Acueducto*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4684/1/96T00303%20UDCTFC.pdf>
- Rivas, W. A. (2013). *Calidad Fisicoquímica del agua. Bogotá, Colombia* . Obtenido de <https://www.digitaliapublishing.com/a/39191/>
- Rojas, J. A. (2009). *Calidad de agua* . Colombia : Escuela Colombiana de Ingeniería . Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=i7FacgAACAAJ>

Secretaria del Agua . (8 de Abril de 2021). *Academia.edu* . Obtenido de Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el área Rural: https://www.academia.edu/29216562/NORMA_DE_DISEÑO_PARA_SISTEMAS_DE_ABASTECIMIENTO_DE_AGUA_POTABLE

SENAGUA. (2012). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Obtenido de Obtenido de https://www.agua.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.

Toro, C. G. (Octubre de 2011). *Servicio de Extensión Agrícola*. Obtenido de <https://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-862/maguaph.pdf>

Túcuman, G. d. (23 de Marzo de 2017). *Ministerio de desarrollo productivo, dirección de recursos hídricos* . Obtenido de <http://www.recursoshidricos.gov.ar/web/index.php/nuestra-funcion/2017-03-23-14-12-06/calidad-de-agua#:~:text=PARAMETROS%20FISICOS,Temperatura>

USAID. (2016). *MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE POR GRAVEDAD*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/USAID%202016.%20Manual%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20agua%20por%20gravidad..pdf

6 ANEXOS

Anexo 1: Libreta de campo

Libreta de Campo							
Punto de muestreo				Fecha			
Código de muestra				Hora			
Operador				Responsable			
Medición química en campo				Aforo de caudal			
Referencia				Referencia		Tiempo 1	
Cloro total				Volumen		Tiempo 2	
Cloro residual						Tiempo 3	
Medición de parámetros <i>insiste</i>							
Temperatura			Oxígeno disuelto			pH	
conductividad			Turbiedad				
Análisis para realizar en laboratorio							
Coliformes totales		Coliformes fecales		Dureza cálcica		Dureza total	
Alcalinidad		Color real		Color aparente		DQO	DBO
Observaciones							

Anexo 2: Encuesta de consumo de agua

Nombre _____
 Responsable _____

¿Cuáles son las horas de mayor consumo? marcar con un X

1	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	9	<input type="checkbox"/>	13	<input type="checkbox"/>	17	<input type="checkbox"/>	21	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	14	<input type="checkbox"/>	18	<input type="checkbox"/>	22	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	15	<input type="checkbox"/>	19	<input type="checkbox"/>	23	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	12	<input type="checkbox"/>	16	<input type="checkbox"/>	20	<input type="checkbox"/>	24	<input type="checkbox"/>

A qué hora empieza a correr el agua para realizar actividades cotidianas

Hora de inicio Hora de fin otros

Escribir del 1 al 10 el porcentaje de distribución horaria al transcurrir el día

1	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	9	<input type="checkbox"/>	13	<input type="checkbox"/>	17	<input type="checkbox"/>	21	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	14	<input type="checkbox"/>	18	<input type="checkbox"/>	22	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	15	<input type="checkbox"/>	19	<input type="checkbox"/>	23	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	12	<input type="checkbox"/>	16	<input type="checkbox"/>	20	<input type="checkbox"/>	24	<input type="checkbox"/>

Cuáles son las principales actividades que consumen agua

Aseo personal Agricultura
 Alimentación Limpieza en general
 Otros _____

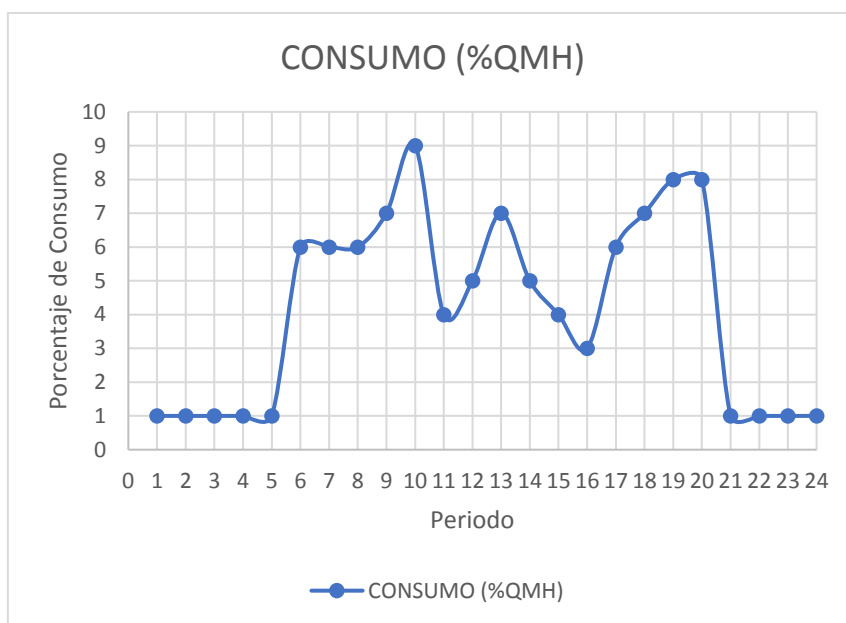
Observaciones

Anexo 3: Propuesta técnica de optimización de volumen

EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA QUE SE DISTRIBUYE DESDE LOS TANQUES DE ABASTECIMIENTO DE LA JUNTA ADMINISTRATIVA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA PARROQUIA DE CUTUGLAGUA.

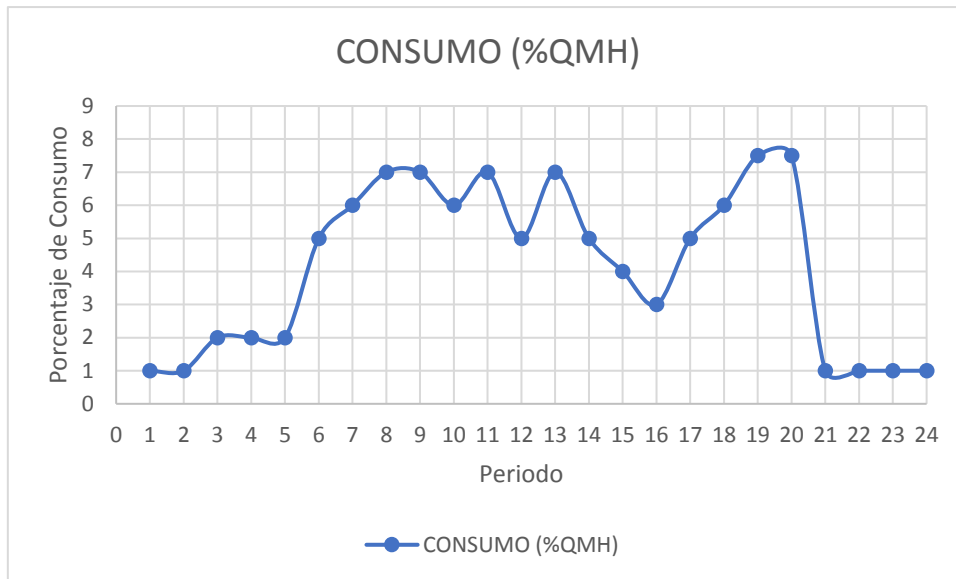
Los tanques de distribución de la JAAPS no cuentan con el volumen de regulación necesario para la cantidad de personas que habitan el sector. Por lo que se debe considerar una optimización de volumen en los tanques de distribución existentes como también el planteamiento de un nuevo tanque ubicado en el barrio el Tambo 3 ya que su periodo de diseño se encuentra obsoleto y sus dimensiones no son las adecuadas para el caudal captado.

La gráfica de consumo del caudal máximo horario del tanque Santa Catalina, señala que las actividades de mayor consumo de agua se presentan a partir de las 5:00 hasta las 10:00 de la mañana, de 11:00 a 13:00 de la tarde y de 16:00 a 20:00 de la noche. Vale indicar que el consumo es debido a las actividades de cada hogar y sus necesidades.



Grafica 18: Curva del consumo horario del tanque Santa Catalina

El tanque el Tambo 3 y el Rosario, muestran características similares de consumo del caudal máximo horario, señalando que las actividades de mayor consumo de agua se presentan entre: las 5:00 a 9:00 de la mañana, a las 11:00 de la mañana, a la 13:00 de la tarde; y, de 16:00 a 20:00 de la noche. Cabe recalcar que el consumo de los dos tanques empieza desde las 2:00 de la mañana debido a que se realiza actividades de avicultura.



Grafica 19: Curva del consumo horario del tanque el Tambo 3 y Rosario

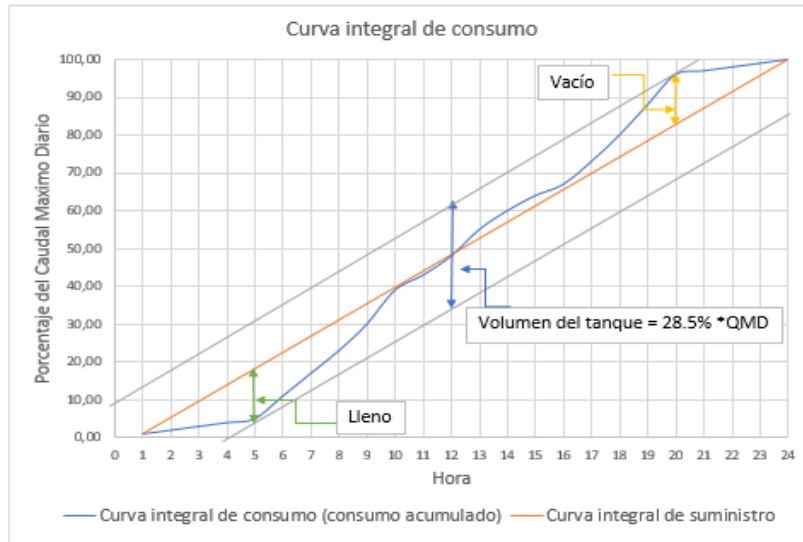
Dadas las gráficas 18 y 19 la JAAPS presenta un alto consumo en metros cúbicos de agua debido a las actividades de los moradores en cada hogar, como son el aseo personal, alimentación y limpieza en general. Sin embargo, se observan cortos periodos de consumo de agua entre las 9:00 y 11:00 de la mañana que corresponde a las actividades agrícolas y ganaderas, por lo tanto, es de suma importancia conocer las horas de mayor y menor consumo que presenta cada tanque de distribución, ya que permitirá suministrar la cantidad de agua que compensen las irregularidades del consumo de la población como las horas del desayuno, almuerzo y merienda. Adicionalmente las actividades de aseo personal se presentan en las mismas horas de alimentación por lo que aumenta el consumo de agua. Cabe mencionar, que, al establecer las horas con alto consumo de agua, permitirá un suministro adecuado hacia los tanques de distribución y por consiguiente se garantiza una distribución de agua constante hacia los moradores, es decir, reduce los cortes de agua.

Las gráficas 20 y 21 muestran la determinación del volumen de los tanques, donde la línea que une los puntos de inicio y fin de la curva integral de consumo del caudal medio diario de los habitantes del tanque Santa Catalina, Tambo 3 y el Rosario, representa la línea integral de suministro.

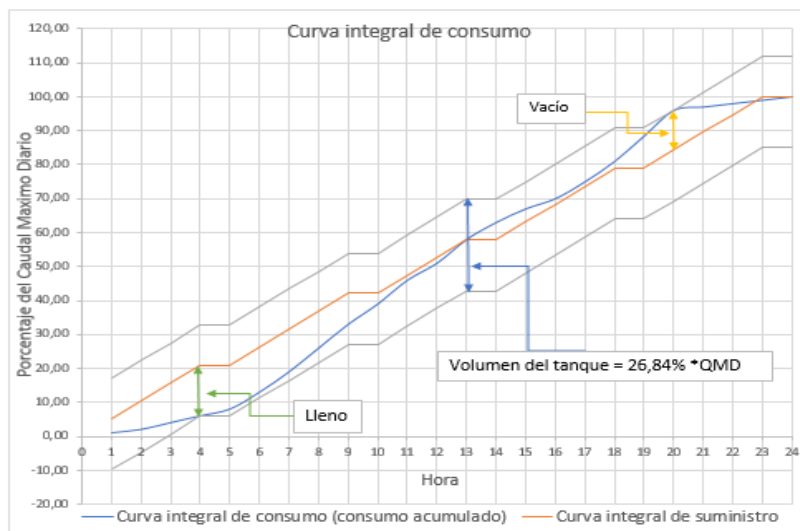
El análisis realizado para el tanque Santa Catalina, en donde las paralelas existentes son tangentes al punto más bajo y alto de la curva integral de consumo, representan los puntos de intersección con la curva integral de suministro, lo que indica que, en el punto más bajo el tanque esta completamente lleno, ya que el consumo es mínimo a las 5:00 de la mañana, mientras que en el punto más alto pasa lo contrario, es decir, el consumo es demasiado

elevado a las 8:00 de la noche por lo que el tanque estará casi vacío, como se presenta en la siguiente gráfica.

Grafica 20: Curva integral de consumo del tanque Santa Catalina



De la misma manera para los tanques el Tambo 3 y el Rosario, los puntos tangentes a la curva integral de consumo señalan los puntos más críticos del sistema, donde la tangente superior a la curva integral de suministro interseca la línea integral de consumo, por lo que el tanque estará casi vacío debido a un alto consumo a las 8:00 de la noche, por otra parte, la tangente inferior a la curva integral de suministro representa el tanque lleno donde el consumo es menor a las 5:00 de la mañana, como se muestra en la siguiente gráfica.



Grafica 21: Curva integral de consumo del tanque el Tambo 3 y el Rosario

Como se observa en las gráficas 20 y 21 el análisis se realizó en porcentajes ya que es factible para todo tipo de sistema de abastecimiento, dando como resultado el volumen adecuado del tanque distribuidor, ya que el suministro es constante, el mismo que llena el

tanque que a su vez se vacía debido al consumo de los habitantes en el transcurso del día. En consecuencia, no se desperdicia volumen y no se tendrá agua estancada durante mucho tiempo en el tanque.

Cabe mencionar que en algún momento el tanque se va a vaciar y sería lo ideal, pero no cuando los moradores estén consumiendo agua, sino que este vacío en un punto donde se iguale el consumo con el suministro y llegar a tener un valor de cero en cuanto al déficit acumulado, entonces el volumen óptimo del tanque distribuidor que se requiere se da entre las dos paralelas extremas.

- **Optimización de los volúmenes de los tanques**

En la Tabla 38, se muestra también los resultados del volumen de almacenamiento de los tanques de distribución que requiere la JAAPS para abastecer a su población.

Tabla 38: Volumen regulador

Año	Volumen óptimo de regulación	Volumen tanque de almacenamiento	Consumo de la población
Tanque Santa Catalina			
2020	459 m ³	131 m ³	170 m ³
2030	508 m ³		188 m ³
Tanque el Tambo 3			
2020	584 m ³	100 m ³	214 m ³
2030	645 m ³		236 m ³
Tanque el Rosario			
2020	757 m ³	131 m ³	277 m ³
2030	836 m ³		306 m ³

El volumen de los tanques de distribución es de 131 m³ y 100 m³, lo que indica que el almacenamiento de agua no es suficiente para equiparar la capacidad del tanque regulador, ya que los resultados expuestos indican que para el año 2020 se requiere un volumen mínimo de 170 m³, 214 m³, 277 m³, ya que este volumen es consumido durante todo el día. Por el contrario, para el año 2030 el periodo de diseño de los tanques de distribución cumple su funcionamiento de 30 años por lo que se requiere un volumen de almacenamiento de 188 m³, 236 m³, 306 m³, para compensar la demanda de la población para años posteriores.

Por otra parte, incluir el volumen contra incendios es innecesario puesto que el área de estudio cuenta con poblaciones pequeñas por tanque de distribución, por lo que su construcción no es óptima ya que cuenta con una capacidad de almacenamiento considerable como se muestra en la tabla 23, por lo cual su diseño e infraestructura es antieconómico. Sin embargo, en el caso de ser indispensable este volumen se debe hacer uso de hidrantes. El hidrante debe brindar un flujo de 5 l/s y abastecerse por una tubería de 3 pulgadas de diámetro, esto aplica para poblaciones entre 10000 a 20000 habitantes, en el que se

considera 2 hidrantes para atender un incendio con una duración de 2 horas como mínimo. Además, el volumen de emergencia no se considera en este proyecto debido a las condiciones de la localidad. Sin embargo, se puede tener en cuenta este volumen al tomar el 25% o 30% de la suma de los volúmenes contra incendios y regulador lo cual cubrirá la demanda horaria y la demanda de incendios de la población. (Cualla, 2003)

- **Tanque compensador**

El tanque de distribución actual del barrio el Tambo es de cabecera por lo que abastece directamente a la población, sin embargo, su funcionamiento se ve afectado al transcurrir los años, por esta razón se propone un tanque de compensación de 40 m³ tipo MIDUVI, dado que garantiza las normativas establecidas por la EPMAPS y su forma circular ofrece una relación óptima entre área y perímetro para mantener el servicio continuo.

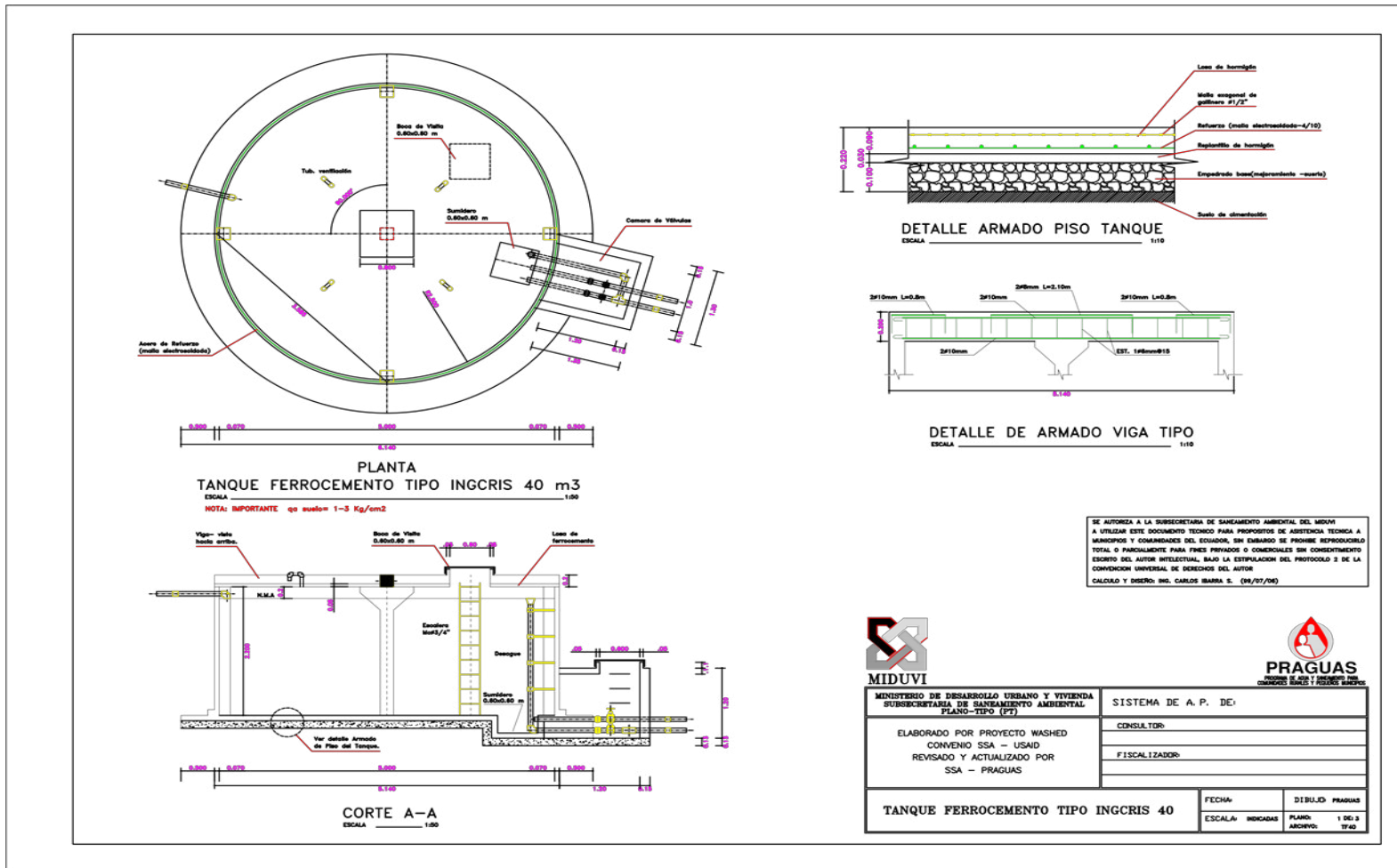


Figura 23: Plano del tanque compensador

Fuente: (Carlos Ibarra)

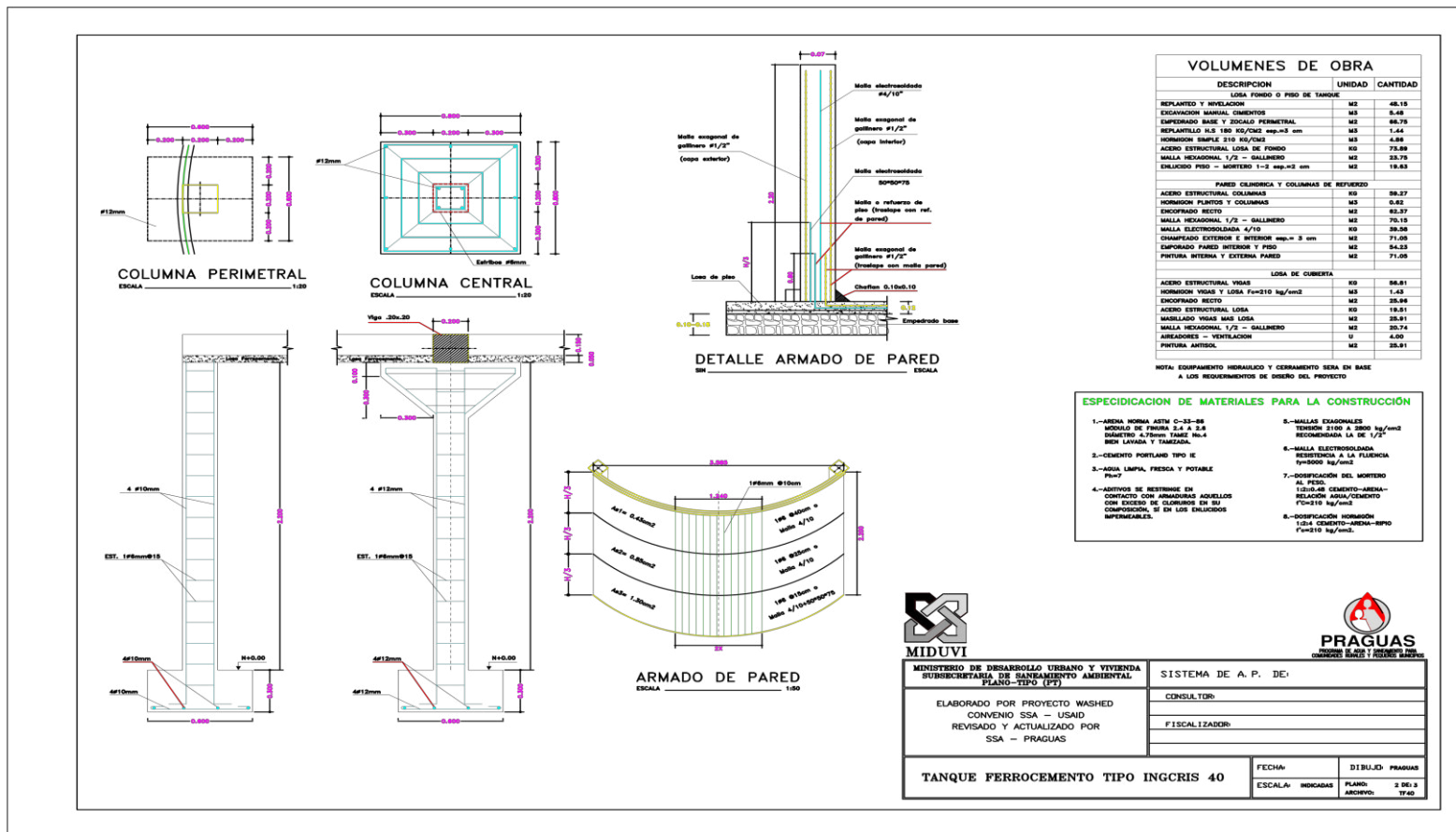


Figura 24: Plano del tanque compensador

Fuente: (Carlos Ibarra)