



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL MENCIÓN
SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**PROYECTO DE TITULACIÓN CON COMPONENTES DE
INVESTIGACIÓN Y /O DESARROLLO PREVIO A LA TÍTULO DE:
MAGISTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN
HIDRÁULICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE
EPANET 2.0 DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN PROYECTO PUICHIG
DE LA PARROQUIA DE AMAGUAÑA-QUITO**

**AUTOR: JUAN CARLOS PACHACAMA CAIZA
DIRECTOR: DR. CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA, PHD**

PUYO – ECUADOR

2022



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-013A

FORMATO DP-UT- 013A: DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, PACHACAMA CAIZA JUAN CARLOS, con cédula de identidad 1717262016, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo titulado “Implementación de un modelo de simulación hidráulica mediante la aplicación del software EPANET 2.0 de la red de distribución Proyecto Puichig de la parroquia de Amaguaña-Quito”, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad del autor; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Pachacama Caiza Juan Carlos'.

PACHACAMA CAIZA JUAN CARLOS
CI. 1717262016



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-013B

FORMATO DP-UT-013B: CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN

EL TRIBUNAL DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN

CERTIFICA QUE:

El presente trabajo “Implementación de un modelo de simulación hidráulica mediante la aplicación del SOFTWARE EPANET 2.0 de la red de distribución proyecto Puichig de la parroquia de Amaguaña-Quito”, bajo la responsabilidad del/la maestrante PACHACAMA CAIZA JUAN CARLOS, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación:

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

DR. REINIER ABREU NARANJO
PRESIDENTE DE TRIBUNAL EVALUADOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DR. YUDEL GARCÍA QUINTANA
MIEMBRO 1

MGS. PAÚL MARCELO MANOBANDA PINTO
MIEMBRO 2



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO _ DP-UT-011

FORMATO DP-UT-011: AVAL DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL MENCIÓN SANEAMIENTO AMBIENTAL

COHORTE: PRIMERA

FECHA DE ELABORACIÓN: 07/11/2022

INFORME FINAL Y AVAL

Quien suscribe, Carlos Alfredo Bravo Medina portador de la cédula de identidad número: **1757015373**, en calidad de Director del trabajo de titulación denominado: Implementación de un modelo de simulación hidráulica mediante la aplicación del software EPANET 2.0 de la red de distribución Proyecto Puichig de la parroquia de Amaguaña-Quito, opción Proyecto de trabajo de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo, a cargo del maestrante Juan Carlos Pachacama Caiza, portador del número de cédula de identidad: **1717262016**, certifico haber acompañado y revisado el documento entregado a mi persona, considero que cumple con los objetivos planteados, los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.

Por lo antes expuesto se avala el trabajo de titulación para que sea presentado para la sustentación correspondiente.

ELABORADO POR:

**CARLOS
ALFREDO
BRAVO
MEDINA**

Firmado digitalmente
por CARLOS ALFREDO BRAVO
MEDINA
DN: cn=CARLOS ALFREDO
BRAVO MEDINA o=EC
ou=SECURITY DATA S.A. 2
ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION
Motivo: Soy el autor de este
documento
Ubicación:
Fecha: 2022.11.08 18:01:05.00

Carlos Alfredo Bravo Medina
CI: 1757015373

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-013C

FORMATO DP-UT-013C: CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

Quien suscribe el presente Dr. Bravo Medina Carlos Alfredo con CI: 1757015373, certifica que el Proyecto final de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo titulado: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE EPANET 2.0 DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN PROYECTO PUICHIG DE LA PARROQUIA DE AMAGUAÑA - QUITO” ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 4 %.

En el cantón Pastaza, a los 07 días del mes de noviembre del 2022.

CARLOS
ALFREDO
BRAVO
MEDINA

Firmado digitalmente
por CARLOS ALFREDO
BRAVO MEDINA
DN: cn=CARLOS ALFREDO
BRAVO MEDINA, o=EC
o=SECURITY DATA S.A. 2
ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION
Motivo Soy el autor de este
documento.
Ubicación:
Fecha: 2022-11-02 16:56:05:00

Dr. Bravo Medina Carlos Alfredo
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

DOCUMENTO GENERADO DEL PANEL DEL URKUND



Document Information

Analyzed document	TESIS MAESTRIA UEA JUAN URKUND.docx (D148461112)
Submitted	2022-11-02 20:08:00
Submitted by	
Submitter email	cbravo@uea.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	cbravo.uea@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	TERMINACION+DE+TESIS+2022+corregida.docx Document TERMINACION+DE+TESIS+2022+corregida.docx (D140127827)		1
SA	PROYECTO DE TITULACIÓN - RUALES _ SANTORO.pdf Document PROYECTO DE TITULACIÓN - RUALES _ SANTORO.pdf (D144005924)		3
SA	TESIS CALLE PAUTA FORMATO DEFINITIVO.docx Document TESIS CALLE PAUTA FORMATO DEFINITIVO.docx (D119107253)		1
W	URL: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9-1.pdf Fetched: 2021-08-12 19:22:23		8
SA	Tesis [Vctor Eduardo Guachisaca Contenido].pdf Document Tesis [Vctor Eduardo Guachisaca Contenido].pdf (D13194286)		3
SA	TESIS GUERRERO PAUL.pdf Document TESIS GUERRERO PAUL.pdf (D59864749)		1
SA	TESIS CARRILLO-GUIMBIAMBA.pdf Document TESIS CARRILLO-GUIMBIAMBA.pdf (D31636876)		5
SA	TESIS_EVELYN_IZA.docx Document TESIS_EVELYN_IZA.docx (D34958164)		1
SA	PERFIL DE TESIS - PEREZ MABEL.pdf Document PERFIL DE TESIS - PEREZ MABEL.pdf (D111352738)		1

Entire Document

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE EPANET 2.0 DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN PROYECTO PUICHIG DE LA PARROQUIA DE AMAGUAÑA - QUITO
RESUMEN EJECUTIVO

AGRADECIMIENTO

En el presente trabajo de investigación arduo y lleno de dificultades es inevitable mencionar y agradecer a las personas e instituciones que me han facilitado información y las cosas necesarias para llevar a cabo este trabajo. Por ello, es para mí un verdadero placer e imprescindible utilizar este pequeño espacio para expresar mis agradecimientos.

Primeramente, el más sincero y profundo agradecimiento a la Universidad Estatal Amazónica por la acogida y la oportunidad que nos brinda para nuestra formación profesional.

Debo agradecer de manera especial a mi familia padre, madre, hermanos y sobrinos en especial a mi madre por el apoyo incondicional el cual me ha permitido en mi mejora como profesional.

Agradecer al personal administrativo del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, por su colaboración activa en la elaboración de la presente investigación.

Quiero expresar también un sincero agradecimiento al señor José Pedro Socasi, principal fundador y promotor del Proyecto Puichig, por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta investigación.

RESUMEN EJECUTIVO

El agua es un recurso natural escaso e indispensable para la vida. En este contexto el presente trabajo tuvo como objetivo realizar una propuesta de implementación de un modelo de simulación hidráulica mediante la aplicación del software EPANET 2.0 de la red de distribución Proyecto Puichig de la parroquia de Amaguaña-Quito, así como la evaluación de la calidad del agua a través de parámetros físico-químicos y microbiológicos. La investigación fue de tipo aplicada, no experimental de nivel descriptivo. Una vez realizado la evaluación y de acuerdo a los resultados obtenidos se encuentran infraestructura en buenas condiciones, parámetros físico-químicos y microbiológicos dentro de límites permisibles existiendo zonas críticas en las cuales se evidencian parámetros de DQO y cloro residual fuera de especificaciones. Como resultado de la modelación se evidencia irregularidades en ciertos puntos de la red respecto a los parámetros como velocidad, presiones principalmente en las cotas bajas del sistema. Con los datos obtenidos se plantearon alternativas de solución como: programas de capacitación en operación y mantenimiento en redes de distribución a personal administrativo y la modificación de diámetros e implementación de válvulas reductoras de presión en las zonas críticas del área de servicio del sistema. Finalmente, los resultados destacan que el uso de tecnologías en la actualidad es una herramienta necesaria para garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua permitiendo a operadores a una mayor efectividad y la toma de mejores decisiones frente a posibles daños en los sistemas de distribución.

Palabras clave: Modelamiento hidráulico, calidad, EPANET.

EXECUTIVE SUMMARY

Water is a scarce and essential natural resource for life. In this context, the present work aimed to make a proposal for the implementation of a hydraulic simulation model through the application of the EPANET 2.0 software of the Puichig Project distribution network of the parish of Amaguaña-Quito, as well as the evaluation of the quality of the water through physical-chemical and microbiological parameters. The research was of an applied type, not experimental at a descriptive level. Once the evaluation has been carried out and according to the results obtained, the infrastructure is in good condition, physical-chemical and microbiological parameters are within permissible limits, with critical areas in which COD and residual chlorine parameters are found to be out of specifications. As a result of the modeling, irregularities are evident in certain points of the network with respect to parameters such as speed, pressures, mainly in the lower levels of the system. With the data obtained, alternative solutions were proposed, such as: training programs in operation and maintenance in distribution networks for administrative personnel and the modification of diameters and implementation of pressure-reducing valves in the critical areas of the system's service area. Finally, the results highlight that the use of technologies today is a necessary tool to guarantee the availability and sustainable management of water, allowing operators to be more effective and make better decisions in the face of possible damage to distribution systems.

Keywords: Hydraulic modeling, quality, EPANET.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	II
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	III
AVAL DEL DIRECTOR	IV
CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO V	
DOCUMENTO GENERADO DEL PANEL DEL URKUND	VI
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN EJECUTIVO	VIII
EXECUTIVE SUMMARY	IX
TABLA DE CONTENIDO	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	2
1.2 PROBLEMA.....	3
1.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivo Específico	5
CAPITULO II.....	6
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1. EPANET - ANTECEDENTES.....	6
2.2. BASES TEÓRICAS	8
2.2.1. Agua Cruda.....	8
2.2.2. Agua para consumo humano	8
2.2.3. Calidad del agua cruda	9
2.2.4. Calidad del agua tratada	9
2.2.5. Parámetros físico-químicos	9
2.2.6. Parámetros Microbiológicos.....	11
2.3. RED DE DISTRIBUCIÓN	11

2.3.6.	Componentes de la red de distribución.....	14
2.4.	PARAMETROS HIDRÁULICOS	15
2.4.1.	Velocidades	15
2.4.2.	Presión	15
2.4.3.	Diámetros	15
2.4.4.	Pérdidas de carga en tuberías.....	15
2.4.5.	Coeficiente de rugosidad	16
2.4.6.	Periodo de diseño	16
2.5.	ASPECTOS LEGALES.....	17
2.5.1.	Normas Ecuatorianas	17
2.5.2.	La Constitución Política de la República del Ecuador	18
2.5.3.	Juntas Administradoras de Agua Potable	19
CAPITULO III		20
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1.	LOCALIZACIÓN.....	20
3.1.1.	Ubicación fuente de captación Puichig	21
3.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN	22
3.2.1.	Población actual.....	22
3.2.2.	Población futura.....	23
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
3.4.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	23
3.5.	TRATAMIENTO DE DATOS	24
3.5.1.	Metodología de la Investigación.....	24
3.6.	RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES	33
CAPITULO IV		34
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1.	CARACTERIZACION DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	34
4.1.1.	Levantamiento de catastro	34
4.1.2.	Fuentes de captación.....	34
4.1.3.	Reservorio.....	35
4.1.4.	Depósitos de agua.....	36
4.1.5.	Cámara rompe presión.....	36
4.1.6.	Línea de conducción	37
4.1.7.	Tuberías	40

4.1.8.	Válvulas	40
4.1.9.	Cruce de quebrada	40
4.1.10.	Área de aportación.....	40
4.2.1.	Análisis de encuestas en la población	43
4.2.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	47
4.2.1.	Parámetros Físico-químicos	47
4.2.1.8.	Parámetros químicos.....	50
4.2.2.	Parámetros Microbiológicos.....	51
4.3.	MODELACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DIRECTORIO DE AGUAS “LA VAQUERÍA-SAN JUAN”.	53
4.3.1.	Cotas	53
4.3.2.	Diámetros	54
4.3.3.	Presiones.....	54
4.3.4.	Velocidades	56
4.3.5.	Caudales	56
4.3.6.	Pérdidas unitarias.....	57
4.4.	PROPUESTA DE MODELAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DIRECTORIO DE AGUAS “LA VAQUERÍA-SAN JUAN”.	60
4.4.1.	Diámetros	61
4.4.2.	Presión	61
4.4.3.	Velocidad.....	62
4.4.4.	Caudales	63
4.4.5.	Pérdidas Unitarias.....	64
4.5.	SIMULACIÓN DOSIFICACIÓN DE CLORO	64
4.5.1.	Evaluación del comportamiento del cloro en el tiempo	65
4.6.	EVALUACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO	67
4.7.	VALIDACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO.....	68
4.8.	VALIDACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD	68
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES	72
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	73
	ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de rugosidad-----	16
Tabla 2. Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable -----	17
Tabla 3. Ubicación de puntos de muestreo del sistema de distribución de agua del directorio “La Vaquería- San Juan”.-----	27
Tabla 4. Fuentes de abastecimiento de agua en los 11 barrios en estudio de la parroquia de Amaguaña. -----	35
Tabla 5. Parámetros de olor y sabor medidas <i>in situ</i> . -----	47
Tabla 6. Comparación de valores de pH vs Norma NTE INEN 1108-----	48
Tabla 7. Comparación de valores de turbiedad vs norma NTE INEN 1108-----	49
Tabla 8. Comparación de valores de DBO ₅ vs Norma TULSMA -----	49
Tabla 9. Comparación de valores de DQO ₅ vs Norma TULSMA.-----	50
Tabla 10. Comparación de valores de cloro residual vs Norma INEN 1108 -----	50
Tabla 11. Parámetros químicos en la fuente de captación Puichig vs Norma TULSMA---	51
Tabla 12. Comparación de índice de coliformes fecales vs Norma INEN 1108-----	51
Tabla 13. Resumen del modelo hidráulico -----	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes físicos de una red de distribución de agua	6
Figura 2. Red ramificada	12
Figura 3. Red cerrada o mallada.....	12
Figura 4. Red mixta	13
Figura 5. Barrios beneficiados de la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" de la parroquia de Amaguaña.	20
Figura 6. Ubicación geográfica de la parroquia de Amaguaña	21
Figura 7. Ubicación de la fuente de captación de Puichig.....	21
Figura 8. Población y familias beneficiadas de la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" de las fuentes de Puichig.....	22
Figura 9. Encuesta a los usuarios del directorio de aguas	26
Figura 10. Toma de muestras de agua	28
Figura 11. Análisis de muestras in situ.....	28
Figura 12. Configuración del modelo en EPANET.....	30
Figura 13. Conversión del catastro a EPANET.....	31
Figura 14. Medición del caudal método volumétrico.....	32
Figura 15. Fuentes de captación de agua del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".....	35
Figura 16. Reservorio del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".	36
Figura 17. Depósito de agua - San Juan	36
Figura 18. Cámara rompe presión	37
Figura 19. Tubería de línea de conducción.....	37
Figura 20. Línea de conducción del proyecto Puichig.	39
Figura 21. Tubería en el área de servicio barrio Peluche	40
Figura 22. Áreas de aportación de la red de distribución en los 11 barrios del sur oriente de la parroquia de Amaguaña.	42
Figura 23. Percepción de los usuarios respecto a la calidad del agua	43
Figura 24. Evaluación de la calidad del agua.	44
Figura 25. Porcentaje de continuidad e intermitencia en el servicio de agua.....	44
Figura 26. Porcentaje de disponibilidad de servicios básicos.	45
Figura 27. Descarga de aguas residuales domésticas.	46
Figura 28. Valores de temperatura medidos in situ.	48
Figura 29. Visualización de cotas en nodos en EPANET.	53

Figura 30. Mapa de diámetros de tuberías en EPANET.....	54
Figura 31. Modelado de presiones en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".	55
Figura 32. Resultado de presiones en EPANET.....	55
Figura 33. Modelado de velocidades en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".	56
Figura 34. Modelado de caudales circulantes en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" (l/s).....	57
Figura 35. Modelado de pérdidas unitarias generadas en las tuberías del sistema del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan" (mca/km).	58
Figura 36. Mapa de diámetros de tuberías en EPANET.....	61
Figura 37. Modelado de presiones en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".	62
Figura 38. Modelado de velocidades en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan.	63
Figura 39. Modelado de caudales circulantes en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" (l/s).....	63
Figura 40. Modelado de pérdidas unitarias generadas en las tuberías del sistema del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan" (mca/km).	64
Figura 41. Simulación dosificación de cloro en EPANET.....	65
Figura 42. Comportamiento de cloro en un tramo de la tubería en el barrio Peluche.....	65
Figura 43. Comparación de mediciones y el modelo EPANET del comportamiento hidráulico de la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan".....	68
Figura 44. Comparación de mediciones y el modelo EPANET de la calidad del agua del directorio "La Vaquería-San Juan".....	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Concesión de agua al directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" 2003.	78
Anexo 2. Concesión de aguas al directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" 2003.....	79
Anexo 3: Concesión de aguas al directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" 2015.	80
Anexo 4. Línea de conducción del proyecto Puichig "La Vaquería-San Juan".	81
Anexo 5. Red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" – Primera parte	82
Anexo 6. Red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan"- Segunda parte.	83
Anexo 7. Formato de encuesta	84
Anexo 8. Análisis físico-químico y microbiológico.....	85
Anexo 9. Análisis físico-químico - Fuente de captación Puichig.....	86
Anexo 10. Análisis físico-químico - Antes del reservorio	87
Anexo 11. Análisis físico-químico - Después del reservorio.	88
Anexo 12. Análisis físico-químico- Barrio Peluche.....	89
Anexo 13. Análisis microbiológico-Fuente de captación de Puichig.....	90
Anexo 14. Análisis microbiológico-Antes del Reservorio.....	91
Anexo 15. Análisis microbiológico-Después del Reservorio.....	92
Anexo 16. Análisis microbiológico-Barrio Peluche.....	93
Anexo 17. Análisis químico-Fuente de captación Puichig.....	94

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida de todos los seres vivos y desarrollo de la humanidad. En los últimos años la disponibilidad de agua por habitante ha disminuido principalmente por problemas de contaminación, sequia, crecimiento poblacional, uso descontrolado y despilfarro lo que ha generado limitaciones en este recurso, que cada día tiene mayor impacto en la sociedad.

Los barrios pertenecientes al directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” de la parroquia de Amaguaña ciudad de Quito, provincia de Pichincha, se abastece de agua de las fuentes naturales de Puichig con un caudal de 45 l/s, ubicado en el sector de las Peñas de Puichig del cantón Mejía, recurso hídrico utilizado para cubrir las necesidades básicas de los pobladores de la localidad.

El agua cruda de las vertientes de Puichig, destinada para consumo humano que llega a cada uno de los hogares de los barrios en estudio, es utilizada previo a un tratamiento de desinfección mediante cloración. En este sentido es necesaria realizar una evaluación de la calidad del agua, misma que en un futuro será la principal fuente de abastecimiento para los pobladores de la localidad.

En el presente trabajo se realiza una evaluación de la calidad del agua en la fuente principal de captación de Puichig, mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como también el modelamiento de la red de distribución mediante el uso del software EPANET, mismo que permite conocer el estado actual y futura de la calidad del agua a consecuencia del incremento poblacional.

Además, cabe mencionar, la investigación permite conocer las características e infraestructura con las que cuenta del sistema actual, de manera que sirva como fuente de información básica en la implementación de futuras mejoras en el servicio.

En este contexto el proyecto de investigación, permite determinar posibles factores presentes en el entorno que pueden alterar la calidad del agua y dar a conocer al directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, a fin de plantear alternativas de concientización en los habitantes sobre el uso adecuado racional con el propósito de ayudar a asegurar que las generaciones

futuras tengan acceso a servicios de agua de consumo y saneamiento adecuados y en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.1 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La Parroquia de Amaguaña del cantón Quito ubicada al sureste del Distrito Metropolitano de Quito y al sur del cantón Rumiñahui con 62,2 km² de extensión territorial cuenta con 68 barrios, geográficamente en el Valle de los Chillos, a 2630 metros sobre el nivel del mar, a una longitud Oeste de 78° 30' 14" y latitud Sur 00° 22' 22", zona rural interandina ecuatorial húmeda (GADPRA, 2020).

En el último censo realizado en el 2010, la población era de 31.106 habitantes, sin embargo, se estima que en el año 2030 la población sea de 45.433, con una tasa de crecimiento poblacional del 3,13%. El incremento poblacional, presenta varios desafíos para la parroquia, principalmente en la dotación de servicios básicos, entre ellos el abastecimiento de agua para los habitantes (GADPRA, 2020).

En este contexto, el Directorio de Aguas “La Vaquería-San Juan” de la parroquia de Amaguaña, de acuerdo al incremento del área de servicio de suministro de agua y crecimiento poblacional, ha visto la necesidad de contar con un servicio eficiente y de calidad de este recurso para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Por lo mencionado, se pretende implementar un modelo de simulación en la red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, así como también una evaluación de parámetros físico-químicos y microbiológicos de la calidad del agua. Sistema que actualmente brinda servicio a 11 barrios (La Vaquería, Peluche, Pucará, La Unión, El Relicario, Cachipicha, El Rosario, San Luis, San Juan, El Orbe Guamba y Cuendina Chico), al suroriente de la parroquia de Amaguaña, beneficiando a aproximadamente 5595 habitantes.

Los sistemas de distribución de agua son parte importante en la calidad de vida de los seres humanos, ya que continuamente se suministra agua a cada uno de los hogares, sin embargo, se ha evidenciado problemas relativos a fugas, rotura de tuberías y envejecimiento de infraestructura en el sistema. Resolver este tipo de problemas implica recurrir a tecnologías que ayuden a detectar daños en la red y contar con modelos predictivos que anticipen

posibles falencias en el sistema, ya que, por su complejidad de funcionamiento, escapa del control de los operadores.

Dentro de este contexto se pretende proporcionar un modelo digital en la red de distribución de agua del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” mediante la aplicación del software EPANET, el cual contribuirá a una mejora en la eficiencia de las redes, así como también evidenciar escenarios futuros y buscar soluciones viables y sostenible con el ambiente para satisfacer las necesidades de los pobladores de la localidad en cantidad y calidad de una mejor manera (De León, 2021).

1.2 PROBLEMA

La parroquia de Amaguaña por su cercanía al Volcán Pasochoa posee una riqueza ambiental, cuerpos hidrogeológicos. Sin embargo, sus ecosistemas se ven afectados por la contaminación ambiental, crecimiento poblacional, ocasionando que ciertos recursos ambientales no puedan ser explotados adecuadamente. Tal situación, genera limitaciones en los recursos naturales como el agua, ocasionando que exista una demanda cada vez mayor de este recurso para el consumo humano (GADPRA, 2020).

Ante esta problemática, el directorio de aguas integrada por representantes de los barrios: La Vaquería, San Juan, Peluche y Pucará, buscan alternativas para dar solución al problema, mediante estudios técnicos, de nuevas fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y satisfacer las exigencias de los pobladores.

Por lo expuesto anteriormente, en el año 2003, a través de permiso del Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), se concede a favor del directorio de Aguas “La Vaquería-San Juan”, el derecho de aprovechamiento del caudal de 45 l/s de las aguas proveniente de las vertientes de Puichig, pertenecientes a la jurisdicción de la parroquia de Machachi, cantón Mejía, provincia de Pichincha, para destinarlas a uso doméstico.

En el año 2015, la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), luego de realizar una serie de consideraciones de orden técnico se actualiza la resolución emitida en el año 2003 por parte CNRH, en la que se autoriza un caudal total de 45 l/s, para el sistema de agua potable y se reforma. El caudal total se subdivide en 10,87 l/s para uso en agua potable de una población futura aproximada de 11055 habitantes proyectada hasta el año 2030 y la

diferencia el caudal de 34,13 l/s; de agua para riego (“Concesión de Aguas” La Vaquería-San Juan, 2015).

En este sentido, es importante mencionar, que el sistema de abastecimiento de agua del directorio “La Vaquería- San Juan”, en la actualidad tiene como fuente principal las vertientes de Puichig, ya que fuentes locales aportan con caudales muy bajos, siendo insuficientes para el abastecimiento de una población que crece aceleradamente.

Por lo expuesto anteriormente es necesario realizar una evaluación de la calidad del agua a través de parámetros físico-químicos y microbiológicos, así como también el modelamiento de la red de distribución mediante el software EPANET, resultados que permitan evidenciar focos de contaminación como posibles falencias actuales y futuras en el sistema de abastecimiento.

1.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo el desconocimiento del funcionamiento de la red de distribución de agua del directorio “La Vaquería-San Juan” de la parroquia de Amaguaña afecta en el abastecimiento de agua para garantizar la continuidad y calidad del servicio?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La aplicación del modelo de simulación mediante el software EPANET en las instalaciones del Directorio de Aguas “La Vaquería-San Juan”, podría asegurar el desempeño positivo en el comportamiento hidráulico y calidad del agua en las redes de abastecimiento de agua de consumo humano en los 11 barrios en estudio.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de simulación hidráulico en la red de distribución y calidad del agua en la red de distribución del Directorio de Aguas “La Vaquería – San Juan” de la parroquia de Amaguaña ciudad de Quito, mediante el software EPANET.

1.4.2 Objetivo Específico

- Caracterizar la red de distribución Directorio de Agua “La Vaquería- San Juan” de la parroquia de Amaguaña ciudad de Quito, mediante el análisis documental bibliográfico.
- Evaluar la calidad del agua en diferentes puntos de muestreo de la red de distribución mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- Proponer un modelo de simulación del comportamiento hidráulico y calidad del agua en el área de estudio.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. EPANET - ANTECEDENTES

EPANET, es un programa desarrollado por la “Agencia de medio Ambiente de Estados Unidos de Norteamérica, que permite realizar simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nodos, bombas, válvulas, depósitos y embalses como se indica en la figura 1 (Acuña, 2013).

EPANET, es utilizado en varias aplicaciones diferentes en los análisis de los sistemas de distribución. El programa cuenta con las siguientes aplicaciones.

- Visualización y codificación de resultados numéricos en colores sobre el esquema de la red.
- Tablas de resultados numéricos para estados instantáneos o evoluciones.
- Gráfica de evolución de presiones, caudales, velocidades, etc.

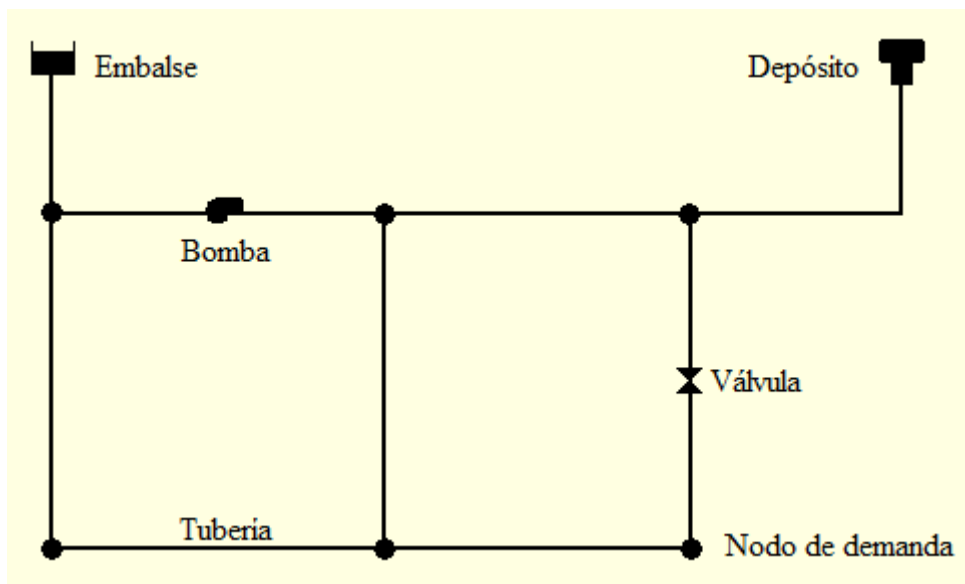


Figura 1. Componentes físicos de una red de distribución de agua

Dada la alta versatilidad y aplicabilidad del Software EPANET se han realizado varios trabajos en diferentes países.

En este sentido León & Santiago (2021), desarrollo la modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable del municipio de Tamboril, República Dominicana, para conocer la situación actual de la red, cuyos hallazgos encontraron que el 27,45% no les llega el suministro de agua, el 27,68% presenta velocidades mayor al 1,5% y un 13,11% presenta pérdidas de carga mayor 1%, demostrando así que la red trabaja bajo condiciones no favorables y fuera de los estándares de diseños establecidos.

En un estudio referente al desarrollo del modelamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable mediante métodos computacionales Vera (2018), evaluando la velocidad y presión en las conexiones del sistema de abastecimiento de agua potable del Distrito de Chupaca, Perú, encontró como resultado que la actual red de distribución no cumple normativas. En conclusión, se tiene que los programas computacionales como el software EPANET resultan útiles en el análisis del comportamiento hidráulico.

Lazo (2021), en el análisis hidráulico y diseño optimizado de la red de distribución de agua mediante la modelación y simulación hidráulica de LLabaya-Tacna, Perú, al realizar el análisis hidráulico, los resultados evidenciaron que no se cumple con la presión mínima $P = 10$ metros columnas de agua y las velocidades son inferiores a las recomendadas por lo que no cumplen con las normativas. Para lo cual se planteó un nuevo trazo y el cambio total de las tuberías. Concluyéndose que el programa de modelación es una gran herramienta para la planificación de proyectos, ya que permite saber cómo funcionará la red en base a parámetros establecidos.

Como antecedente en el Ecuador Idrobo (2018), busca desarrollar un modelo de simulación mediante el software EPANET de la red de distribución de agua potable del cantón Guano, provincia de Chimborazo, con el propósito de evidenciar puntos críticos o falencias del sistema. Como resultado se encontró velocidades bajas y superiores a las recomendadas, razón por la cual se consideran eventos de riesgo para el sistema. Concluyéndose que el proyecto pretende constituirse en una herramienta para dar soluciones a escenarios actuales y futuros de la red de distribución de agua potable, misma que sirve para comprender el funcionamiento, detectar anomalías del sistema y conocer la distribución del fluido.

Bravo (2017), en el estudio del modelamiento de la red de distribución de agua potable de la parroquia el Retiro mediante la aplicación del programa EPANET, busca evaluar el estado actual de la red de distribución y proponer soluciones apropiadas. Como resultado encontraron irregularidades en el sistema debido a la baja presión en los nodos más distantes

lo cual se ve reflejado en la calidad y cantidad de este recurso principalmente en los sitios San Vicente y Guarumal, para lo cual se recomienda la construcción de un tanque de almacenamiento.

Priori (2021), en su investigación de modelamiento hidráulico y de calidad del agua en un sistema de suministro de agua potable en una zona rural del cantón Azogues cuyo propósito fue comprender el funcionamiento de la red de abastecimiento a través de un modelo hidráulico y un modelo de calidad del agua para cloro libre en el sistema de distribución mediante el programa EPANET el cual se desarrolló a partir de información catastral. Los resultados resaltaron la existencia de presiones superiores a lo estipulado en la normativa ecuatoriana y respecto del modelo de calidad se obtuvieron valores simulados cercanos a la realidad. Finalmente, los resultados de este trabajo destacan que los modelos matemáticos reproducen de manera confiable el comportamiento de una red de abastecimiento, modelo que es posible implementar en una zona rural.

En los trabajos anteriormente mencionados los métodos de análisis son similares y la metodología referida sirvió de base para la elaboración del marco metodológico de la presente investigación.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Agua Cruda.

Agua que se encuentra en la naturaleza y no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características físicas, químicas, radiológicas y biológicas (CPE INEN 5, 1992).

Según la norma CPE INEN 5, la caracterización del agua cruda debe proveer al diseñador la información respecto a las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua, y la variación de la calidad del agua en el tiempo de parámetros de turbiedad, color, alcalinidad, pH y coliformes fecales.

2.2.2. Agua para consumo humano

Agua utilizada para beber, preparar y cocinar alimentos u otros usos domésticos, independiente del origen y suministro, cuyas características físicas, químicas y microbiológicas garanticen su inocuidad y aceptabilidad para el consumo humano (INEN-1108, 2020).

Según, el Anexo 1 libro VI, del TULSMA, al agua de consumo humano y uso doméstico se lo entiende aquella que es obtenida de cuerpos de agua superficial o subterránea que posterior a un tratamiento de desinfección, será empleada por individuos o comunidades en actividades de consumo humano e higiene personal.

2.2.3. Calidad del agua cruda

Existen diversas fuentes de agua que son aprovechadas pueden ser superficiales o subterráneas, dependiendo del origen y condiciones del medio en que se encuentran varían sus características. En este contexto se tiene que la calidad del agua cruda es variable, siendo necesario realizar un seguimiento de sus características a través del tiempo para definir con certeza los parámetros que, en caso de ser indispensable, definirán el sistema de tratamiento más apropiado que debe ser utilizado para su adecuación (Pérez, 1981).

2.2.4. Calidad del agua tratada

El agua que cumpla los requisitos como estar exenta de organismos causantes de enfermedades, compuestos químicos que puedan producir efectos fisiológicos perjudiciales, turbiedad, color, olor, sabor, temperatura razonable y ser aceptable desde el punto de vista estético se denomina agua potable, lo cual significa que puede consumirse sin provocar efectos perjudiciales para la salud (Pérez, 1981).

2.2.5. Parámetros físico-químicos

Olor y Sabor

El olor y sabor están en general relacionados, fisiológicamente, los sentidos del gusto y olfato están íntimamente relacionados ya que las papilas linguales y olfativas detectan estímulos simultáneos y complementarios de la población (Galvin, 2008).

Los sabores del agua pueden ser de origen natural pueden ser gases, sales minerales orgánicos e inorgánicos, y origen artificial orgánicos hidrocarburos e inorgánicos como ácido sulfhídrico. Este parámetro son determinaciones organolépticas y de determinación subjetiva, no existen instrumentos de medición ni unidades de medida (Cruz, 2017).

Turbiedad

Es la propiedad óptica de una muestra de agua para disipar y absorber la luz el cual involucra la pérdida de transparencia del agua. La turbiedad es debida a partículas en suspensión o en estado coloidal y que comunican al agua la capacidad de diseminar un rayo de luz, fenómeno óptico que captamos como agua sucia. La turbiedad se expresa en unidades de turbiedad [UT] y en laboratorio se lo determina por medio de turbidímetros (Pérez, 1981).

Cloro Libre Residual

El cloro es considerado el desinfectante más utilizado a nivel mundial, especialmente para la desinfección del agua para consumo humano, siendo eficaz en la destrucción de agentes microbiano y eliminación de enfermedades hídricas (Santana y Medrano, 2021).

Potencial de Hidrógeno (pH)

Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. Se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Respecto a lo primero, la secuencia de equilibrios de disolución de CO_2 en un agua, y la disolución de CO_3^{2-} e insolubilización de HCO_3^- , determinan el pH de un agua. El agua pura tiene un pH neutro de 7, lo que significa que no es ácida ni básica (Brandon, 2008).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser consumida u oxidada a través de procesos biológicos aerobios en una muestra líquida, misma que indica el grado de contaminación y se la expresa en mgO_2/l . (Montoya, 2017).

Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se consume cuando el 95-100% de toda la materia orgánica oxidable en un volumen determinado de agua se oxida químicamente a CO_2 y H_2O por un oxidante químico fuerte como cloro, permanganato o dicromato. En general, la cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno en mgO_2/l (Weiner, 2012).

2.2.6. Parámetros Microbiológicos

La microbiología es la ciencia que estudia los microorganismos y sus actividades, a través del conocimiento de su forma, estructura reproducción, fisiología, metabolismo e identificación (Pérez, 1981). En Ecuador la normativa técnica vigente INEN 1108, considera que los requisitos microbiológicos a cumplir en el agua potable, son determinaciones de coliformes fecales, *Cryptosporidium* y *Giardia*.

Coliformes fecales

El coliforme fecal (*Escherichia Coli*) es un subgrupo de la población total coliforme y tiene una relación directa con la contaminación fecal producida por animales de sangre caliente. Para su identificación su principal característica bioquímica es la habilidad de fermentar la lactosa con producción de gas, a 44,5 °C o de crecer en otros medios selectivos de 44 °C a 44,5 °C (Código Ecuatoriano de la Construcción, CPE INEN 5).

2.3. RED DE DISTRIBUCIÓN

Una red hidráulica de distribución, es el conjunto de tuberías generalmente enterradas y accesorios, cuya función principal es transportar el agua desde el punto de captación hasta las redes principales de suministro, es decir, el punto en el que el usuario puede hacer uso de ella, sea esta una conexión domiciliaria o comunitaria.

Las redes de distribución de agua pueden ser: abiertas o ramificada, cerradas o malladas; y redes mixtas o combinadas (Bravo, 2017).

Red de distribución abierta o ramificada

Formadas por un conjunto de tuberías conectadas en serie por las que circula el agua a presión, con un único punto de alimentación, se eligen cuando la topografía es muy irregular ejemplo en zonas rurales, como muestra en la figura 2 (Valverde et al., 2002).

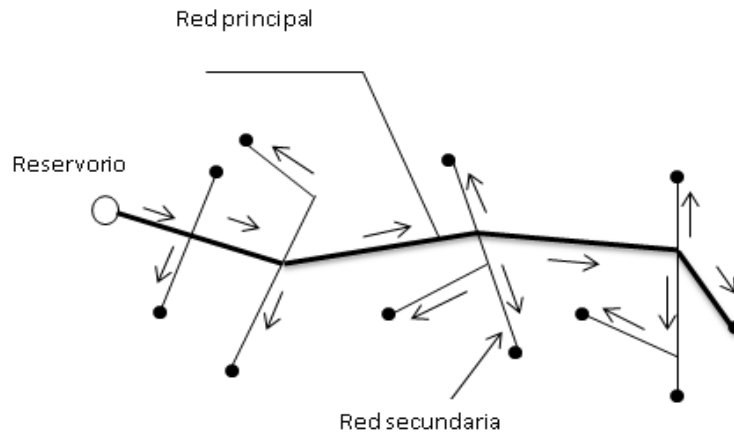


Figura 2. Red ramificada

Nota: Fuente Idrobo, P (2018).

Red de Distribución Cerrada

Se caracteriza por la existencia de mallas (figura 3). Ante algún posible daño en las tuberías, se logrará afectar la menor cantidad de usuarios por la existencia de rutas alternas en el sistema, se eligen cuando la topografía es más plana y no tan irregular, muy utilizado en sectores urbanísticos (Bravo, 2017).

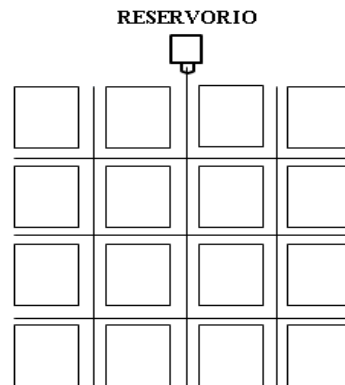


Figura 3. Red cerrada o mallada

Nota: Fuente Asqui y Recalde (2022).

Red de Distribución Mixta

Resulta de la combinación de la red cerrada y abierta con redes ramificadas (figura 4), poseen tubería principal cerrada con ramales abiertos (Bravo, 2017).

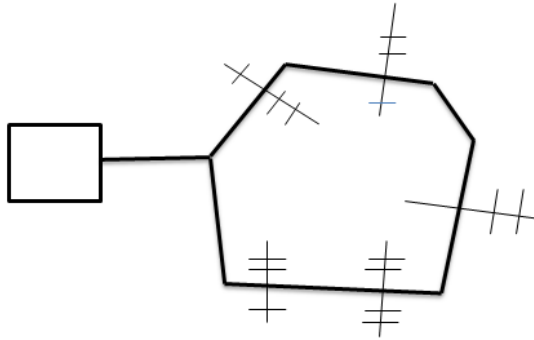


Figura 4. Red mixta

Nota: Fuente Idrobo, P (2018).

Captación

Estructura que permite incorporar la cantidad necesaria de agua desde la fuente de abastecimiento hacia el sistema de agua potable (Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5).

Conducción

Conjunto de canales, accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, desde el lugar de la captación sea esta por gravedad o bombeo hasta los tanques de almacenamiento o reservorio (Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5).

Caudal

Medida de la cantidad de fluido que circula a través de la red de distribución de agua, almacenada en los tanques (Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5).

Consumo

Cantidad de agua que necesita la población para satisfacer sus necesidades diarias (Acuña, 2013).

Demanda

Representa a la cantidad de agua que los usuarios pretenden utilizar de acuerdo a las costumbres y usos de la misma (Aguayo, 2022).

Dotación

Caudal de agua potable consumido diariamente, en promedio por cada habitante sea esta para consumo doméstico, comercial, industrial y público (Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5).

2.3.6. Componentes de la red de distribución

Nodos

Se denomina nodos a los extremos inicial y final de cada tubería, cuya función es unir tuberías entre sí. En cualquier red se debe cumplir la ecuación de continuidad en los nodos, la cual supone que en cualquier nodo la suma de caudales entrantes y salientes debe ser nulo (Valverde et al., 2002).

Tramo

Longitud de una tubería que une dos puntos, punto inicial y punto final.

Válvulas

Las válvulas son accesorios que sirven para controlar el flujo de agua en conductos a presión. Estas pueden ser de aislamiento o de control dentro de estas pueden ser de altitud, admisión y expulsión de aire, controladores de presión, de retención o vaciado (Romero, 2021).

Válvulas de aire

Válvulas de expulsión o admisión de aire tienen la función de expulsar el aire que se encuentra dentro de la tubería, ubicado en los puntos altos de la conducción, siempre que la presión no sea muy alta o menor que la presión atmosférica (Asqui y Recalde 2022).

Piezas especiales

A todos aquellos accesorios destinados al cambio de dirección del flujo de agua generando ramificaciones, conexiones e intersecciones. Pueden ser de hierro fundido, fibrocemento, PVC, polietileno, etc. Entre las más utilizadas están las cruces, tees y codos (Romero, 2021).

Tubería

Se define a una tubería a la unión de dos o más tubos acoplados de manera que permita la conducción de cualquier fluido, pueden ser de diferentes diámetros y materiales generalmente son de PVC ó hierro galvanizado (Romero, 2021).

La elección del tipo de tubería estará en función de las características del medio ambiente, presión a la que son sometidas, caudal a conducir, resistencia y fragilidad (Sánchez, 2015).

2.4. PARAMETROS HIDRÁULICOS

2.4.1. Velocidades

Las velocidades de diseño del agua en las tuberías de la red de distribución deben fluctuar entre 0,6 m/s y 2,5 m/s, valores mínimo y máximo, respectivamente. La velocidad del agua en la acometida debe fluctuar el valor de 1,5 m/s (NEC-11, 2011).

Velocidades de flujo

Se recomienda que las velocidades en líneas de conducción deban cumplir un rango mínimo de 0,6 m/s y como máxima 6 m/s (Asqui y Recalde, 2022).

2.4.2. Presión

De acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción, establece una mínima presión de 10 metros de columna de agua (m.c.a.), en los puntos y condiciones más desfavorables de la red. Mientras que la presión estática máxima, no deberá, en lo posible, ser mayor a 70 m.c.a. (CPE INEN 5, 1992).

2.4.3. Diámetros

Para las tuberías de la red se permite un diámetro nominal mínimo de 19mm, es decir de $\frac{3}{4}$ (Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5, 1992).

2.4.4. Pérdidas de carga en tuberías

Se origina por la fricción del agua o líquidos no perfectos ya que son viscosos en mayor o menor grado y se desarrollan en ellos al moverse, esfuerzos tangenciales en los caracteres del movimiento (Zemansky, 1986).

La pérdida de carga o de altura piezométrica en una tubería debida a la fricción por el paso del agua puede calcularse utilizando tres fórmulas diferentes:

- Fórmula de Hazen- Williams (específicamente para agua)
- Fórmula de Darcy- Weisbach (todo tipo de líquidos)
- Fórmula de Chezy- Manning (canales y tuberías de gran diámetro).

En el modelamiento del sistema de distribución se emplea la fórmula de Hazen-Williams, ya que es específicamente para agua. Todas las fórmulas emplean la misma ecuación básica para calcular la pérdida de carga entre el nodo de entrada y el de salida (Acuña Pittari, 2013).

2.4.5. Coeficiente de rugosidad

Es un parámetro que determina el grado de resistencia que ofrecen las paredes al flujo del fluido. La rugosidad se define al espesor de material que se aplica a las tuberías y el estado de las paredes y depende del tipo de material como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes de rugosidad

Material	Hazen - Williams
Hierro fundición	130
Hormigón o revestido de H.S.	120-140
Hierro Galvanizado	120
PVC-Plástico	140-150
Acero	130
Cerámica	110
Cobre	130-140
Hierro Dúctil	120

Nota: Fuente Asqui y Recalde (2022).

2.4.6. Periodo de diseño

Lapso durante el cual una obra o estructura puede funcionar sin necesidad de ampliaciones (Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5). El periodo de diseño depende de la estimación de la población a servirse, así como también de los componentes en el sistema de abastecimiento como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2. Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable

Componente	Vida útil (años)
Obras de captación	25 a 50
Conducciones de hierro dúctil	40 a 50
Conducciones de asbesto cemento o PVC	20 a 30
Tanques de almacenamiento	30 a 40
Tuberías principales y secundarias de la red:	
De hierro dúctil	40 a 50
De asbesto cemento o PVC	20 a 25

Nota: Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 habitantes.

2.5. ASPECTOS LEGALES

2.5.1. Normas Ecuatorianas

En Ecuador las normativas técnicas vigentes utilizadas para control de la calidad de agua es la Norma INEN 1108, de consumo humano, explica los detalles que debe cumplir un efluente para poder ser apto para consumo humano Esta norma se aplica a sistemas de redes de distribución de agua potable sean estos públicos o privados (NTE INEN 1108, 2014).

Es importante mencionar el uso de las normas del Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5, Parte 9-1, cuyo propósito es conseguir que los diseños de sistemas de abastecimiento de agua potable se realicen dentro del marco técnico adecuado para la realidad ecuatoriana según las Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes (CPE INEN 5, 1992).

El libro VI, Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), norma técnica ambiental dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, establece criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren procesos de desinfección para ser empleadas en actividades como bebida y preparación de alimentos para consumo, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas sean estas para higiene personal y limpieza de elementos.

También cabe mencionar otras entidades encargadas de proteger el recurso hídrico, la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), cuya finalidad es ejercer la regulación y control de la gestión integral de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua. Normativas que se tienen que tener presente en el desarrollo y estudio de la investigación.

2.5.2. La Constitución Política de la República del Ecuador

Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

La Constitución Política del Ecuador, publicada en el Registro Oficial N° 305 del 6 de agosto del 2014 contempla disposiciones del estado sobre la ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua, en los cuales manifiesta en el artículo 318 que: El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público y constituye un elemento vital para la existencia de los seres humanos, se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, manifiesta en el artículo 3 y establece como objeto de ley “garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídrico uso y aprovechamiento del agua” (Asamblea Nacional, 2014).

De conformidad con lo previsto en el artículo 11 de La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua consideran obras hidráulicas destinadas a la captación, extracción, almacenamiento, regulación, control y aprovechamiento de las aguas, así como también al saneamiento y depuración necesarios para la protección del dominio hídrico público (Asamblea Nacional, 2014).

En el artículo 12 de La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua expresa que el Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y riego como también consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua (Asamblea Nacional, 2014).

La institucionalidad y gestión de recursos hídricos establece en el artículo 21 que la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), ejercerá la regulación y control de la gestión

integral e integrada en calidad y cantidad de los recursos hídricos basado en el uso, aprovechamiento y destinos del agua (Asamblea Nacional 2014).

2.5.3. Juntas Administradoras de Agua Potable

En la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua establece en el artículo 43, que las juntas administradoras de agua potable son organizaciones comunitarias, cuya finalidad es prestar el servicio de agua potable sin fines de lucro, con criterios de eficiencia económica, sostenibilidad, calidad y equidad en la distribución del agua (Asamblea Nacional, 2014).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo se realizó en los barrios La Vaquería, Peluche, Pucará, La Unión, El Relicario, Cachipicha, El Rosario, San Luis, San Juan, El Orbe Guamba y Cuendina Chico como se muestra en la figura 5. Ubicados al sur oriente de la parroquia de Amaguaña, cantón Quito de la Provincia de Pichincha, como se indica en la figura 6.

El área de estudio comprende 289,32 hectáreas con un número total de 1119 usuarios correspondiente a 5595 habitantes beneficiados de la red de distribución de las fuentes de Puichig, registrados en el directorio de aguas “La Vaquería- San Juan”.

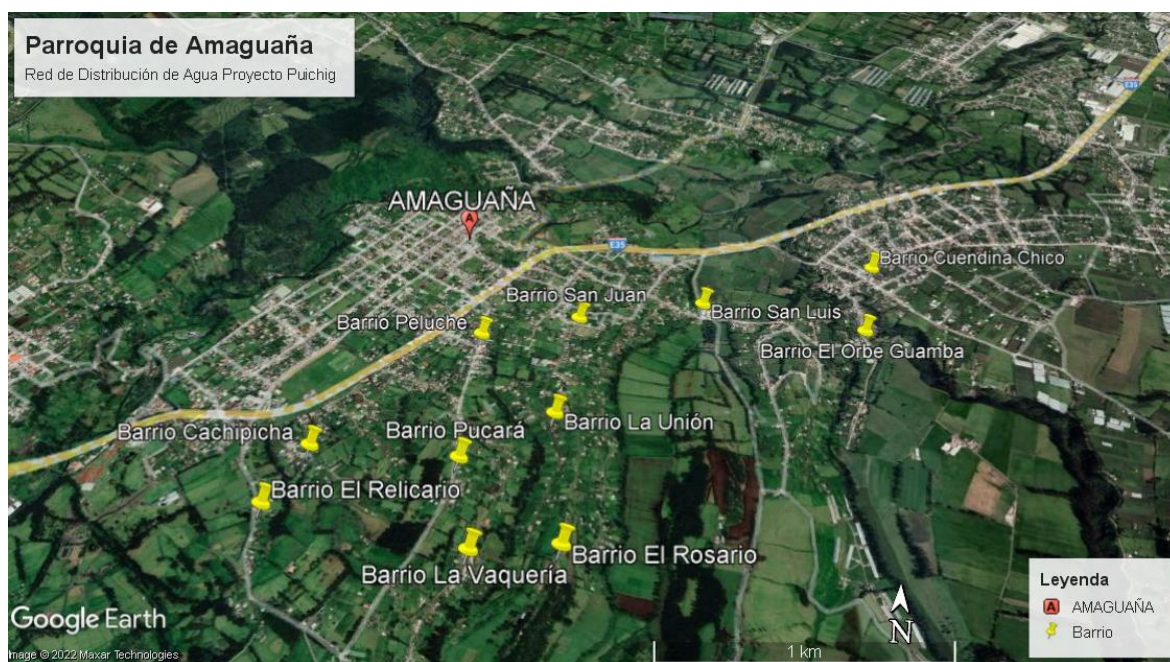


Figura 5. Barrios beneficiados de la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" de la parroquia de Amaguaña.

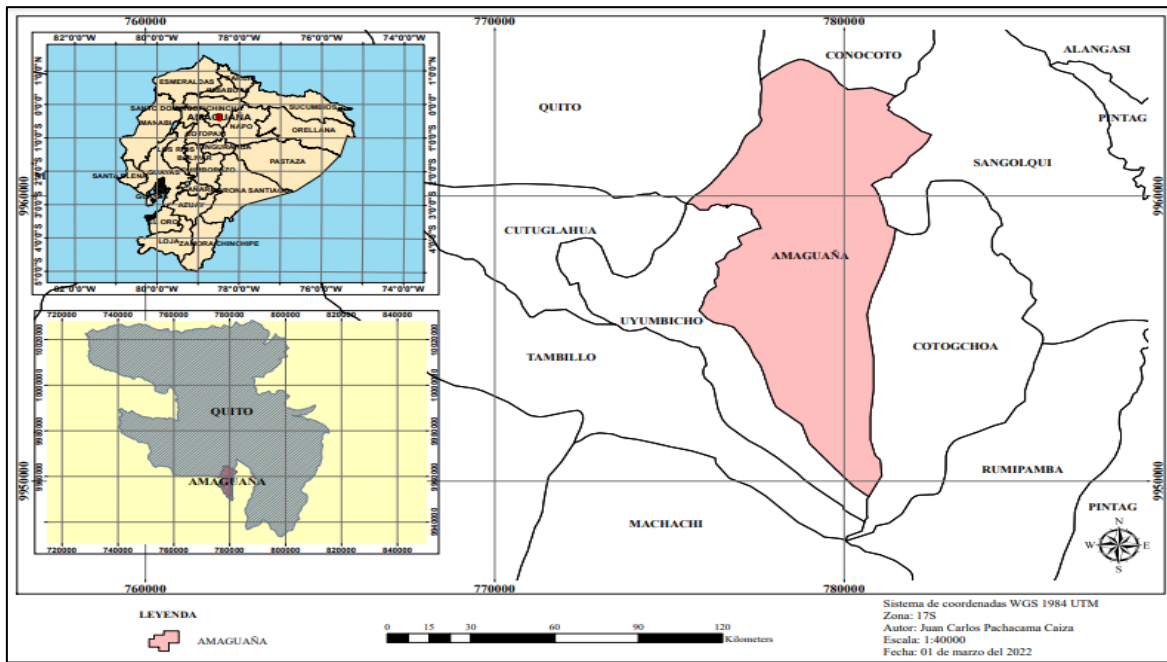


Figura 6. Ubicación geográfica de la parroquia de Amaguaña

3.1.1. Ubicación fuente de captación Puichig

En la zona las Peñas de Puichig de la parroquia de Machachi, ubicada al sur oriente de la provincia de Pichincha, inicia el sistema de captación de agua. Las vertientes de Puichig, en la cota 2869 msnm, coordenadas 9945.178N y 774793, es una de las fuentes naturales de agua del cantón Mejía (véase anexo 1 y 2). Desde este punto, el agua recorre 15.418 metros hasta llegar a los usuarios del directorio de aguas “La Vaquería- San Juan” (figura 7).

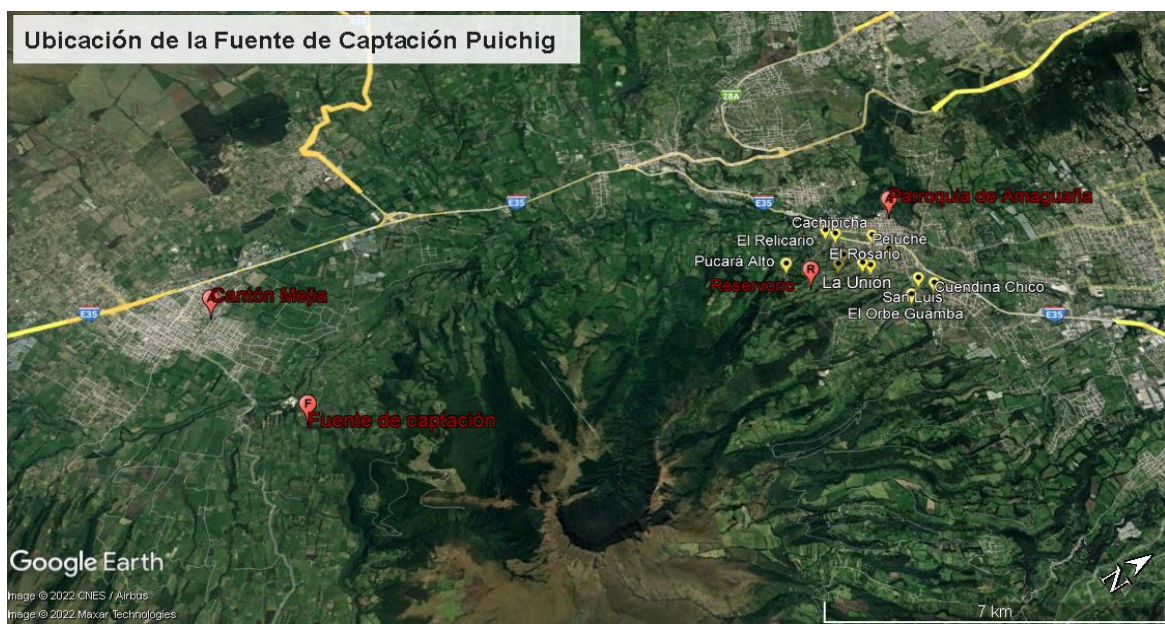


Figura 7. Ubicación de la fuente de captación de Puichig.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

Según el INEN, el último censo realizado en el año 2010 la población de la parroquia de Amaguaña es de 31106 habitantes de los cuales el 49% son hombres y 51% corresponde a mujeres. La realización del presente trabajo, estuvo enfocado principalmente en la parte sur oriental de la parroquia de Amaguaña y cuenta con una población de 5595 habitantes registrados en el Directorio de Aguas “La Vaquería San Juan”.

Según datos del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, actualmente 11 barrios reciben agua de las vertientes de Puichig (figura 8).

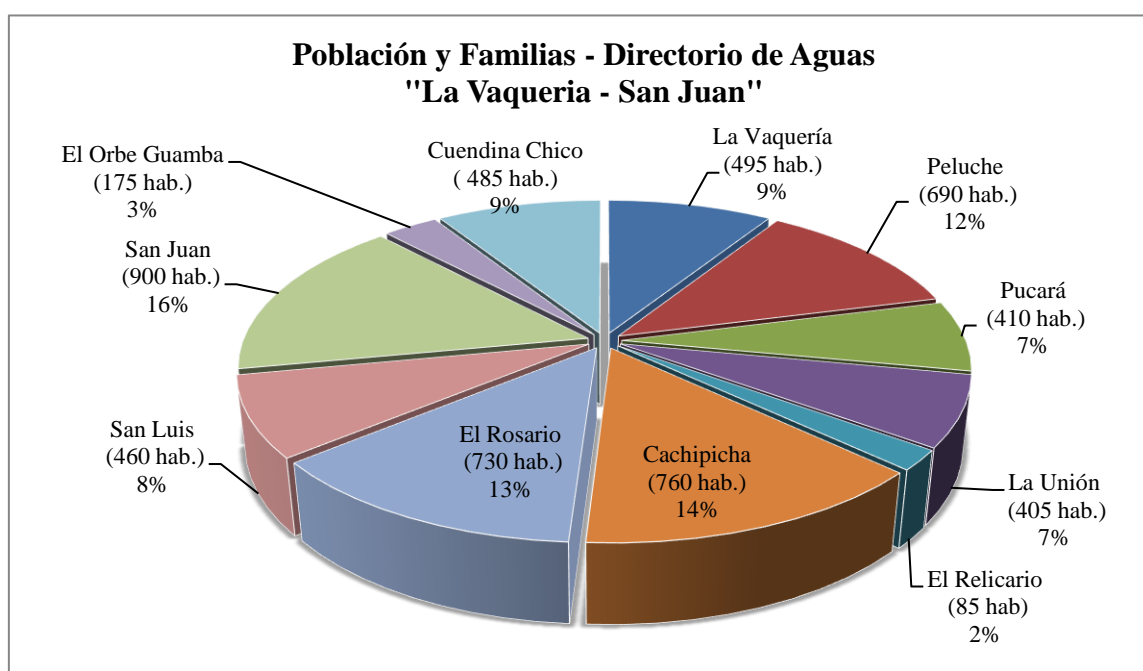


Figura 8. Población y familias beneficiadas de la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" de las fuentes de Puichig.

3.2.1. Población actual

Usuarios del Directorio de Aguas “La Vaquería-San Juan”.

En la estimación de la población actual fue necesario conocer datos actuales referentes al número total de usuarios que se benefician de la red de distribución de agua de las fuentes de Puichig.

Información que se encontró en el registro del directorio de aguas “La Vaquería- San Juan” y permitió determinar la población actual total de los barrios beneficiados y representa el

número de habitantes que actualmente se encuentran en el sector y corresponde a 5595 habitantes dentro de un área de 289,32 hectáreas, con una densidad poblacional de 19,3 habitantes/Ha.

3.2.2. Población futura

Usuarios del Directorio de Aguas “La Vaquería-San Juan”.

En la presente investigación según datos reportados en el documento de Concesión de Aguas (2015) “La Vaquería-San Juan”, se estima que la población futura a beneficiarse de este recurso hídrico para el año 2030 sea de aproximadamente 11055 habitantes.

En este sentido y luego de realizar una serie de consideraciones de orden técnico, SENAGUA, autoriza un aprovechamiento de caudal de 45 l/s para el sistema. Caudal total que se subdivide en un caudal de 10,87 l/s, para consumo doméstico y la diferencia el caudal de 34,13 l/s para riego de aproximadamente 97,50 ha (véase anexo 3).

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo aplicada, no experimental de nivel descriptivo. Álvarez, J. (2021), indica que la investigación aplicada se encarga del estudio y la investigación de problemas específicos, enfocada a su aplicación y no a la formación de teorías. El diseño de la investigación es no experimental, la cual tiene como características ausencia de manipulación de variables.

Además, se considera de nivel descriptivo, ya que especifica características y condiciones de las variables de estudio consideradas en la investigación de acuerdo al espacio y al tiempo en un contexto real (Lazo, B. 2021).

3.4. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se utilizó el método de modelación. Limanchi, S. (2021), en su investigación indica que este tipo de estudios emplea el método científico basado en procedimientos que plantean los problemas científicos y se ponen a prueba las hipótesis de la investigación.

El proyecto de investigación se orientó al método científico, porque primeramente se obtuvo a través de la información recopilada nuevos conocimientos de manera ordenada,

comprobada y sistematizada en la aplicación de la implementación de un modelo de simulación en la red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” de la parroquia de Amaguaña.

3.5. TRATAMIENTO DE DATOS

En el desarrollo de la investigación se obtuvo una serie de datos a través de tablas, figuras, anexos, el cual permitió analizar e interpretar los resultados arrojados mediante respuestas a las interrogantes planteadas.

Dentro de estas incluye los siguientes programas tecnológicos.

- Programa Excel en el análisis y tratamiento de datos de población, cálculos de áreas de aportación, gráficas estadísticas.
- Utilización del programa GPS Essentials el cual permite georreferenciar y determinar las coordenadas del sitio de captación de las fuentes de agua, y los diversos componentes del sistema de distribución de agua.
- Uso del software EPANET, mismo que permite realizar la modelación de la red de distribución de agua de consumo en los 11 barrios indicados.

3.5.1. Metodología de la Investigación

Para alcanzar los objetivos se llevó a cabo bajo las siguientes fases:

Fase 1. Caracterización de la red de distribución

El procedimiento que se realizó primeramente para este trabajo fue el siguiente: Proceso de entrevistas a personal administrativo y fundadores del proyecto Puichig, estudio de documentación preliminar, reconocimiento de zona de estudio mediante visitas de campo de obras de infraestructura existentes y mediante encuestas de calidad y cantidad del agua a los usuarios del directorio de aguas “La Vaquería San Juan”, mismo que permite identificar el estado actual y futuro del sistema.

Entrevista a personal administrativo del directorio de aguas “La Vaquería- San Juan”

El principal objetivo de la entrevista a personal administrativo como también a personal fundador del proyecto Puichig, fue dar a conocer la finalidad de la presente investigación para llevar a cabo el estudio y de esta manera acceder a información archivada en el

directorio de aguas. Así, a través del presidente del directorio de aguas, permitió el acceso a información pertinente previa al estudio, necesaria para determinar las condiciones actuales y futuras de la red de distribución.

Recolección de datos

El procedimiento que se realizó y se basó fundamentalmente en buscar y recolectar la siguiente información:

- Documentos de concesión de aguas al directorio “La Vaquería – San Juan”.
- Planos de la red de distribución de agua, el cual permitió identificar datos técnicos (longitudes y diámetros de tuberías, válvulas), así como también la ubicación de sitios de fuentes de captación de este recurso.
- Número de usuarios que actualmente se benefician de este recurso hídrico de fuentes naturales de Puichig.
- Encuestas en los pobladores referentes a la percepción que tienen los habitantes respecto a calidad y continuidad de servicio del agua.

Encuesta socioeconómica de la población

Para que este estudio se lleve a cabo satisfactoriamente, primeramente, se determinó y reconoció la población que se beneficia de la red del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, posteriormente se realizó la encuesta. En este sentido, se elaboró un cuestionario para llevar a cabo la encuesta, para lo cual se seleccionó una sección de preguntas enfocadas en la calidad y continuidad del suministro de agua (ver anexo 7), siendo necesario determinar la población y el tamaño de la muestra cómo se detalla a continuación:

Población

A través de información facilitada por el directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” se determinó que la red abastece actualmente a una población de 1119 usuarios, en un área que comprende 289,32 hectáreas.

Tamaño de la muestra

En la determinación del tamaño de muestra se desarrolló considerando el tamaño de la población correspondiente al total de usuarios, beneficiados de la red de distribución de agua

de la fuente de Puichig del directorio de aguas “La Vaquería San Juan” de la parroquia de Amaguaña y se la determinó mediante la siguiente ecuación:

$$n = N * Z^2 * p * q / (E^2 * (n - 1) + z^2 * p * q) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde

N = Tamaño de la población

Z = Nivel de confianza (95%)

p = Probabilidad de éxito

p = Probabilidad de fracaso

E = Error estándar 10%

n = Tamaño de la muestra

Una vez determinada el tamaño de muestra a través de trabajo de campo se aplicó la encuesta, personalmente en los 11 barrios en estudio, mediante visitas casa por casa. Las encuestas fueron aplicadas en los pobladores a un representante por hogar misma que se desarrolló durante un lapso de dos semanas permitiendo identificar la percepción de los pobladores que tienen respecto a la calidad, grado de satisfacción y continuidad en el servicio de agua de consumo (figura 9).

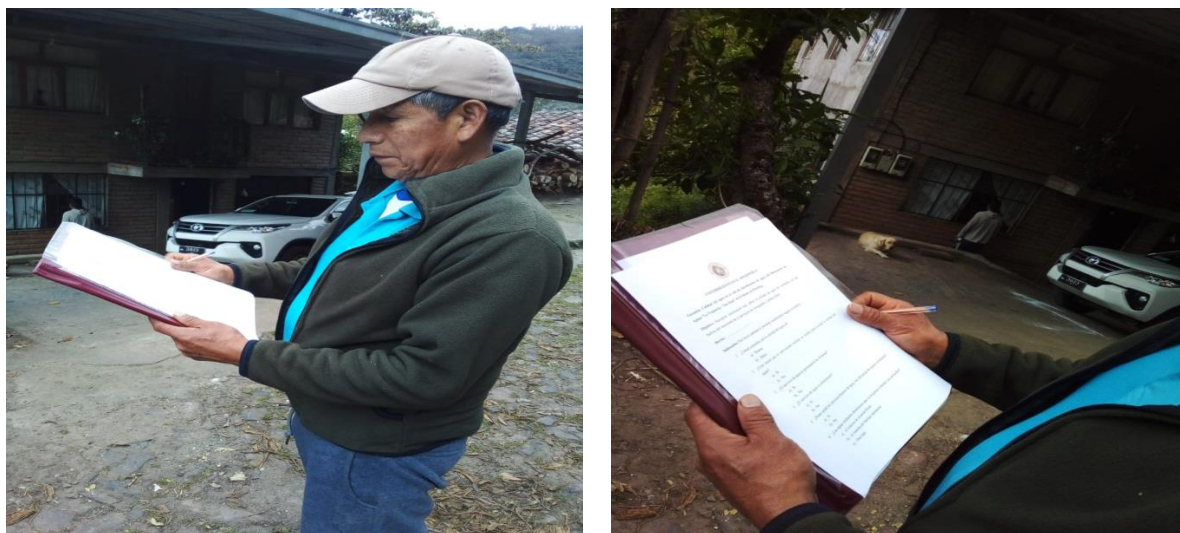


Figura 9. Encuesta a los usuarios del directorio de aguas

Fase 2: Evaluación de la calidad del agua

Para determinar la calidad del agua en el sistema de distribución (fuentes de captación, reservorio, depósitos), fue importante la identificación y ubicación de los puntos de toma de

muestras, para lo cual se contó con la ayuda del personal administrativo del directorio de aguas, para la accesibilidad, de manera que faciliten obtener las muestras.

Georreferenciación

Es fundamental para el proceso de toma de muestras posicionar satelitalmente la ubicación del sitio de la toma de muestras mediante la ayuda de un GPS.

El proceso de identificación se realizó mediante la georreferenciación en los diferentes puntos mediante el programa GPS Essentials. La aplicación de este programa permitió la orientación y ubicación de los distintos puntos de muestreo, facilitando de esta manera el proceso de modelamiento de la red y corroborar datos registrados en los planos de la red (tabla 3).

Tabla 3. Ubicación de puntos de muestreo del sistema de distribución de agua del directorio “La Vaquería- San Juan”.

Punto de muestreo	Latitud	Longitud	Altitud
Fuente de Captación Puichig	9944864 N	774551 E	2892
Antes Reservorio	9955684 N	777848 E	2786
Después Reservorio	9955817 N	777890 E	2756
Barrio Peluche	9957710 N	777785 E	2646
Barrio San Juan	9958090 N	778607 E	2588

Toma de muestras

El procedimiento de toma de muestras se realizó en envases plásticos de 1 galón de capacidad, previo a una homogenización para análisis físico-químicos, mientras que para estudios microbiológicos se realizan la toma de muestras en envases esterilizados de 100 mililitros.

Es necesario mencionar en la toma de muestras se realizó de manera que sean representativas y con su respectivo etiquetado, identificando el número de muestra, lugar y fecha de muestreo, temperatura, tipo de análisis a realizarse y responsable (figura 10).



Figura 10. Toma de muestras de agua

Lugar de análisis de las muestras

Las muestras obtenidas fueron analizadas una parte de parámetros fisicoquímico correspondiente a propiedades organolépticas (olor, sabor), temperatura y pH los ensayos se realizaron *in situ*, por ser más representativos y encontrarse en condiciones naturales. Así también, parte de los parámetros físico-químicos y microbiológicos se los realiza en el laboratorio O.S.P., de la Universidad Central del Ecuador, facultad de Ciencias Químicas (figura 11).



Figura 11. Análisis de muestras in situ

Selección de parámetros físico-químicos y microbiológicos

En la selección de parámetros físico-químicos y microbiológicos se lo realizó en función a estudios realizados por diversos investigadores.

En este contexto se desarrolla la evaluación y caracterización de la calidad del agua de consumo humano mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos, ya que la calidad del agua depende de la presencia y cantidad de los componentes en que estos se encuentran para ser aptas para consumo humano Asqui y Recalde, (2022).

Cabe mencionar, en estudios realizados por Carillo y Quimbiamba (2018), evalúa la calidad del agua mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos en los tanques de agua de Mushuñan y el Chaupi del cantón Rumiñahui, mediante la Norma NTE INEN 1108, que establece parámetros que debe cumplir el agua para ser considerada apta para el consumo humano.

En base a los trabajos expuestos anteriormente y por tener condiciones muy semejantes a las zonas rurales del Valle de los Chillos referente a población, obras de dotación e infraestructura de agua y condiciones socio económicas muy similares, en el presente trabajo investigativo se fijó los parámetros y análisis para la presente investigación.

En este contexto se determinó los siguientes parámetros:

- Parámetros físicos: Olor, sabor, temperatura, pH, turbiedad, cloro residual, DBO₅, DQO₅
- Parámetros químicos: Arsénico, bario, cadmio, mercurio, fluoruros, hierro total, plomo, selenio.
- Parámetros microbiológicos: Coliformes fecales

Fase 3: Proceso de modelamiento y evaluación de la red de distribución

Para llevar a cabo el modelamiento de la red de distribución se desarrolló a través de las siguientes etapas:

- a) Uso de catastro de la red de distribución del directorio de aguas, el cual proporciona información de características de los componentes del sistema de abastecimiento de agua como también información de variables hidráulicas (ver anexo 4, 5 y 6).

b) Configuración del programa

En este contexto, en el programa EPANET, se procedió de la siguiente manera. En la pestaña proyecto se selecciona valores por defecto y se procede a asignar las características e identificación (conexiones, tuberías, embalses, depósitos, válvulas y bombas), seguidamente en propiedades se procedió a definir cotas, diámetro, longitudes y rugosidad de tuberías etc. Finalmente en aspectos hidráulicos se asignó unidades de flujo (l/s), ecuación de pérdidas Hazen Williams (figura 12).

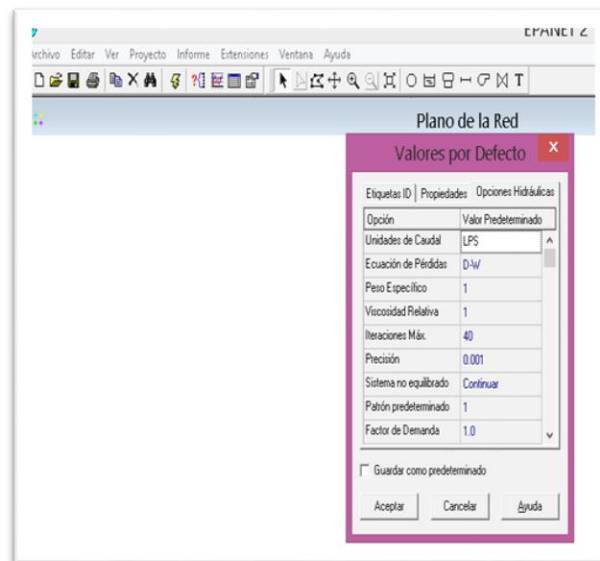


Figura 12. Configuración del modelo en EPANET

c) Ingreso de datos al programa EPANET

El siguiente paso es incorporar y acoplar el catastro de la red de distribución en el software, en la opción ver, fondo de pantalla y cargar el plano, seguidamente se procedió a dibujar embalses, depósitos, bombas, nudos y tuberías. A continuación, se define las propiedades de nudos, tuberías, bombas, depósitos, reservorio (figura 13).

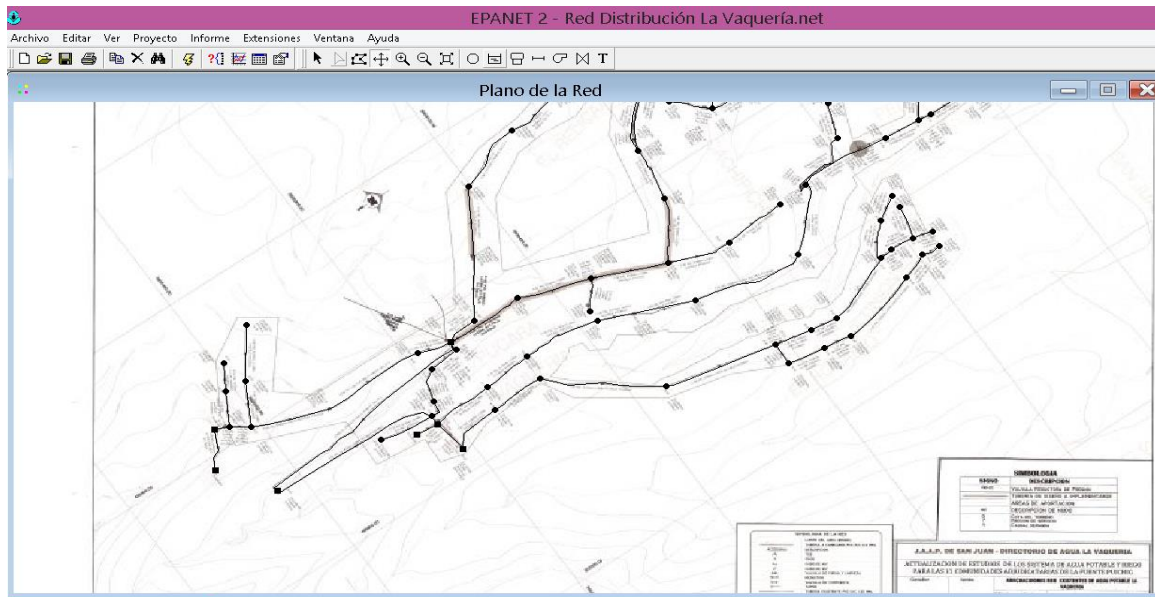


Figura 13. Conversión del catastro a EPANET

d) Modelación hidráulica de la red de distribución de agua.

e) Evaluación del modelamiento hidráulico

Para la evaluación en la red de distribución se identificó mediante el número de nodos, tuberías, embalses, depósitos, bombas, válvulas con las que cuenta la red actualmente.

f) Simulación dosificación de cloro en EPANET

En el análisis de este parámetro primero se crea un patrón de tiempo para lo cual en el buscador de datos se selecciona la categoría Patrones y creamos un patrón nuevo con un tiempo de duración de 24 horas.

A continuación, asignamos el Patrón (1) como Patrón de demanda en cada uno de los nodos de la red. Seguidamente en el visor de datos seleccionamos opciones calidad y asignamos nombre al parámetro con la palabra cloro y procedemos a correr la simulación.

Fase 4. Validación del modelo EPANET

La validación se llevó a cabo realizando comparaciones de mediciones en campo con los datos obtenidos del modelo, para lo cual se seleccionó para el modelamiento hidráulico el parámetro caudal y para el modelo de calidad el parámetro cloro residual como se indica a continuación

a) Validación del modelo hidráulico

La determinación en campo del parámetro caudal se realizó mediante el método volumétrico midiendo la cantidad de agua que sale de la tubería por unidad de tiempo. Los puntos de medición de caudal se ubicaron en las siguientes fuentes de abastecimiento: reservorio, tanque de Pucará, San Juan, La Unión y en el barrio Peluche.

La determinación en campo se realizó con el apoyo del directorio de aguas y consistió en medir el tiempo que demora en alcanzar un volumen de 10 litros de agua que sale de la tubería de la red del sistema de abastecimiento. En la experimentación se utilizó un repiente plástico de 15 litros y un cronómetro como se muestra en la figura 14.

Los puntos de medición de caudal se ubicaron en las siguientes fuentes de abastecimiento: reservorio, tanque de Pucará, San Juan, La Unión y en el barrio Peluche.

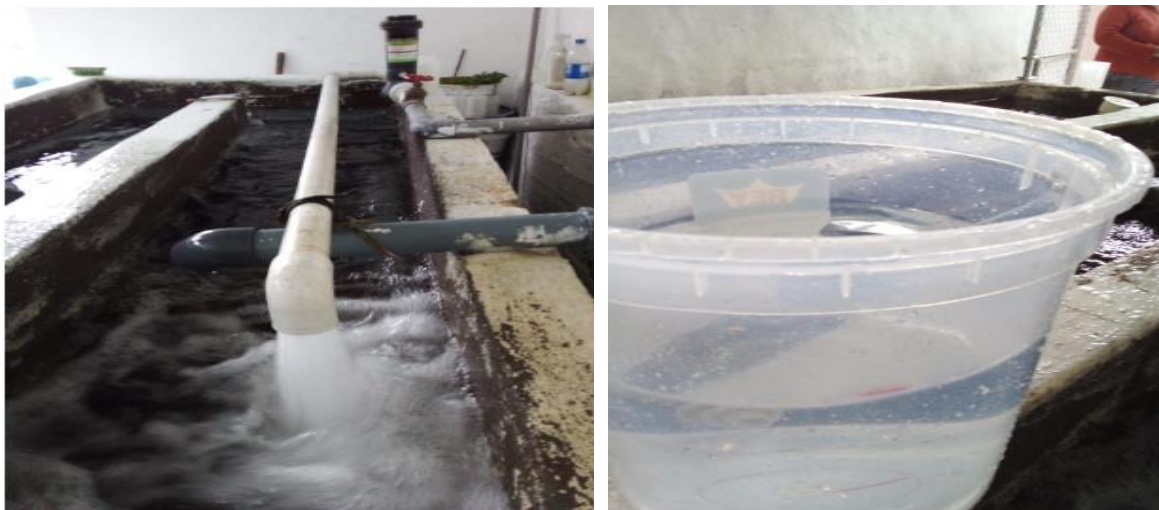


Figura 14. Medición del caudal método volumétrico

b) Validación del modelo de calidad

La metodología utilizada para la validación del modelo consistió en la comparación de las mediciones de campo con las simuladas para el parámetro cloro. Los puntos de medición se ubicaron en las siguientes fuentes de abastecimiento: reservorio, barrios Peluche, Cachipicha y la Unión. En la experimentación se realizó con el apoyo de personal del directorio con equipo portátil para medición de cloro residual.

Fase 5. Análisis y discusión de resultados

En el análisis y discusión de los resultados se efectuaron considerando las siguientes etapas:

- Análisis de la caracterización de la red de distribución
- Interpretación y análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos
- Identificación de las condiciones actuales y posibles falencias futuras en la red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” mediante la implementación del software EPANET.

3.6. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

MATERIALES

Insumos

- Planos de la red de distribución de agua
- Documento de concesión de aguas.
- Registro del número de usuarios del Directorio de Aguas “La Vaquería- San Juan”
- Planilla de registro de lectura de consumo de los usuarios en el barrio Peluche.
- Información documental referente a obras de infraestructura.

Equipos

- Medidor de pH
- Termómetro
- Equipo portátil para medición de cloro
- GPS Essentials
- Cámara fotográfica
- Envases plásticos 1 galón de PVC
- Envases esterilizados 100 ml

Software

- Microsoft office
- Programa Excel
- EPANET 2.0.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACION DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

4.1.1. Levantamiento de catastro

En el proceso de levantamiento de catastro y verificación de elementos físicos de las obras hidráulicas existentes, con la información obtenida en campo y datos georreferenciados, se estableció las características hidráulicas de cada uno los elementos que conforman el sistema actual de la red de abastecimiento, en las áreas de servicio de los barrios del sur oriente de la parroquia de Amaguaña. El levantamiento de catastro cuenta con los siguientes componentes:

- Fuente de captación
- Reservorio
- Tanques de agua
- Cámara rompe presión
- Tuberías (diámetros y material)
- Accesorios como, válvulas de aire, válvulas de desagüe, reductores, codos, uniones, etc.
- Cruce de quebrada

Cada uno de estos elementos que conforman el sistema consta en los planos de la red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería- San Juan”, necesarios en la evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento.

4.1.2. Fuentes de captación

El directorio de aguas “La Vaquería- San Juan” actualmente cuenta con 6 vertientes de abastecimiento de agua (tabla 4), siendo la fuente principal de abastecimiento la vertiente Puichig con un caudal de 45 l/s (figura 15), fuente situada en el sector las Peñas de Puichig, ciudad de Machachi cantón Mejía, provincia de Pichincha, en la cota 2862,5 m.s.n.m. y coordenadas 9'945.179N, 774,795E, suministrando de esta manera agua, por efecto de la gravedad a cada uno de los hogares (“Concesión de Aguas” La Vaquería-San Juan, 2002).

Tabla 4. Fuentes de abastecimiento de agua en los 11 barrios en estudio de la parroquia de Amaguaña.

Vertiente	Caudal (l/s)	Fuente
Rumisanto	1,6	Local
Mamapuca	0,6	Local
Mama Brígida	4	Local
El Rosario	2	Local
Cañari	2,85	Local
Puichig	45	Exterior

Nota: Planos del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”



Figura 15. Fuentes de captación de agua del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan"

4.1.3. Reservorio

Otro componente principal del sistema de distribución de la red de abastecimiento de agua, es el reservorio, de forma rectangular en el cual se alimenta de agua directamente de la fuente de captación, por gravedad. Se encuentra ubicado en el barrio La Vaquería en la cota 2799.80 m.s.n.m. y coordenadas 9955817 N, 777890 E. Infraestructura que constantemente se realiza mantenimiento (figura 16).



Figura 16. Reservorio del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".

4.1.4. Depósitos de agua

Empleado para el almacenamiento de agua de las diferentes fuentes de abastecimiento, principalmente de las vertientes de Puichig. Se encuentran ubicados en las partes altas del sistema como se muestra en los planos de la red y actualmente se constató la existencia de 8 depósitos de agua ubicados en los barrios Pucará Alto, Pucará Bajo, La Vaquería, La Unión, San Juan, El Rosario, San Luis y San Luis Bajo (figura 17).



Figura 17. Depósito de agua - San Juan

4.1.5. Cámara rompe presión

La cámara rompe presión, estructura hidráulica, se evidencia se usan en ciertos puntos del sistema, donde existen diferencia de altura generalmente mayor a 50 metros. Estructura hidráulica que ayuda a regular la presión del agua que viene de zonas altas del sistema en este caso del reservorio (figura 18).

Se observa en el trabajo realizado en campo, la existencia de cámaras rompe presión en distintos puntos del sistema, sin embargo; no se encuentran registrados en los planos de la red de distribución del directorio, siendo necesaria la actualización del catastro.



Figura 18. Cámara rompe presión

4.1.6. Línea de conducción

El proyecto se inicia en la fuente de Puichig, del cantón Mejía a una cota de fondo de 2859,65 m.s.n.m., al sur oriente de la parroquia de Amaguaña. La conducción se desarrolla en dirección sur este, hasta llegar al distribuidor de caudal ubicado en el sector de Pucará parroquia de Amaguaña.

La línea de conducción está formada por tubería de PVC enterrada en una zanja, tiene una longitud de 15,418 metros con un diámetro inicial de 300 mm, va desde la fuente de captación de Puichig hasta el distribuidor de caudal ubicado en el barrio Pucará en la cota 2800 m.s.n.m. y diámetro final de 250 mm (figura 19).



Figura 19. Tubería de línea de conducción

La conducción consta de varios tramos y atraviesa los sectores El Mirador, La Merced, La Fontana, Hacienda la Victoria, Murco, carretera al Pasochoa, Barrio Monjas y Santo Domingo de Pilopata hasta el distribuidor de caudal y finalmente llegar al reservorio ubicado en el barrio La Vaquería en la cota 2799.80 m.s.n.m., para luego distribuir a los distintos barrios (figura 20).

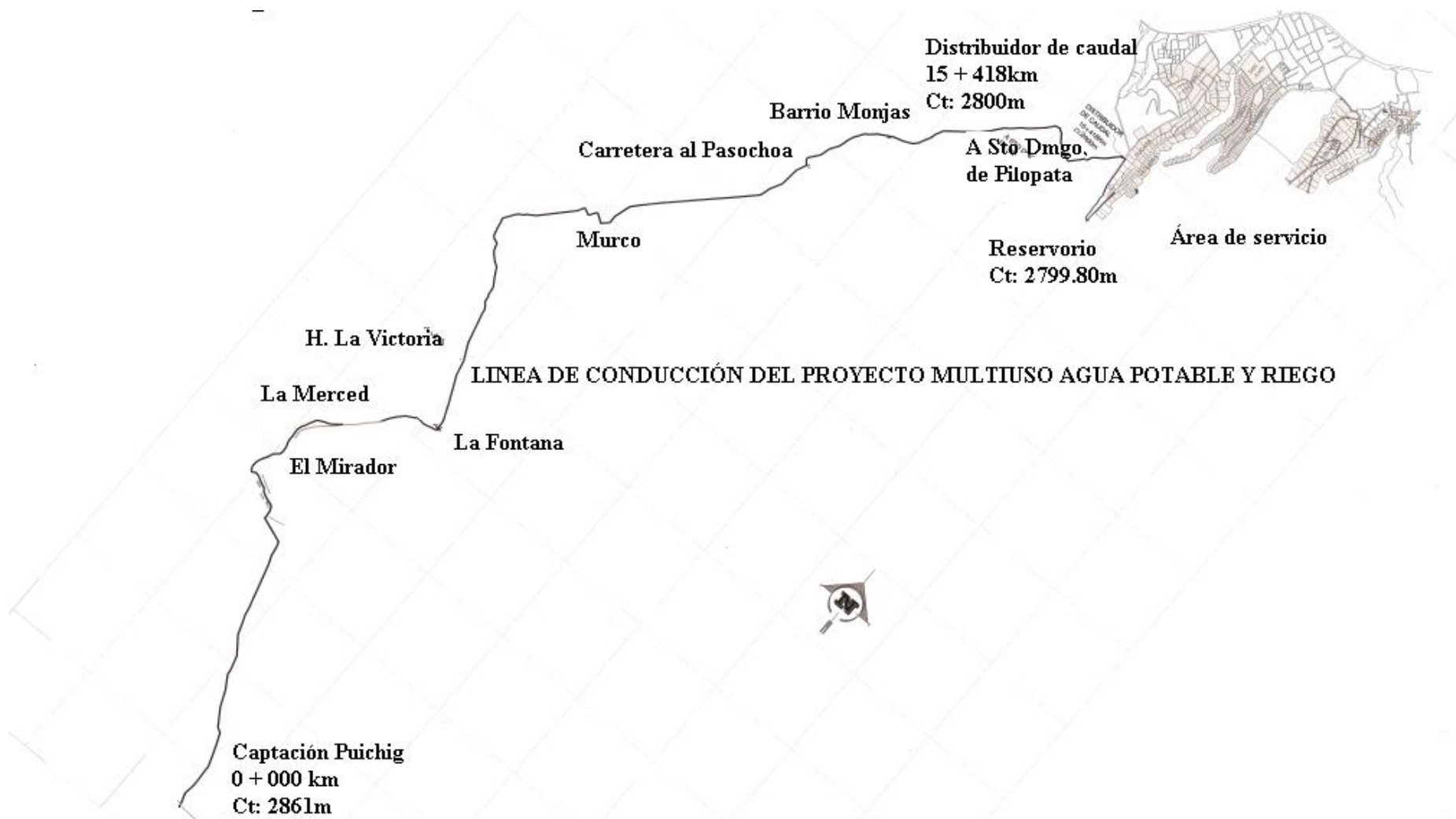


Figura 20. Línea de conducción del proyecto Puichig.

Nota: Plano del Directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”

4.1.7. Tuberías

Los materiales empleados en el sistema de distribución de agua potable son generalmente de cloruro de polivinilo (PVC), por su fácil instalación y resistencia a la corrosión. En este sentido se evidenció en la línea de conducción y distribución en el sistema está conformada por tuberías de PVC, con diámetros que van desde 20 mm hasta 90 mm, específicamente en los diferentes ramales del área de servicio (figura 21).



Figura 21. Tubería en el área de servicio barrio Peluche

4.1.8. Válvulas

Uno de los componentes importantes en la red de distribución de agua son las válvulas. En este sentido se observó en los planos de la red de distribución del directorio “La Vaquería-San Juan”, cuenta con 16 válvulas de aire y 11 válvulas de desagüe en el trayecto de la línea de conducción.

4.1.9. Cruce de quebrada

En el trayecto de la línea de conducción se encuentra un paso de quebrada, estructura de 5 m de longitud en la cota 2689,56m, anclados al terreno con protección de hormigón.

4.1.10. Área de aportación

En la determinación de áreas de aportación se realizó una sectorización referente al área correspondiente a cada barrio con la ayuda del plano de áreas de distribución del sistema de agua, cuya finalidad es definir el área total que cubre el sistema de distribución, misma que corresponde a un área de 289,32 hectáreas con una población aproximada de 5595

habitantes, según reportes actuales registrados en el directorio de Aguas “La Vaquería- San Juan” (figura 22).

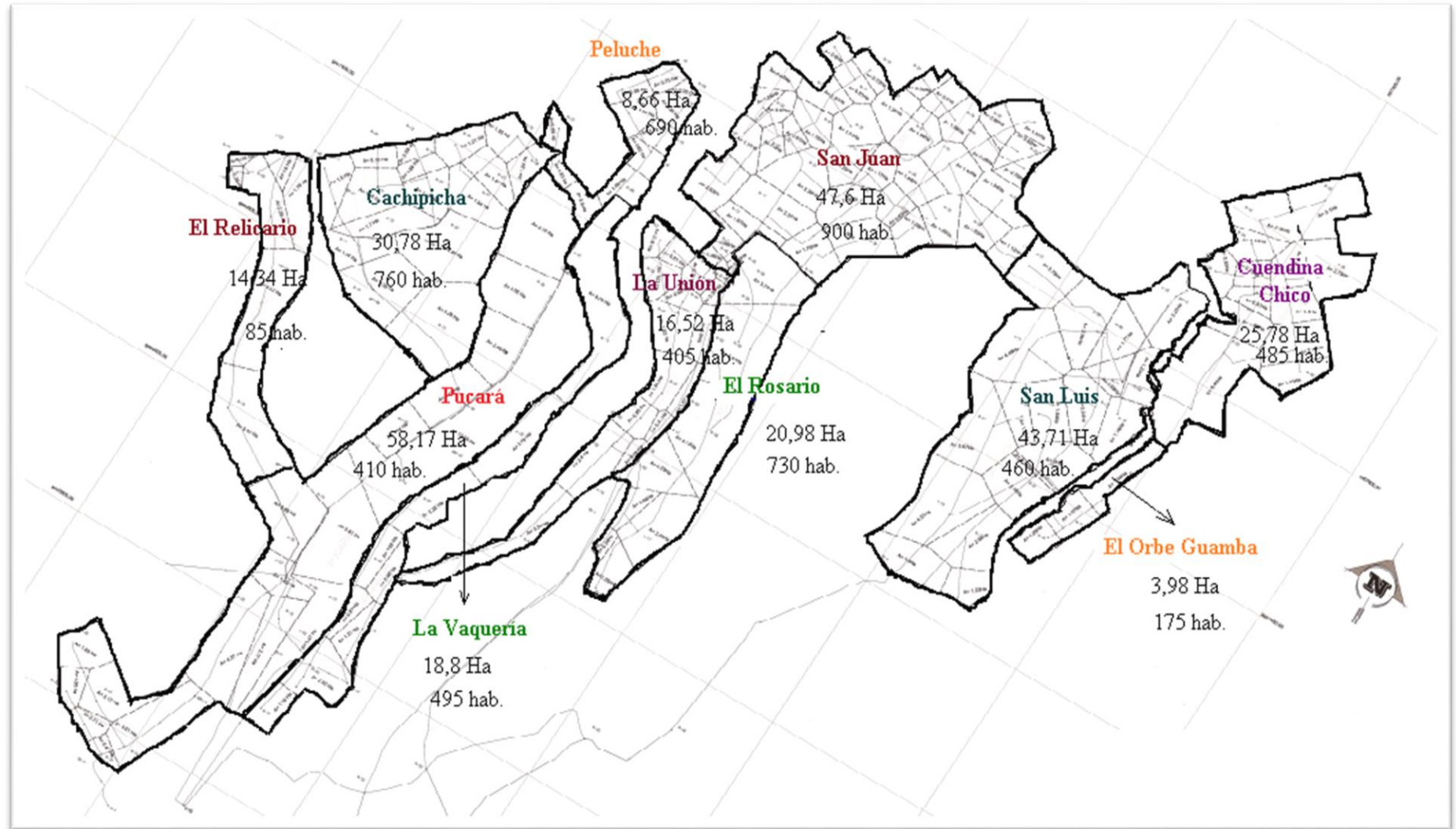


Figura 22. Áreas de aportación de la red de distribución en los 11 barrios del sur oriente de la parroquia de Amaguaña.

Nota: Reportes del Directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”.

4.2.1. Análisis de encuestas en la población

Datos

Población = 1119 usuarios

Tamaño de la muestra

$$n = (1119 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5) / [0,10^2 * (1119 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5]$$

$$n = 88$$

El valor $n = 88$, indica que se tiene una muestra de 88 usuarios de la población total a quienes se realizó la encuesta, correspondiente a los pobladores del sur oriente de la parroquia de Amaguaña beneficiarios de la red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”. En las siguientes tablas y figuras se indican los resultados arrojados de las encuestas realizadas y se presentan a continuación:

Respecto a la percepción que tienen los usuarios a la calidad del agua, se observa que, de un total de 88 encuestados, el 90% perciben como de buena calidad, mientras que el 10% lo cataloga como “mala” (figura 23).

Como se puede observar la calidad del agua va a depender de la percepción que tiene cada persona, observándose que los valores encontrados coinciden con estudios realizados en la zona propia del Valle de los Chillos, en la investigación realizada por Carrillo y Quimbiamba (2018), en la que obtuvo como resultado que el 71% de usuarios la calidad del agua es buena y el 29% lo califica como mala.

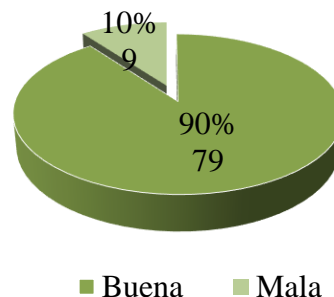


Figura 23. Percepción de los usuarios respecto a la calidad del agua

Con respecto a la calidad del agua se incluyó una sección de pregunta dirigida a conocer si es necesario realizar un estudio para evaluar la calidad de las mismas. Los resultados

muestran que el 95,5% de los encuestados opina que es indispensable realizar una evaluación para garantizar la calidad del líquido, mientras que un 4,5% manifiesta no ser necesaria realizar dicho estudio (figura 24).

Se evidencia en estudios similares la necesidad de llevar a cabo una evaluación de la calidad agua potable, mediante encuestas. Resultados que muestran que en la mayor parte de las poblaciones encuestadas aseguran ser necesaria una evaluación ya que garantizará tener acceso a un suministro de agua más segura y de calidad de acuerdo a estudios realizados por Recalde & Asqui, (2022).

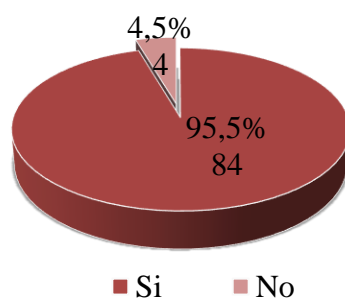


Figura 24. Evaluación de la calidad del agua.

Del total de las encuestas realizadas de una muestra de 88 usuarios, se observa que el 87,5% de encuestados tienen permanencia en el servicio de agua, mientras que el 12,5% menciona no recibir agua durante alguna fracción del día para cubrir necesidades básicas de los pobladores (figura 25).

Al analizar el nivel de continuidad del servicio de agua con trabajos similares realizados por otros investigadores se encontró a Recalde & Asqui (2022), en cuya investigación se encontró que la mayor parte de usuarios se encuentran insatisfechos con el servicio de agua que tienen. Encontrándose variabilidad en los resultados en cuanto a la opinión general en la continuidad en el servicio de agua, evidenciándose desigualdad en cuanto al acceso al agua específicamente en la provincia de Pichincha.

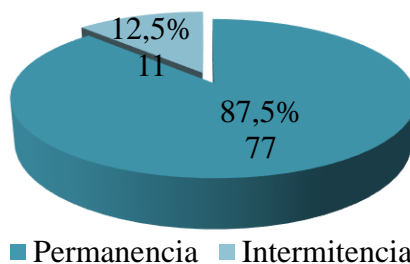


Figura 25. Porcentaje de continuidad e intermitencia en el servicio de agua.

De las 88 personas encuestadas que tienen disponibilidad a servicios básicos, el 100% tienen acceso al agua de consumo, así como también a energía eléctrica en sus viviendas y el 51% dispone de servicios de alcantarillado para descarga de aguas residuales generalmente de tipo doméstico (figura 26).

En base a esta pregunta se evidencia que los sectores más alejados a la parroquia no tienen acceso a servicios básicos de alcantarillado encontrándose concordancia en los resultados en estudios realizados en la zona rurales del valle de los Chillos ya que se encontró estudios realizados en el cantón Rumiñahui, el 97 % dispone de servicio de alcantarillado mientras que el 3% de viviendas carecen de este servicio generalmente zonas más aleañas al cantón (Carillo & Quimbiamba, 2018).

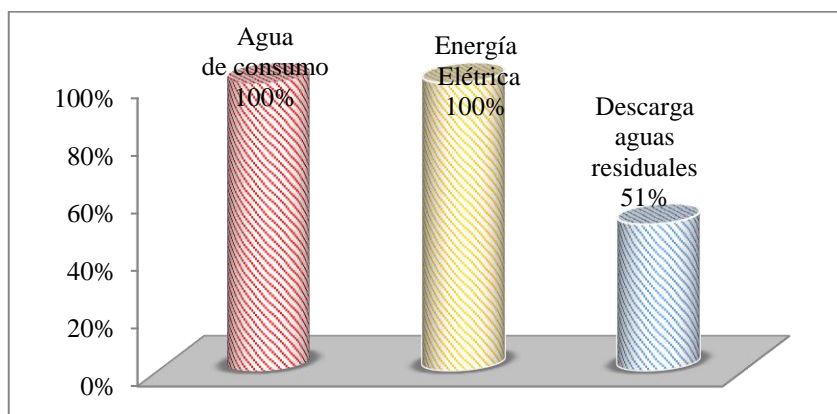


Figura 26. Porcentaje de disponibilidad de servicios básicos.

En base a esta pregunta referente a descargas de aguas residuales que se generan en las viviendas, se pudo conocer que el 51% envían al alcantarillado, el 35% optan por el uso de letrinas sanitarias y el 14% realizan descargas directas a terrenos, quebradas y ríos (figura 27).

En este ámbito al realizar comparaciones con investigaciones similares se evidencia que generalmente las zonas rurales más alejadas a las ciudades por lo general realizan descargas directas de aguas residuales a quebradas y ríos. Evidenciándose tales problemas por dificultad de acceso de recolectores y vías no aptas para el ingreso a barrios alejados a las parroquias (Asqui & Recalde, 2022).

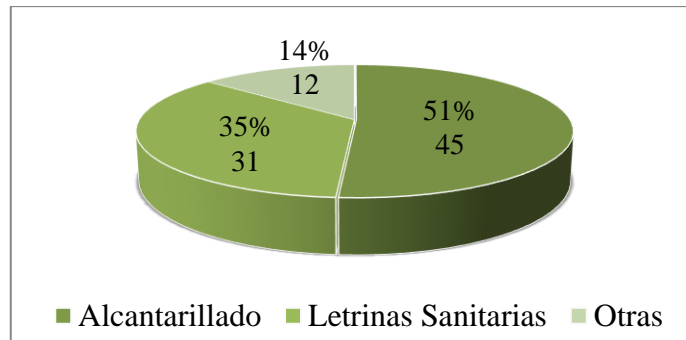


Figura 27. Descarga de aguas residuales domésticas.

A partir de los hallazgos encontrados se establece que existe relación directa entre las obras hidráulicas existentes con que cuenta el directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” y calidad, ya que se constató en campo que constantemente se realiza mantenimiento para eficientar los servicios, lo cual se reflejado en los habitantes.

Obras de infraestructura que en el transcurso de los años se ha ido adaptando a las necesidades de la población, principalmente por el crecimiento acelerado de la población. Transiciones que se han venido desarrollando por la implementación de la nueva fuente de captación de Puichig al sistema, que brinda servicio a 5595 habitantes y en un futuro se beneficiarán aproximadamente 11055 habitantes.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Carrillo y Quimbiamba (2018), en sus hallazgos encontrados en zonas rurales propias del Valle de los Chillos (Mushuñan e Inchalillo Alto) de condiciones muy semejantes, quienes señalan que las obras de infraestructura son inapropiadas y sin ninguna evaluación técnica, sistema que brinda servicio actualmente a 12680 habitantes, para lo cual plantean como alternativa el rediseño de la red de distribución. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

En el estudio de la calidad del agua a través de la implementación de un modelo de simulación de redes se encontró ser necesaria primeramente una evaluación en campo de los componentes del sistema referente a fuentes de captación, cámaras rompe presión, válvulas, etc., ya que permitió tener una visión global de la situación de las redes. Esta investigación coincide con investigaciones realizadas por Bravo (2017) y Egea (2013), quienes realiza un estudio previo de levantamiento topográficos y visitas de campo para identificar los componentes hidráulicos que presentan la red de distribución de agua potable para tener un sustento científico en la modelación hidráulica y se pueda localizar fácilmente las deficiencias de la red y su estudio.

4.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

4.2.1. Parámetros Físico-químicos

Los resultados de parámetros físico-químicos se discuten a continuación:

4.2.1.1. Olor, sabor

La tabla 5, detalla los parámetros evaluados, en los cuales se observa el cumplimiento de estos parámetros de acuerdo a la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 en la cual indica que este parámetro es no objetable ya que va a depender del sentido organoléptico de cada persona. En este sentido se cataloga no ser necesario emplear un tratamiento para mejorar este parámetro ya que las características organolépticas olor y sabor cumplen condiciones adecuadas para el consumo humano (véase anexo 8).

Tabla 5. Parámetros de olor y sabor medidas *in situ*.

Punto de muestreo	Olor	Sabor	Comparación
Fuente de Captación	Ausencia	Ausencia	Cumple
Antes Reservorio	Ausencia	Ausencia	Cumple
Después Reservorio	Ausencia	Ausencia	Cumple
Barrio Peluche	Ausencia	Ausencia	Cumple
San Juan	Ausencia	Ausencia	Cumple

4.2.1.2. Temperatura

En el análisis de este parámetro, se observa que el valor mínimo de temperatura es 16,5 °C en la fuente de captación, mientras que el valor máximo de temperatura es 21 °C en el barrio Peluche. Todos los valores se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos bajo la norma TULSMA (figura 28).

Es importante mencionar que la temperatura del agua es un parámetro muy importante que se debe tener en consideración en las estrategias de control de la calidad del agua, especialmente en los procesos de desinfección mediante cloración.

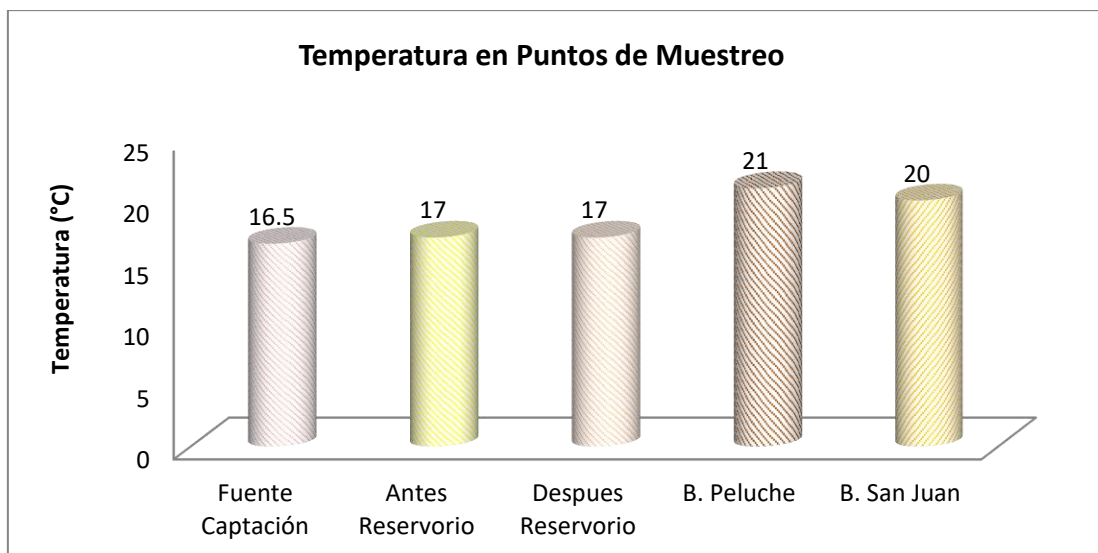


Figura 28. Valores de temperatura medidos in situ.

4.2.1.3. Potencial de hidrogeno (pH)

Al realizar el análisis de los resultados obtenidos para este parámetro en los diferentes puntos de muestreo (tabla 6), se observa que el valor mínimo de pH es de 7,4 en el barrio Peluche y valor máximo de pH es 8,1 correspondiente al muestreo realizado después del Reservorio, valores que se encuentran dentro de límites permisibles de acuerdo a la norma NTE INEN 1108, confirmando la calidad del agua en base a este parámetro.

Tabla 6. Comparación de valores de pH vs Norma NTE INEN 1108

Punto de muestreo	Límites permisibles	Resultados	Comparación
Fuente de Captación	6,5 – 8,5	7,9	Cumple
Antes Reservorio	6,5 – 8,5	7,8	Cumple
Después Reservorio	6,5 – 8,5	8,1	Cumple
Barrio Peluche	6,5 – 8,5	7,4	Cumple
San Juan	6,5 – 8,5	7,08	Cumple

4.2.1.4. Turbiedad

En lo que se refiere al parámetro turbiedad (tabla 7), los resultados arrojados son los siguientes: En todos los puntos de muestreo se encuentran valores igual a 0 NTU, por lo tanto, los valores se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la norma NTE INEN 1108, confirmando la calidad del agua en base a este parámetro.

Tabla 7. Comparación de valores de turbiedad vs norma NTE INEN 1108

Punto de muestreo	Unidad	Límites	Resultados	Comparación
Fuente de Captación	NTU	5	0	Cumple
Antes Reservoirio	NTU	5	0	Cumple
Después Reservoirio	NTU	5	0	Cumple
Barrio Peluche	NTU	5	0	Cumple
San Juan	NTU	5	0	Cumple

4.2.1.5. Demanda bioquímica de oxígeno

Los resultados obtenidos, para parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), muestran que las concentraciones en los puntos de muestreo en la fuente de captación de Puichig y después del reservorio se encuentran en el límite permisible establecidos por la norma TULSMA, sin embargo, se puede mencionar que se encuentra dentro de especificaciones cuyo valor permitido es de 2 mgO₂/l (tabla 8).

Según, Sánchez (2018), la DBO indica que, en un agua potable, cuyos valores estén en un rango de 1 – 2 ppm es muy buena pues no existe mucha materia orgánica en el agua.

Tabla 8. Comparación de valores de DBO₅ vs Norma TULSMA

Punto de muestreo	Unidad	Límites	Resultados	Comparación
Captación Puichig	mg/l	2	2	Cumple
Antes Reservoirio	mg/l	2	1	Cumple
Después Reservoirio	mg/l	2	2	Cumple
Barrio Peluche	mg/l	2	1	Cumple
San Juan	mg/l	2	1,9	Cumple

4.2.1.6. Demanda química de oxígeno

Respecto a este parámetro se puede evidenciar que los valores arrojados para demanda química de oxígeno (DQO), en los diferentes puntos de muestreo se encuentran fuera de límites permisibles, cuyos valores son superiores al límite permisible establecidos por la norma TULSMA (tabla 9).

En este sentido, se cataloga ser necesario plantear alternativas de solución, mediante tratamientos previos sean estos por medio de tratamientos fisicoquímicos como puede ser procesos de coagulación o floculación mediante la adición de sulfato de aluminio o proceso de ozonización. Procesos que tienen la capacidad de disminuir la DQO y DBO (véase anexo 9, 10, 11, y 12).

Tabla 9. Comparación de valores de DQO5 vs Norma TULSMA.

Punto de muestreo	Unidad	Límites	Resultados	Comparación
Fuente de Captación	mg/l	4	28	No cumple
Antes Reservorio	mg/l	4	25	No cumple
Después Reservorio	mg/l	4	32	No cumple
Barrio Peluche	mg/l	4	21	No cumple
San Juan	mg/l	4	23	No cumple

4.2.1.7. Cloro residual

En cuanto al análisis de este parámetro, se observa que en los puntos de muestreo después del reservorio, barrio Peluche, Cachipicha, La Unión y San Luis sus valores se encuentra dentro de límites permisibles según la norma NTE INEN 1108, excepto para los barrios El Orbe Guamba y San Juan cuyos valores se encuentran por debajo del límite inferior permisibles (tabla 10), considerándose necesario tener un mayor control en los procesos de desinfección del agua por parte del operador en estos sectores (véase anexo 8).

Por disponibilidad del equipo facilitado por parte del operador del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” se determina más puntos de muestreo el cual permite evidenciar de mejor manera la tendencia de resultados.

Tabla 10. Comparación de valores de cloro residual vs Norma INEN 1108

Punto de muestreo	Unidad	Límites	Resultados	Comparación
Después Reservorio	mg/l	0,3 – 1,5	0,79	Cumple
Barrio Peluche	mg/l	0,3 – 1,5	1,26	Cumple
Barrio Cachipicha	mg/l	0,3 – 1,5	1,35	Cumple
Barrio La Unión	mg/l	0,3 – 1,5	1,10	Cumple
Barrio El Orbe Guamba	mg/l	0,3 – 1,5	0,04	No cumple
Barrio San Luis	mg/l	0,3 – 1,5	1,46	Cumple
Barrio San Juan	mg/l	0,3 – 1,5	0,20	No cumple

4.2.1.8. Parámetros químicos

En la tabla 11, se muestra los valores de parámetros químicos realizados para el agua cruda en la fuente de captación de Puichig, por lo que se puede evidenciar que las características químicas cumplen la normativa TULSMA Libro VI Anexo 1 (Norma que se aplica durante la captación y se refiere a aguas para consumo humano y doméstico), catalogándose de esta manera no ser necesario emplear un tratamiento para mejorar estos parámetros, confirmando la calidad del agua en base a estos parámetros (véase anexo 17).

Tabla 11. Parámetros químicos en la fuente de captación Puichig vs Norma TULSMA

Determinaciones	Unidades	Límites	Resultados	Comparación
Arsénico	mg/L	0,05	0,0044	Cumple
Bario	mg/L	1,0	< 0,2	Cumple
Cadmio	mg/L	0,01	< 0,02	Cumple
Mercurio	mg/L	0,001	< 0,0002	Cumple
Fluoruros	mg/L	1,5	< 0,70	Cumple
Hierro total	mg/L	1,0	< 0,07	Cumple
Plomo	mg/L	0,05	< 0,09	Cumple
Selenio	mg/L	0,01	< 0,0001	Cumple

Nota: Reportes del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan"

4.2.2. Parámetros Microbiológicos

4.2.2.1. Coliformes fecales

En el análisis microbiológico se observa que las muestras al ser analizadas, los valores encontrados para coliformes fecales, son menores a 1,1 NMP/100ml, en los cinco puntos de muestreo analizados (véase anexos 13, 14, 15 y 16), cumpliéndose de esta manera con la norma NTE INEN 1108 (tabla 12).

Por lo mencionado anteriormente, las características microbiológicas para este parámetro, cumplen con las condiciones adecuadas para consumo humano por lo que se cataloga no ser necesario emplear ningún tratamiento para mejorar la calidad del agua para este parámetro.

Tabla 12. Comparación de índice de coliformes fecales vs Norma INEN 1108

Punto de muestreo	Unidad	Límites	Resultados	Comparación
Fuente de Captación	(NMP/100ml)	< 1,1	< 1,1	Cumple
Antes Reservorio	(NMP/100ml)	< 1,1	< 1,1	Cumple
Después Reservorio	(NMP/100ml)	< 1,1	< 1,1	Cumple
Barrio Peluche	(NMP/100ml)	< 1,1	< 1,1	Cumple
San Juan	(NMP/100ml)	< 1,1	< 1,1	Cumple

A partir de los hallazgos encontrados se establece que existe relación entre la opinión de los encuestados y los resultados arrojados para la evaluación y caracterización de la calidad del agua mediante el análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos. En este sentido, se confirma los hallazgos encontrados, ya que un 90% de encuestados califica al agua de consumo de buena calidad y 87,5 % tiene permanencia en el servicio de este recurso encontrándose una estrecha relación con los datos arrojados para parámetros físico-químicos

y microbiológicos mismos que en gran parte del sistema cumple las normas vigentes en el Ecuador.

Los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del agua mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos básicos, permitieron evidenciar las condiciones en las que se encuentra este recurso hídrico con respecto a las normativas y verificar si es apta para el consumo humano, resultados que guardan relación con lo que sostiene Carrillo y Quimbiamba (2018), Barreiro (2020), quienes señalan que los parámetros físico-químicos y microbiológicos básicos pueden ser utilizados para caracterizar la calidad del agua. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Respecto a los hallazgos encontrados en las encuestas realizadas respecto al descontento de los usuarios con la calidad, se confirma dicho resultado ya que un 10 % de encuestados lo cataloga de mala calidad y 12,5% tiene problemas de intermitencia encontrándose una estrecha relación con los hallazgos encontrados para los parámetros físico-químicos en los cuales no cumplen la normativa referente al parámetro cloro residual.

En cuanto a los hallazgos que se encuentran fuera de especificaciones se observa que los resultados guardan relación con lo que sostiene Landa (2016), Cocha (2009), Oleas (2016), Asqui y Recalde (2022), quienes en sus hallazgos encontraron parámetros físico-químicos fuera de especificaciones. En este contexto, Landa (2016), en sus hallazgos encontró que el cloro residual conforme se realiza la distribución del agua tratada por las redes domiciliarias, el cloro residual tiende a disminuir su concentración, pero no desaparece ya que en las redes lejanas se encuentra restos de cloro residual en concentraciones bajas. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Los hallazgos encontrados en la evaluación de la calidad agua también se observó que en la fuente de captación la demanda química de oxígeno no cumple especificaciones mismas que se deben a fenómenos propios de la cuenca, resultados que guardan relación con lo que sostiene Castillo (2018), quien encontró en el punto de captación el parámetro turbidez supera las normas establecidas. Evidenciándose que el agua cruda siempre va a existir variabilidad en sus parámetros tanto físico-químicos y microbiológicos, ya que siempre va estar expuesta a algún tipo de contaminación de origen natural, hallazgos que guardan relación con los encontrados en la investigación.

4.3. MODELACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DIRECTORIO DE AGUAS “LA VAQUERÍA-SAN JUAN”.

La simulación se realizó desde la fuente de captación de Puichig hasta el final de la línea de distribución correspondiente al barrio Cuendina Chico.

4.3.1. Cotas

La red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” en la actualidad cuenta con 6 vertientes de captación de agua siendo la principal fuente la de Puichig y 8 tanques de abastecimiento de agua distribuidos en distintos sectores del sistema. En la red de distribución, se observa la topografía del sistema, donde se encuentra localizada (fuentes de captación, nodos y líneas de tuberías), comprendida entre la cota 2934,36 m.s.n.m. y 2511,05 m.s.n.m.

En los puntos mas altos del sistema se encuentran ubicados las fuentes de captación, caracterizados por puntos de color amarillo y rojo, mientras los puntos más bajos se encuentran caracterizados por puntos de color azul correspondiente a los barrios San Juan y Cuendina Chico (figura 29).

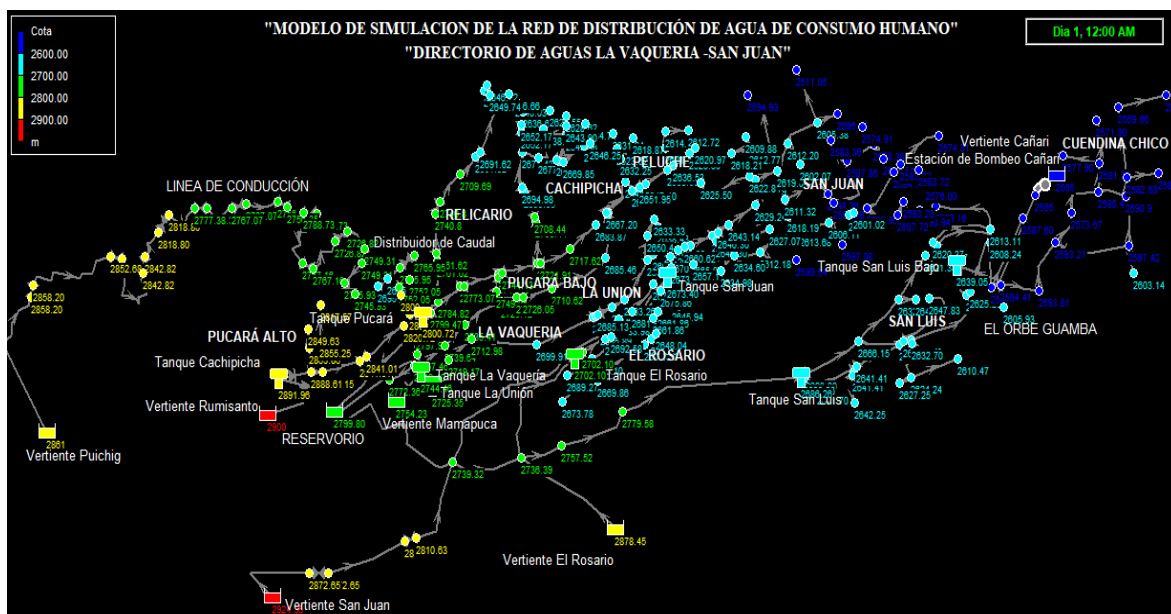


Figura 29. Visualización de cotas en nodos en EPANET.

4.3.2. Diámetros

En el sistema de distribución, se puede evidenciar que la mayor parte de tramos están compuestos por diámetros comprendidos entre 25 mm a 50 mm caracterizados por líneas de color celeste y corresponde al área de servicio. Seguidamente, se encuentra diámetros comprendidos entre 50 mm a 100 mm, caracterizados por líneas de color verde el cual también corresponde al área de servicio, mientras que tuberías con diámetros superiores a 100 mm se encuentran en menor cantidad, caracterizados por líneas de color amarillo y rojo correspondiente a línea de conducción del sistema (figura 30).

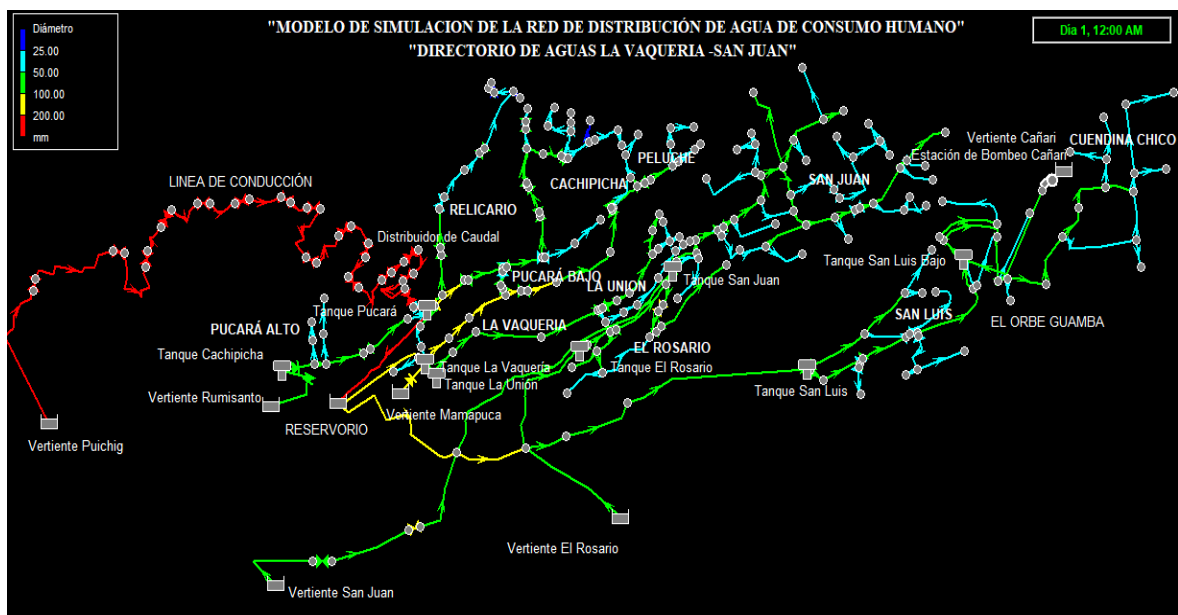


Figura 30. Mapa de diámetros de tuberías en EPANET

4.3.3. Presiones

Al ejecutar el programa, se puede observar en el sistema se presentan presiones que sobrepasan los 70 metros columna de agua (m.c.a.), caracterizados por puntos de color rojo, siendo las zonas más críticas en el barrio Peluche, El Relicario, La Unión y la cota más baja en el sector de San Juan, mismas que pueden ocasionar problemas relativos de fugas de agua por fisuras en la red (figura 31).

En las redes también, se puede observar no existir presiones por debajo de 10 m.c.a., por lo que en la mayor parte del área de servicio del sistema las presiones se encuentran dentro de un intervalo entre 10 m.c.a. y 70 m.c.a., caracterizados por puntos de color celeste y verde.

En este sentido, se puede catalogar que las presiones en el área de servicio son aceptables, ya que de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5, manifiesta que en las condiciones más desfavorables de la red se considera una presión mínima de 10 m.c.a., para garantizar una buena distribución y la presión estática, no deberá ser mayor a 70 m.c.a.

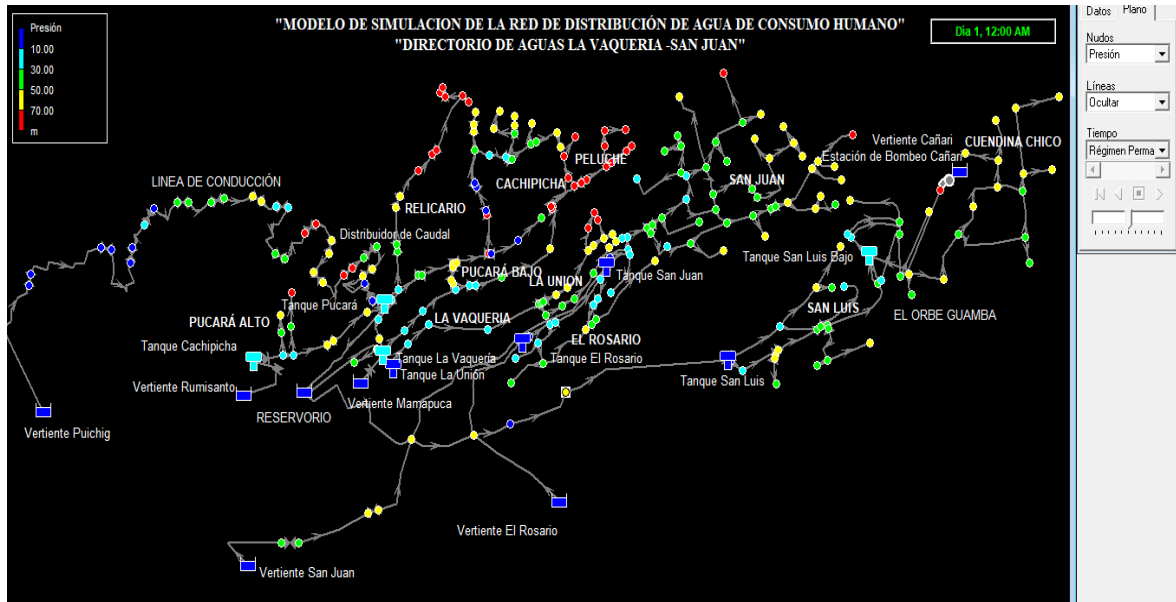


Figura 31. Modelado de presiones en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".

El mapa de isolneas para presiones permite identificar el comportamiento hidráulico del sistema de abastecimiento con presiones dinámicas de la zona, identificandose por distintos colores la variabilidad de presiones (figura 32).

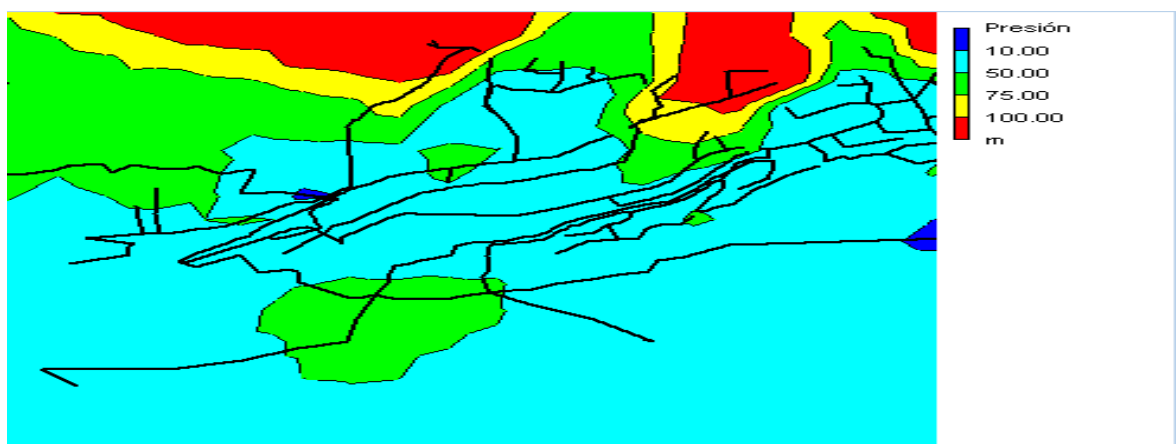


Figura 32. Resultado de presiones en EPANET

4.3.4. Velocidades

Las velocidades en el área de servicio del sistema se encuentran en su mayoría en un intervalo de valores entre 0,2 m/s a 2,5 m/s, caracterizados por las líneas de color celeste, verde y amarillo. Sin embargo se evidencia, velocidades inferiores a 0,20 m/s siendo más evidente en el barrio San Juan, caracterizados por líneas de color azul, mismas que pueden ocasionar problemas en la calidad del agua dentro de la red debido a la formación de depósitos y sedimentación de partículas (figura 33).

Dentro de este contexto según la Norma Ecuatoriano de la Construcción NEC-11 (2011), en el capítulo 16, establece que la velocidad de diseño del agua en las tuberías debe fluctuar entre 0,6 m/s y 2,5 m/s. Se considera óptimo el valor de velocidad de 1,2 m/s.

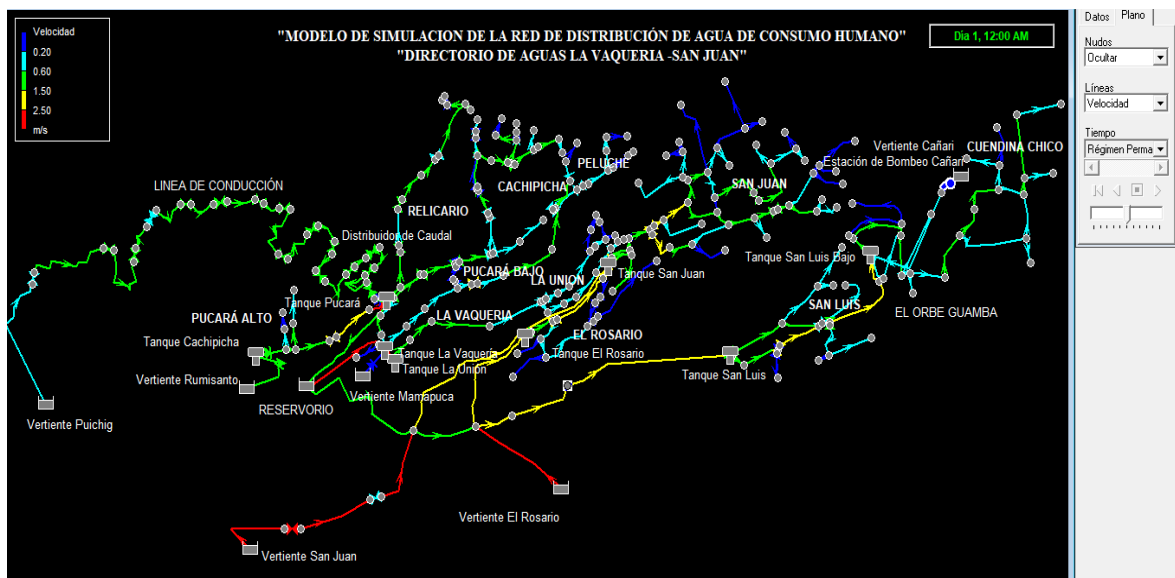


Figura 33. Modelado de velocidades en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".

4.3.5. Caudales

Es importante identificar las tuberías que transportan el mayor caudal dentro del sistema mismo que permitirá identificar posibles falencias dentro de la red.

En este sentido se puede observar que las líneas principales del sistema de conducción presentan los mayores caudales caracterizados por líneas de color rojo y constituyen a las tuberías de mayor diámetro y al contrario las tuberías de menor diámetro presentan el caudal mínimo representadas por líneas de color azul y constituyen a los ramales en el área de servicio del sistema (figura 34).

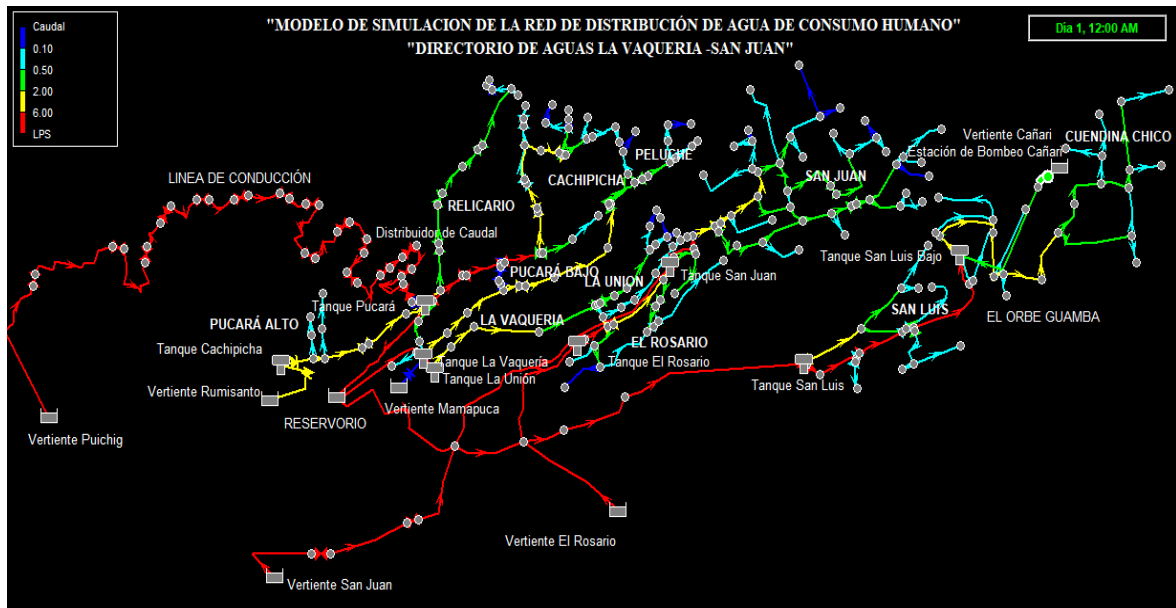


Figura 34. Modelado de caudales circulantes en la red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan” (l/s).

4.3.6. Pérdidas unitarias

La pérdidas unitarias registradas dentro del sistema se observa predomina pérdidas superiores a 4m/km, caracterizados por líneas de color rojo y constituyen a los ramales de la red de distribución del área de servicio generalmente por la transiciones y presencia de tuberías de menor diámetro (figura 35).

Por lo general se evidencia en la mayor parte del sistema predominan pérdidas unitarias, por lo que se atribuye ser muy común en las zonas rurales ya que las obras, tipo de infraestructura y construcciones realizan inapropiadamente sin ninguna evaluación técnica y en el transcurso del tiempo se van realizando modificaciones de acuerdo al crecimiento poblacional y áreas de servicio, por lo que al utilizar redes de tipo ramificadas por la variabilidad en los diámetros de las tuberías es muy común encontrarse con pérdidas unitarias elevadas en la mayor parte del sistema.

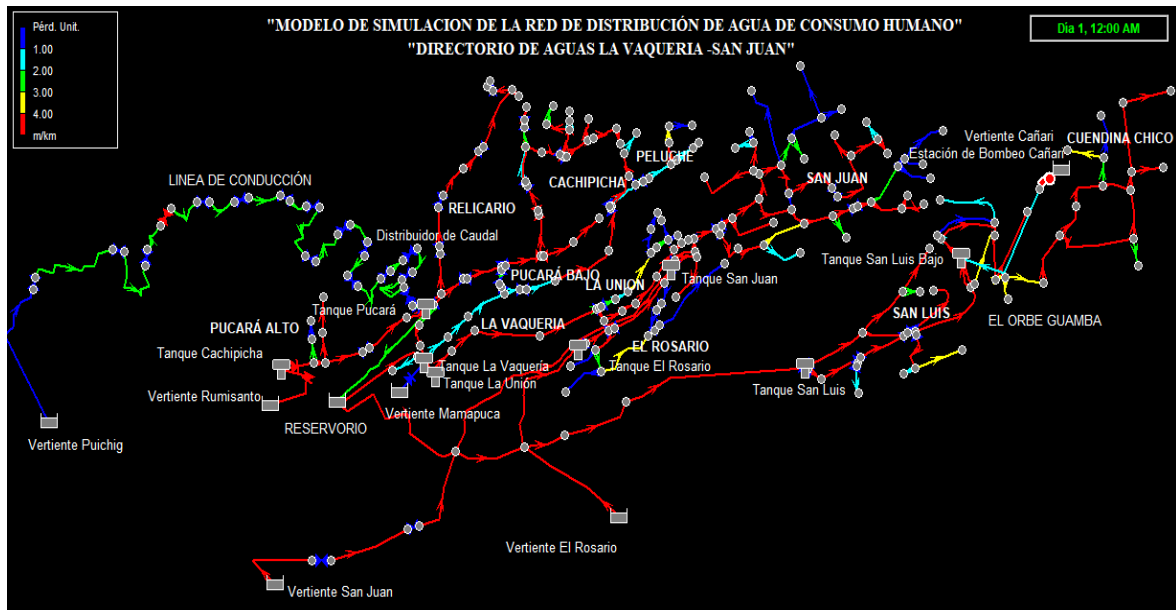


Figura 35. Modelado de pérdidas unitarias generadas en las tuberías del sistema del directorio de aguas “La Vaquería- San Juan” (mca/km).

A partir de los hallazgos encontrados, se establece que mediante la aplicación de un modelo de simulación mediante el software EPANET en las instalaciones del Directorio de Aguas “La Vaquería-San Juan”, aportan un desempeño positivo en el comportamiento hidráulico y calidad del agua en las redes de abastecimiento permitiendo conocer las condiciones en las cuales se encuentran funcionando la red.

En este sentido se confirma los hallazgos encontrados ya que un 90% de encuestados considera el agua de consumo de buena calidad y 87,3% tiene permanencia en el servicio de este recurso encontrándose relación con los resultados encontrados respecto al modelamiento de presiones (10 m.c.a. y 70 m.c.a.) y velocidades alrededor de 1,2 m/s, valores aceptables según las normas vigentes en el Ecuador. Resultados que permitieron evidenciar el comportamiento de estas variables mediante el software EPANET, justificándose y comprobándose mediante las encuestas realizadas, lo cual es congruente con sus resultados. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Quishpe (2018) y Álvarez (2021, quienes encontraron que el modelo creado en EPANET permitirá hacer una evaluación aproximada del sistema y mejorar la gestión ya que se aproxima al funcionamiento real.

Por otra parte, respecto a las irregularidades en la red los hallazgos confirman que un 10% de encuestados considera el agua de consumo de mala calidad y 12,5 % tiene problemas de intermitencia encontrándose una estrecha relación con los resultados encontrados en la

simulación hidráulica ya que se evidenció irregularidades en las presiones con valores superiores a los 70 m.c.a y velocidades inferiores a 0,2 m/s. Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Bravo (2017), Chuquin (2016), Cajamarca (2018), Idrobo (2018) y Acuña (2013), quienes señalan encontrar irregularidades en las redes, con respecto a la presión y velocidades mismas que puede provocar falencias en el sistema. Estos autores expresan que el software EPANET es un programa que permite realizar el modelamiento de las redes de distribución que sirven para comprender el funcionamiento actual y futuro de la red. Hallazgos que van acorde con lo que en este estudio se halla.

El resultado obtenido en el estudio del modelamiento hidráulico en la red del directorio demuestra que la implementación de un modelo de simulación, brinda información del funcionamiento de las variables de velocidad, presión y caudales permitiendo identificar que tramos de la red son más susceptibles de sufrir daños en el sistema, modelación que permite optimizar el control de la red. Este resultado es congruente con el estudio de De Leon & Santiago (2015), Gamboa (2020), y Limanchi (2021), quienes demuestra que el proporcionar de un modelo hidráulico permite tomar decisiones de optimización de la red ya que se identificó que varios parámetros de la red deben ser intervenidos para optimizar y ayudar a una mejor administración del sistema de abastecimiento. Estos autores concluyen que el uso del EPANET ayudan a realizar diseños óptimos y acorde a lo solicitado por las normas.

Los resultados encontrados en la simulación demuestran que, en el área de servicio existe gran variabilidad en las presiones por tratarse de una red de tipo ramificada y la diferencia de cotas existentes, así como también la variabilidad en los diámetros de tuberías. Estos resultados coinciden con los estudios de Sarmiento y Silva (2017), quien menciona que la variación de presiones que presenta la red de acueducto puede deberse a la diferencia de cota entre el tanque de distribución y los nodos. Hallazgos que van acorde con lo que en este estudio se halla.

Respecto a los resultados de simulación para presión, podemos señalar la existencia de presiones superiores a 70 m.c.a, incumpliendo de esta manera con la normativa ecuatoriana (CPE INEN 5, 1992), ya que considera aceptables niveles entre 10 m.c.a a 70 m.c.a. Estos resultados se podrían relacionar con lo que plantea Priori (2021), quién hace énfasis en sus resultados y menciona que las presiones deben mantenerse entre 30 m.c.a y 70 m.c.a y remarca la utilidad de válvulas rompedoras de presión y bombas con la finalidad de mantener niveles aceptables, reduciendo de esta manera la posibilidad de fallas en las tuberías.

A partir de los hallazgos encontrados en la simulación para la variable velocidad, se encontró también velocidades inferiores a 0,6 m/s y velocidades superiores a 2,5 m/s, incumpliendo de esta manera con la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-11, 2011) que establece que para garantizar una buena distribución de agua se debe mantener valores alrededor de 1,2 m/s, mismos que pueden afectar en la calidad del agua. Estos resultados coinciden con lo que sostiene Priori (2021) quién en su investigación señala que la velocidad es un factor importante al momento de analizar el modelo hidráulico resultante. En este sentido, menciona que velocidades altas provoca fuerzas de corte entre las paredes de la tubería y el agua que fluye, reduciendo de esta manera el crecimiento bacteriano, sin embargo, velocidades excesivas son responsables de la corrosión y estallido de las tuberías en el sistema de distribución. Las velocidades bajas traen consecuencias negativas debido a que puede afectar la calidad del agua por las reacciones de cloro residual y los sedimentos acumulados. Autor que en su investigación estableció un rango de velocidades de 0,2 m/s y 1,5 m/s para justificar los resultados encontrados.

En los resultados de la simulación de la red se observa en el área de servicio correspondiente al barrio Peluche la existencia de presiones superiores a 70 m.c.a., lo cual justifica los frecuentes daños en esta área debido a rotura de tuberías como se evidencia en la figura 21, por lo que se demuestra que el software EPANET permite evidenciar y pronosticar problemas reales que se suscitan como también futuros. Estos resultados coinciden con lo que sostiene Quishpe (2018) y Álvarez (2021), quienes encontraron que el modelo creado en EPANET se aproxima al funcionamiento real.

4.4. PROPUESTA DE MODELAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DIRECTORIO DE AGUAS “LA VAQUERÍA-SAN JUAN”.

En base al objetivo 3, proponer un modelo de simulación se realiza el estudio teniendo como única fuente de abastecimiento las vertientes de Puichig, misma que en un futuro será la principal fuente ya que como se puede evidenciar las vertientes locales, aportan con caudales muy bajos al sistema.

4.4.1. Diámetros

En la propuesta de cambio de tuberías de mayor a menor diámetro dentro del sistema como alternativa para mejorar las variables de presión y velocidad, se observa en el sistema la modificación específicamente en las zonas críticas del área de servicio, con la finalidad de mejorar las variables hidráulicas en el modelamiento (figura 36).

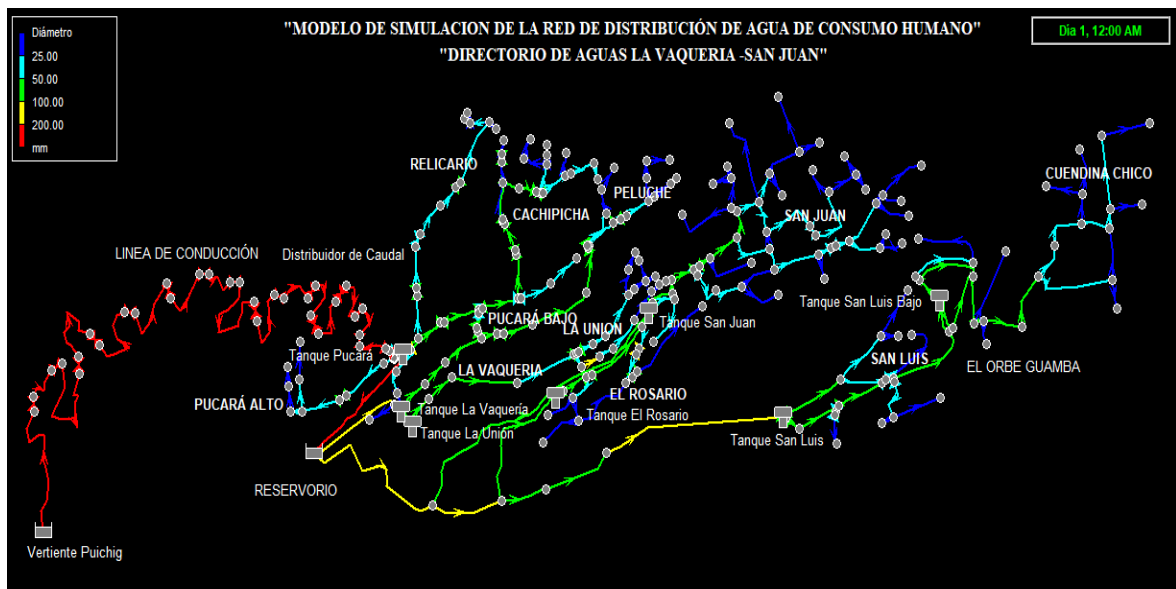


Figura 36. Mapa de diámetros de tuberías en EPANET

4.4.2. Presión

La alternativa de cambio de diámetros y la implementación de válvulas reductoras para poder controlar las presiones máximas, específicamente en las zonas críticas, dio como resultado la reducción de presiones dentro de rangos aceptables, comprendidos entre 10 a 70 m.c.a., caracterizados por líneas de color celeste, verde y amarillo en el área de servicio de la red de abastecimiento (figura 37). Resultados aceptables ya que de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción CPE INEN 5, manifiesta que en las condiciones más desfavorables de la red se considera una presión mínima de 10 m.c.a., para garantizar una buena distribución y la presión estática, no deberá ser mayor a 70 m.c.a.

Como era de esperar, la modificación en el diámetro de tuberías dio como resultado una mejora en las presiones, sin embargo, se puede evidenciar en el modelamiento de la red la existencia de presiones superiores a 70 m.c.a. en la zona crítica correspondiente a la cota 2511,05 m.s.n.m., zona más baja dentro del sistema correspondiente al barrio San Juan.

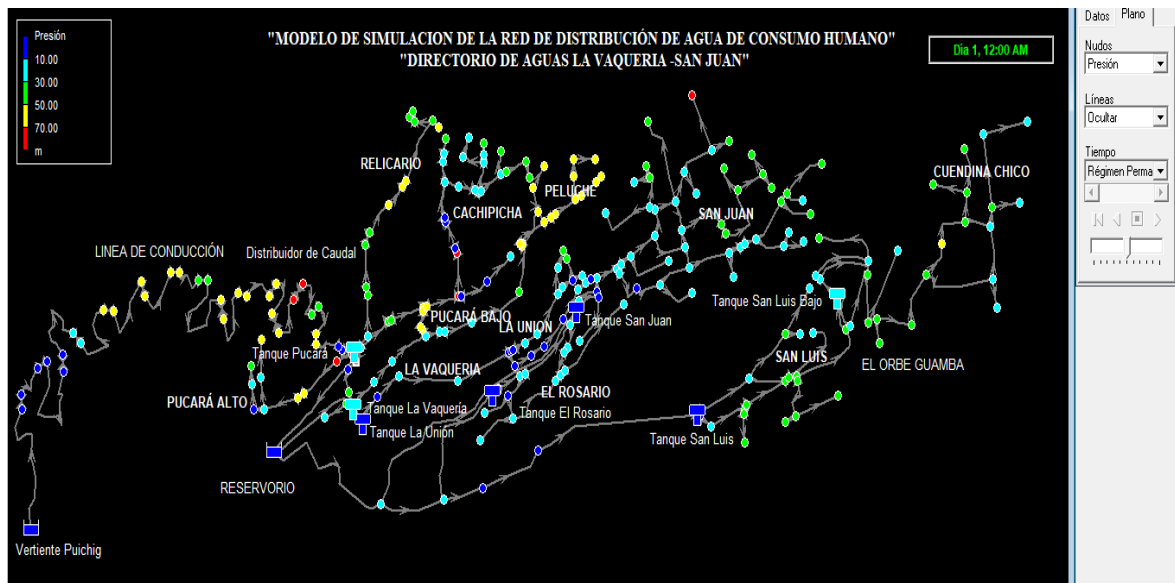


Figura 37. Modelado de presiones en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan".

4.4.3. Velocidad

Al realizar la modificación de tuberías de mayor a menor diámetro en el sistema, se observa un aumento en las velocidades, específicamente en las zonas críticas, caracterizadas por líneas de color celeste, verde y amarillo. Consiguiéndose de esta manera mejorar este parámetro principalmente en las zonas críticas a valores superiores a 0,2 m/s dentro del sistema (figura 38). Sin embargo, lo ideal sería mantener este parámetro en toda el área de servicio dentro de un rango comprendido a lo que establece la Norma Hidrosanitaria NEC-11, normativa que establece que en las tuberías de la red la velocidad deberá mantenerse entre 0,6 m/s y 2,5 m/s; considerándose óptimo el valor de 1,5 m/s.

Como era de esperar, se obtuvo una mejora en las velocidades, sin embargo, se evidencia en el modelamiento la existencia de velocidades en un rango de 0,2 m/s a 0,6 m/s, caracterizadas por líneas de color celeste, principalmente en el barrio San Juan a pesar de realizar cambios en el diámetro de tuberías para mejorar este parámetro, demostrando de esta manera que al tratarse de redes ramificadas por su alta complejidad, resulta difícil tratar de ajustar las variables de velocidad y presión en el área de servicio.

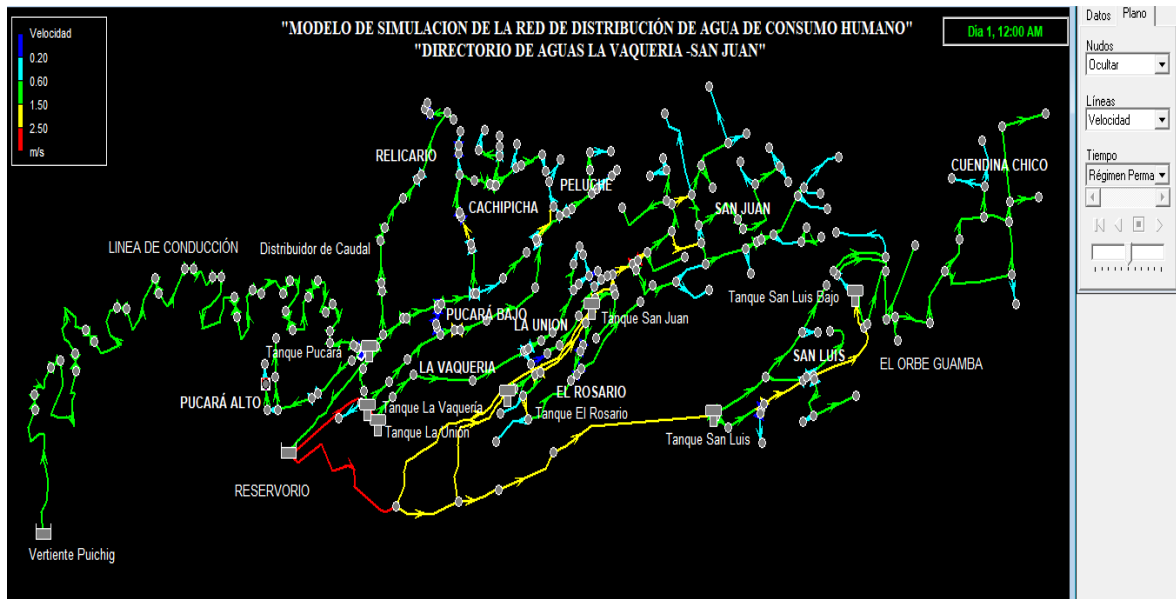


Figura 38. Modelado de velocidades en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería- San Juan.

4.4.4. Caudales

Los resultados obtenidos de la simulación se observan que las tuberías que transportan el mayor caudal se presentan en las líneas principales de conducción y distribución del sistema, caracterizados por líneas de color rojo, mientras que las líneas caracterizadas de color azul corresponden a caudales mínimos por debajo de los 0,10 l/s tal como se visualiza en la figura 39.

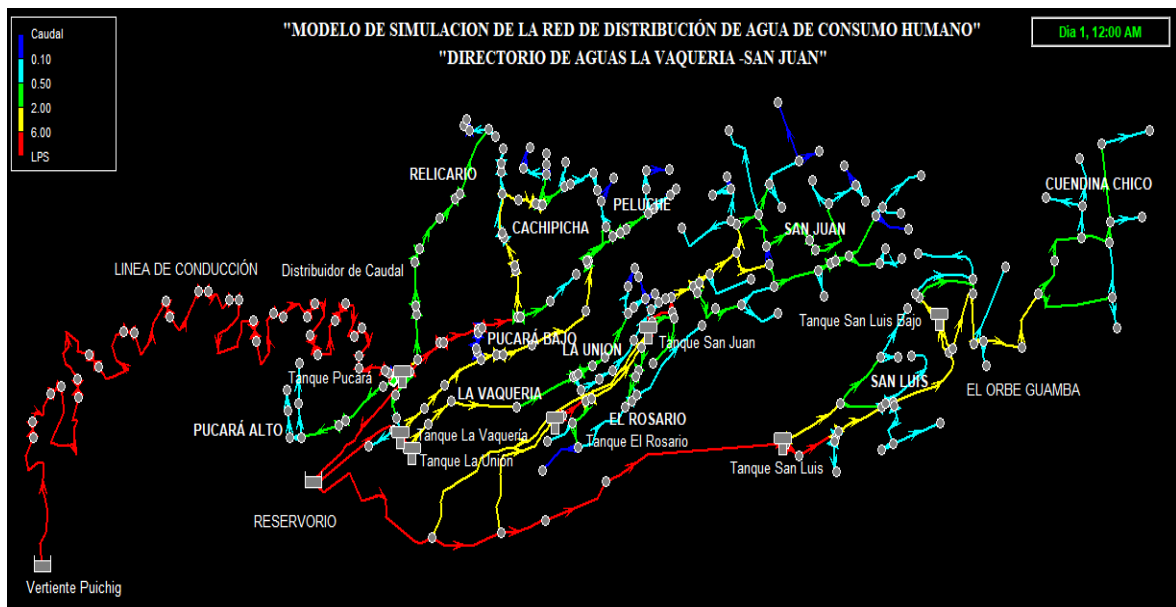


Figura 39. Modelado de caudales circulantes en la red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" (l/s).

4.4.5. Pérdidas Unitarias

Se observa pérdidas en las redes de distribución de agua específicamente en el área de servicio cuyos valores son superiores a 4m/km, caracterizados por líneas de color azul, mismas que pueden deteriorar las tuberías prematuramente, principalmente por transiciones de tuberías y diámetros en el sistema según las demandas de consumo tal como se visualiza en la figura 40.

Como era de esperar, a pesar de realizar modificaciones en el sistema para un mejoramiento de las variables de velocidad y presiones, se observa que las pérdidas unitarias son altas por tratarse de un tipo de sistema de red complejo.

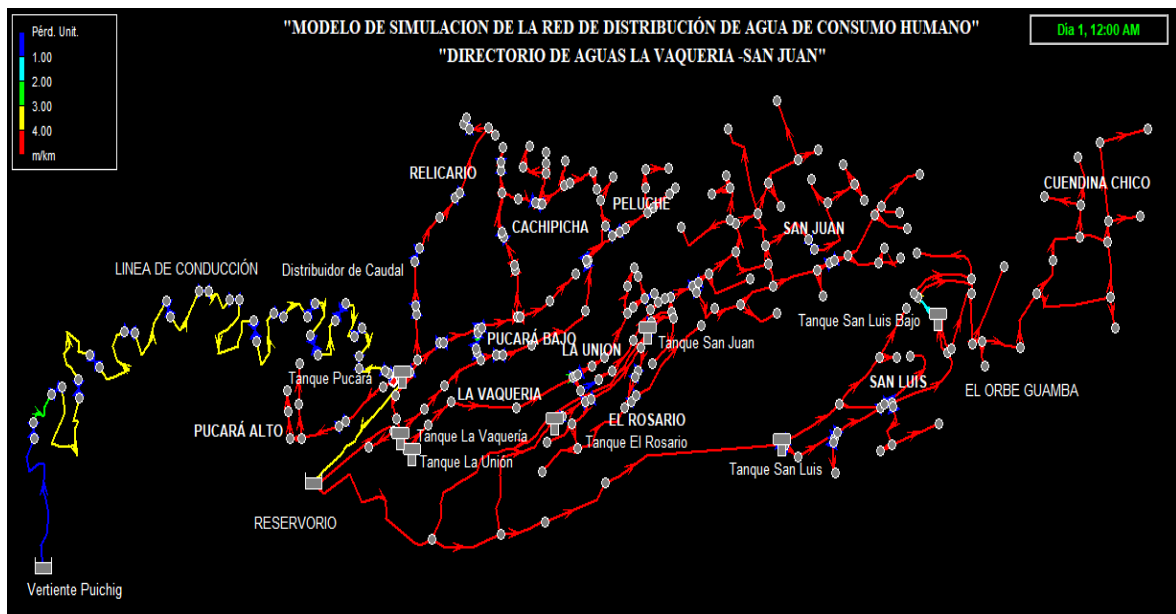


Figura 40. Modelado de pérdidas unitarias generadas en las tuberías del sistema del directorio de aguas “La Vaquería- San Juan” (mca/km).

4.5. SIMULACIÓN DOSIFICACIÓN DE CLORO

En cuanto a este parámetro, se puede apreciar en la figura 41, que los niveles de concentración de cloro varían en función del tiempo para llevarse a cabo el proceso de desinfección en el área de servicio del sistema de abastecimiento de agua.

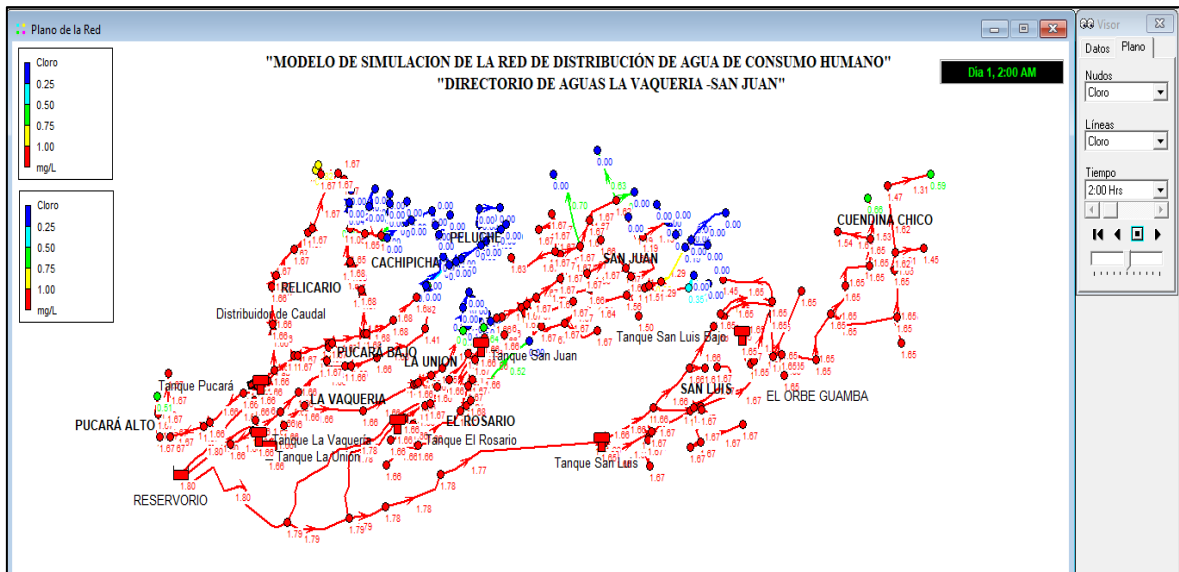


Figura 41. Simulación dosificación de cloro en EPANET

4.5.1. Evaluación del comportamiento del cloro en el tiempo

En la gráfica se presenta la variación de la concentración de cloro en el tramo del sector Peluche durante la simulación, donde se puede apreciar el comportamiento de este parámetro en el transcurso del tiempo evidenciándose, llega a un punto máximo de 1,5 mg/L. Demostrándose que para llegar a tener una concentración máxima en la red pasan aproximadamente 4 horas y a partir de este punto empieza a disminuir su concentración (figura 42).

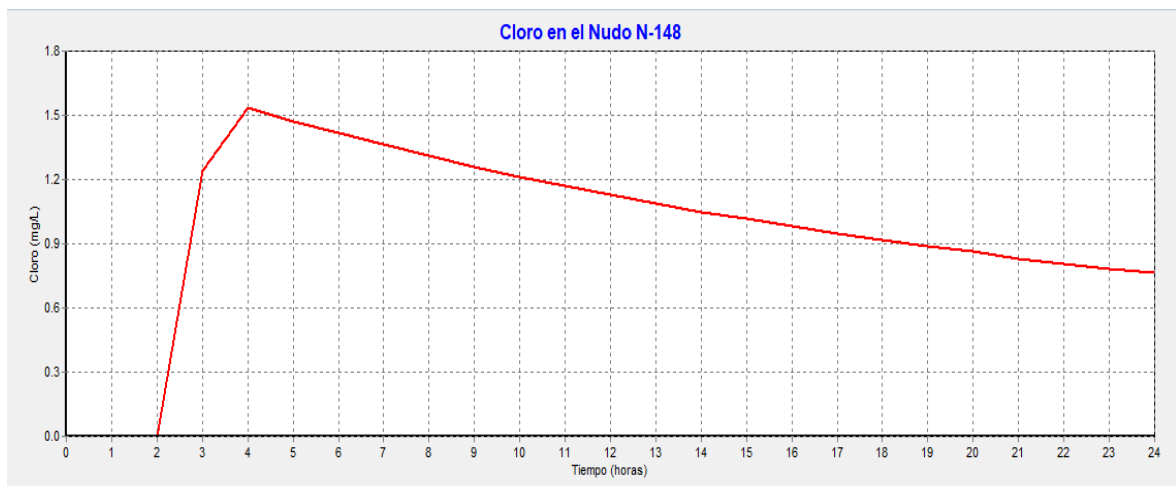


Figura 42. Comportamiento de cloro en un tramo de la tubería en el barrio Peluche

En base a los hallazgos encontrados, se estableció que la aplicación de un modelo de simulación mediante el software EPANET en las instalaciones del Directorio de Aguas “La

Vaquería-San Juan”, permitieron tomar decisiones teóricas para optimizar el desempeño de la red de distribución en los 11 barrios en estudio.

Los resultados obtenidos en la simulación de la red en zonas críticas en las cuales existen irregularidades respecto a bajas velocidades, elevadas presiones demuestran que, al manipular variables como el diámetro de tuberías o la implementación de válvulas reductoras de presión, permitieron mejorar estas variables a rangos aceptables (10 m.c.a - 70 m.c.a) y velocidades (0,6 m/s - 2,5 m/s), según la norma NEC-11 (2011). Este resultado es congruente con el estudio de Sarmiento y Silva (2017), quienes demuestran que la red de distribución de agua puede ser optimizada con el fin de mejorar las condiciones del servicio basada en la regulación de elevadas presiones mediante la adición de válvulas reguladoras como mejor alternativa en el control de altas presiones en la red.

Los resultados encontrados demuestran que al tratarse de una red ramificada existen tramos en las cuales a pesar de manipular variables como el diámetro de tuberías y la implementación de válvulas reguladoras de presión, las variables como velocidad y presión son difíciles de manipularlos para alcanzar valores aceptables de acuerdo a las normas vigentes CPE INEN 5 y la NEC-11, encontrándose de esta manera, que al tratarse de una red de tipo ramificada no se puede optimizar de manera eficiente estos parámetros por su alta complejidad, encontrándose presiones superiores a 70 m.c.a. y velocidades inferiores a 0,6 m/s, principalmente en la cota más bajas del sistema correspondiente al barrio San Juan a 2511,05 m.s.n.m.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Acuña (2013), Chuquin (2016), Cajamarca (2018) y Quishpe (2018), quienes señalan como propuesta de mejora para la optimización de la red, la implementación de válvulas reductoras que permitan reducir las sobrepresiones y el cambio de diámetros en las tuberías dependiendo del caso sea éstas para aumentar o disminuir la velocidad, de esta manera cumplir las condiciones de presiones y velocidades admisibles. Estos autores además expresan que, a pesar de realizar ciertos cambios en el sistema, se obtuvo una mejora en las presiones y velocidades, pero estas seguían sin cumplir con las admisibles. Lo cual evidencia que los hallazgos encontrados son acordes con lo que en este estudio se halla.

Los resultados en el proceso de simulación de la red permitieron confirmar que para alcanzar velocidades mayores y reducir la presión en el sistema, es necesario tener presente el criterio que la velocidad de flujo es inversamente proporcional a su diámetro y directamente

proporcional a la presión, muy fundamental tener claro estos conceptos para llevar a cabo la optimización y mejor funcionamiento de la red. Resultados que guardan relación con lo que sostiene Surita (2020), quien señala que cuando las velocidades mínimas no cumplen en la red, la situación del análisis es que requiere buscar tuberías con mayor diámetro donde se cumpla lo siguiente que a menor diámetro mayor velocidad y menor presión lo cual requiere encontrar los diámetros internos adecuados para obtener los resultados requeridos.

En los resultados de la investigación se pudo apreciar que en la evaluación de la calidad del agua mediante el parámetro cloro su concentración varía en función del tiempo entre un valor máximo y mínimo que coinciden con investigaciones realizadas de Rivero (2018) y Delgado (2022), quienes señalan que el cloro con el pasar del tiempo los resultados van variando y aumentando en el transcurso del tiempo. Lo cual evidencia que los hallazgos encontrados son acordes con lo que en este estudio se halla.

En esta investigación, mediante la simulación del comportamiento del cloro se demostró que este parámetro no se estabiliza dentro del sistema y varía su concentración en función del tiempo entre un valor máximo y mínimo, resultados que coinciden con investigaciones realizadas de Rivero (2018) y Delgado (2022), quien señala que la concentración de cloro no se estabiliza en un valor concreto, sino que fluctúa a lo largo del día entre un valor mínimo y un valor máximo. Evidenciándose la tendencia en los resultados con este autor.

4.6. EVALUACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO

Luego de realizada la modelación de la red e identificado el tipo, se evaluó el modelo hidráulico. Evidenciándose que en la actualidad el directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, cuenta con seis fuentes de abastecimiento para el suministro de agua para los usuarios. Las características de las tuberías que fueron ingresadas en el modelo previo a su simulación se presentan en el anexo 5 y 6. Como resultados obtenidos se resumen en la tabla 13.

Tabla 13. Resumen del modelo hidráulico

Componentes	Cantidad
Número de conexiones (nodos)	255
Número de tanques (Embalses)	6
Número de depósitos	8
Número de tuberías	223
Número de bombas	1
Número de válvulas	51

4.7. VALIDACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO

Comparación de resultados de caudal (modelo vs medición)

En la ilustración se presenta una gráfica de barras de comparación para la validación del modelo entre las mediciones en campo de caudal y calculadas en la simulación del modelo, así como el cálculo del porcentaje de error en distintos puntos de la red. Los errores obtenidos para la validación presentan un valor mínimo de 4,5% y un máximo de 20,4%. Diferencias que pueden deberse a varios factores entre los cuales se destaca la velocidad de flujo, presión en las tuberías y errores propios del investigador. En este sentido, se menciona que, para tener un mayor control de este parámetro, es necesario tomar en consideración las variables anteriormente mencionadas en campo (figura 43).

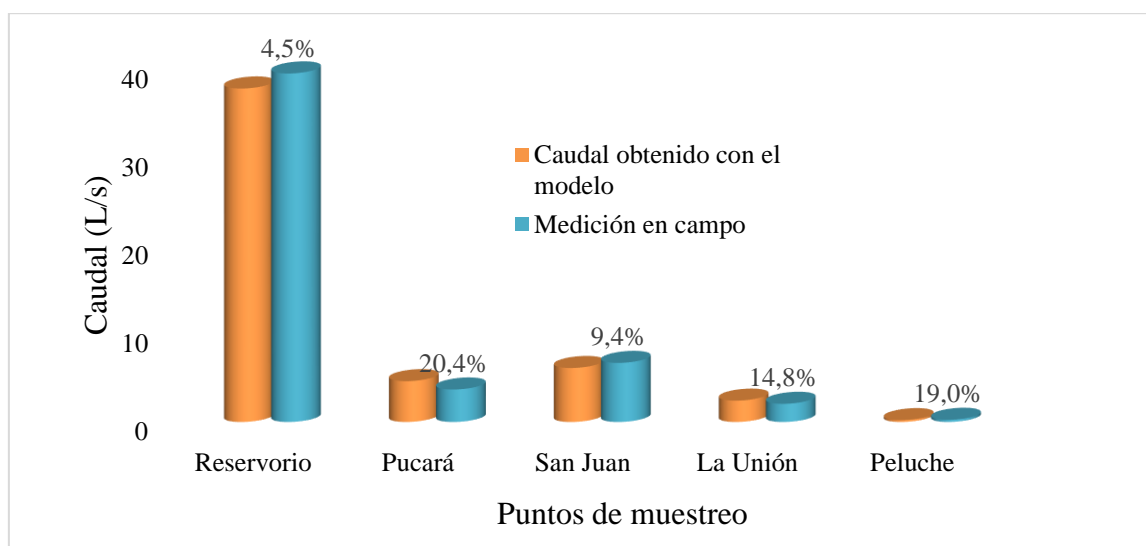


Figura 43. Comparación de mediciones y el modelo EPANET del comportamiento hidráulico de la red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”.

4.8. VALIDACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD

Comparación de resultados de concentración de cloro (modelo vs medición)

En la figura 44 se presenta una gráfica de barras de comparación entre las mediciones de campo y observadas en la simulación de la calidad del agua mediante el parámetro cloro, así como el cálculo de los porcentajes de error en diferentes puntos de la red, evidenciándose un valor máximo de 47,3 % de error en la fuente de captación y un valor mínimo de 12,6% en el sector de Cachipicha. En este contexto, se menciona que, al realizar una comparación entre los valores simulados y las mediciones en campo, siempre va existir diferencias en menor o

mayor grado mismas que pueden estar sujetas a fuentes de error sean estas debido a errores humanos, equipo de trabajo, problemas internos en el sistema, así como también reacciones químicas y físicas en el interior del fluido con el cloro, siendo necesario evaluar más puntos para tener una mejor apreciación.

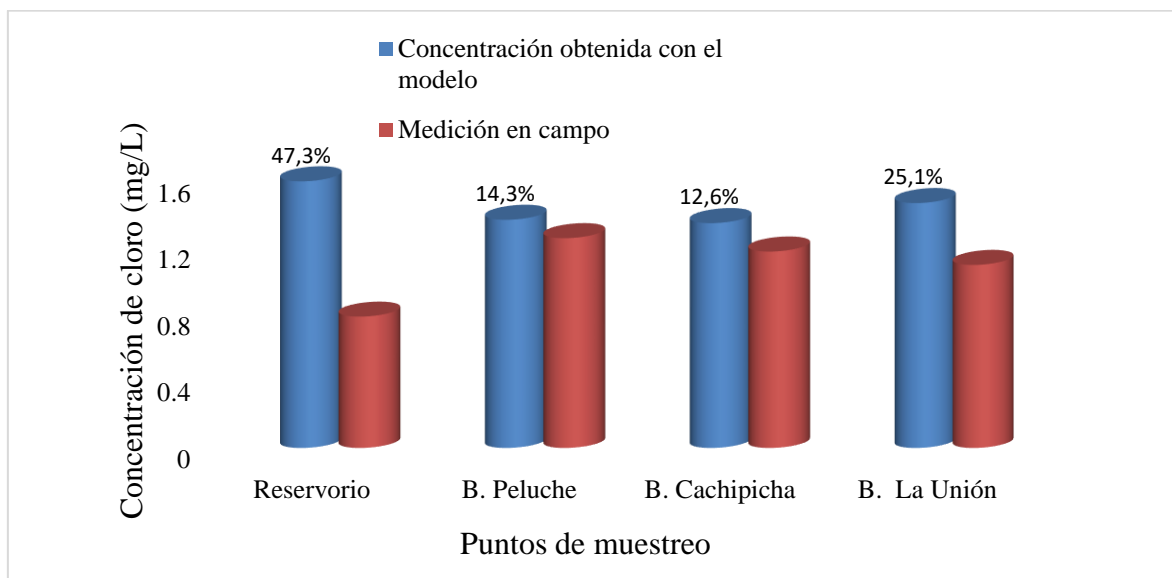


Figura 44. Comparación de mediciones y el modelo EPANET de la calidad del agua del directorio “La Vaquería-San Juan”.

En la presente investigación, para validar el modelo hidráulico y evidenciar la eficiencia se realizó en base a los porcentajes de error entre el valor simulado y mediciones en campo ya que al poseer pocos datos medidos en campo no fue posible establecer la eficiencia a través del Índice de Nash Sutcliffe, el cual permite evaluar la capacidad predictiva del modelo de simulación. Sin embargo, se encontró similitud entre estudios desarrollados por varios autores en cuanto a resultados como se indica a continuación:

En el proceso de evaluación del modelo hidráulico se desarrolla a través de la identificación total de los diferentes componentes de la red arrojados por el EPANET una vez realizado la simulación del sistema, se identificó número total de nodos, tuberías, embalses, depósitos, válvulas, bombas. Este proceso de investigación coincide con los estudios realizados por García (2019), quién en su investigación destaca ser necesaria la evaluación hidráulica a través de los diversos componentes de la red y la cantidad en la que se encuentra estos en el sistema.

En la investigación se evidencia, los resultados obtenidos por el modelo matemático y las mediciones en campo sus valores se encuentran dispersos tanto para el parámetro caudal

como para la concentración de cloro, parámetro que coinciden con las investigaciones de Yamanaka (2004), quien señala que al comparar los resultados entre medición y modelo que en 70,83% del total se tiene diferencias menores al 25%. Lo cual se evidencia que los hallazgos encontrados para el cloro son acordes ya que se observa los porcentajes de error encontrados para el cloro son inferiores al 20,4% en los puntos de muestreo realizados.

Respecto a la validación del modelo hidráulico y en base a los hallazgos encontrados para caudal se evidenció la existencia de variabilidad en los porcentajes de error siendo necesario tomar más puntos de muestreo en campo para su comparación. En este contexto, García (2019), en su investigación manifiesta que al realizar una simulación inicial y al comparar con los valores de los caudales y presiones obtenidas en campo y los valores simulados no tuvieron un buen grado de coincidencia, para lo cual es necesario realizar ajustes de los parámetros de entrada (demanda base en cada nodo) y el coeficiente de rugosidad.

Con respecto a la validación del modelo de calidad para el cloro se evidencia en el punto de muestreo para el reservorio existe una gran variabilidad entre la medición y el valor simulado alcanzando un porcentaje de error 43,7% , resultados que coinciden con la investigación de Priori y Acurio (2021), quien señala que la concentración de cloro residual en el tanque principal durante 6 meses de monitoreo mostró una variabilidad alta; con niveles desde 0,76 mg/L hasta 2,01 mg/L; revelando la necesidad de mejorar la tecnología de dosificación. Por lo que los hallazgos encontrados son acordes a los de este autor.

En base a los hallazgos encontrados en la validación del modelamiento hidráulico y modelo de calidad se evidencia la existencia de gran variabilidad al comparar los valores simulados y los medidos en campo. En este contexto Guanuchi y Ordoñez (2017), García (2019), mencionan ser necesario realizar una calibración hidráulica el cual involucra comparar los resultados del modelo simulado con las mediciones obtenidas *in situ* y realizar ajustes en los parámetros del modelo para lograr que el mismo reproduzca las mediciones observadas con un mínimo error posible. Calibración que sirve para comprobar que el modelo está reproduciendo resultados razonables, aunque no necesariamente precisos.

CONCLUSIONES

- El sistema de abastecimiento del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, en la actualidad cuenta con 6 vertientes en el suministro de agua, de las cuales cinco son de fuentes locales y una externa de fuentes naturales de Puichig del cantón Mejía con un caudal de 45 l/s, recurso hídrico que en la actualidad beneficia a aproximadamente 5595 habitantes y en un futuro será la principal fuente de abastecimiento para una población de aproximadamente 11055 habitantes proyectada hasta el año 2030.
- Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos encontrados en el agua de consumo fueron: olor, sabor, temperatura (16,5°C – 21°C), pH (7,4 – 8,1), turbiedad (0 NTU), DBO₅ (1,0 – 1,9 mgO₂/l), DQO (21 – 32 mgO₂/l), cloro residual (0,04 – 1,46 mg/l), coliformes fecales (< 1,1 NMP/100ml), los cuales se encuentran dentro de límites establecidos de acuerdo a la norma NTE INEN 1108 y TULSMA, excepto para parámetros como DQO y cloro residual (El Orbe Guamba, San Juan). Dentro de este contexto se atribuye a que valores altos en el DQO en el agua cruda son causas de origen natural fenómenos propios de la cuenca. En este sentido el agua de la fuente de Puichig es apta para el consumo humano previo a un buen proceso de desinfección el cual constituyen una barrera importante contra enfermedades de transmisión hídrica.
- Realizado el modelamiento de la red de distribución del directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, se aprecia la existencia de presiones superiores a 70 m.c.a. y velocidades inferiores a 0,2 m/s, siendo las zonas críticas el barrio El Relicario, Peluche, La Unión y parte del barrio San Juan a una cota de 2511,05 m.s.n.m. Presiones altas pueden generar problemas como fisuras, fugas en las tuberías del sistema y velocidades mínimas puede alterar la calidad del agua dentro de la red debido a la formación de depósitos y sedimentación en las tuberías.
- En la actualidad el software EPANET es una herramienta tecnológica necesaria para garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua, optimizando el recurso hídrico desde la captación hasta el área de servicio ofrecido a los usuarios, permitiendo que generaciones futuras tengan acceso a un servicio de agua de consumo y saneamiento adecuados y en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles de Agua Limpia y Saneamiento.

RECOMENDACIONES

- En el levantamiento de catastro de la actual red de distribución de aguas del directorio “La Vaquería-San Juan”, se constató en visita de campo que para el abastecimiento de agua de los usuarios en la actualidad se dispone de seis fuentes de captación para satisfacer las necesidades básicas, así como también se evidenció obras de infraestructura no registradas. En este contexto, se recomienda al directorio de aguas a través de sus representantes, la actualización de planos, así como también capacitación de personal administrativo enfocados a cuidados, operación y mantenimiento de redes de distribución, el cual permitirá tener un mayor control y desempeño del personal a cargo.
- Así también es recomendable que el directorio de aguas “La Vaquería-San Juan”, a través de sus representantes invierta en campañas y programas de capacitación a los habitantes de estas localidades, orientados a sensibilizar y comprometer a la comunidad en su activa participación en la conservación y cuidado del agua, con la finalidad de contribuir a mejorar la calidad de vida de sus habitantes en un futuro, ya que se prevé que en el año 2030 la población sea de aproximadamente 11055 habitantes.
- El tipo de red utilizada es ramificada y al tener infraestructura delicada y compleja dificulta la regulación de los parámetros hidráulicos de mantenerse este tipo de red se recomienda el cambio de tuberías, especialmente en zonas críticas, evitando tener problemas futuros en la calidad del agua logrando así una adecuada organización y gestión del agua para buscar una explotación racional y eficaz que evite el despilfarro del recurso, de esta manera alcanzar un futuro más productivo y sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acuña Pittari, M. I. (2013). *Modelación con EPANET de red de distribución de agua potable de Valle Hermoso* (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Escuela Ingeniería Civil).
- Aguayo, A., & Paúl, D. (2022). *Evaluación del sistema de conducción de agua cruda de la Regional" Santa Gertrudis" y sistema de tratamiento y distribución de agua potable de la Comunidad Chaupiloma* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Alcocer-Yamanaka, V. H., Tzatchkov, V., & Cortés, F. I. A. (2004). Modelo de calidad del agua en redes de distribución. *Tecnología y ciencias del agua*, 19(2), 77-88.
- Álvarez Serrano, J. L. (2021). *Comportamiento hidráulico en una red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de APV El Bosque provincia de Urubamba–Cusco*, 2021.
- Arviza Valverde, J., Balbastre Peralta, I. y González Altozano, P. (2002) *Ingeniería Hidráulica: Rural*. Editorial de la UPV
- Barreiro Vinces, J. D. (2020). *Caracterización Físico-Química del agua de la planta potabilizadora Guarumo, cantón Santa Ana provincia de Manabí* (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).
- Bravo, A. (2017). *Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable de la parroquia el Retiro, cantón Machala, provincia El Oro* [Pregrado, Universidad Técnica de Machala] Repositorio Universidad Técnica de Machala http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11582/1/TTUAIC_2017_IC_CD0004.pdf
- Cajamarca Quishpe, K. G. (2019). *Elaboración del Modelo Matemático de la Red de Distribución de Agua de la Ciudad de Pujilí (Ecuador) y propuesta de mejora*.
- Carrillo López, I. K., & Quimbiamba Gualavisí, E. R. (2018). *Rediseño y optimización hidráulica del sistema de agua potable de los barrios Mushuñan e Inchalillo Alto, Parroquia Sangolquí, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

Castillo Coaquira, I. E. (2018). Estudio fisicoquímico, microbiológico, contenido de metales pesados y alternativas de solución en el agua potable del Distrito de Ilave–Puno 2018.

CPE INEN 5 PARTE 9-1. (1992). NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES. Obtenido de CÓDIGO DE PRACTICA ECUATORIANO

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf

CPE INEN 5 PARTE 9-2. (1997). CÓDIGO DE PRACTICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL. Quito-Ecuador.
https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9.2-1.pdf

Chiquito Sánchez, J. A. (2021). *Diseño de la red de distribución de agua potable de la ciudadela El Mirador del cantón Puerto López* (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).

Chuquín Vasco, N. S. (2017). Análisis y elaboración del modelo matemático de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Riobamba-Ecuador. Propuestas de mejora.

Dávila, J. J. P. (2021). Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Ambiental.

Delgado Paloma, J. S. Evaluación y modelación de la calidad de agua en la red de distribución de agua potable del municipio del Castillo–Departamento del Meta.

De Faz Rojas, R. E., & Oñate Cuchiye, H. O. (2013). *Análisis del comportamiento de las propiedades físicas del agua de consumo humano en la época de invierno, en el barrio Vicente León del cantón Pujilí, periodo 2013* (Bachelor's thesis, LATACUNGA/UTC/2013).

DEL AGUA, U. Y. A. (2014). Ley Orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. *Quito-Ecuador: Registro Oficial*, (305), 7.

INEN, NTE (2006). Agua Potable. Requisitos, *NTE INEN 1108*

<https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10608/8/Norma%20Inen%20Agua1108-2.pdf>

Egea Góngora, P. A. (2013). Optimización hidráulica de las redes de distribución de agua de riego dentro del sector 370 de la comunidad de usuarios de aguas de la Comarca de Nijar (Almería) mediante el programa informático EPANET.

GAD Parroquial de Amaguaña (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Amaguaña*. GADPRA <http://www.amaguania.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/PDOT-PARROQUIA-AMAGUA%C3%91A-2020-FINAL.pdf>

Gamboa-Bohórquez, J. A., & Rico-Rodríguez, J. S. (2020). Elaboración del modelo hidráulico para la red de distribución de agua potable de Funza Cundinamarca utilizando el software EPANET.

Galvín, R. M. (2008). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. *España: EMACSA*.

García Ávila, F. F. (2019). Modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador.

Guanuchi, C., & Ordoñez, J. (2017). Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del Cantón Azogues a través de un modelo experimental. *Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*.

Guillén Campo, Y., & Leyva de la Cruz, B. (2015). Caracterización de redes hidráulicas en un circuito hidrométrico en una zona urbana.

Idrobo Oleas, P. A. (2018). *Desarrollo de un modelo de simulación mediante el software Epanet de la red de distribución de agua potable de la cabecera cantonal de Guano, provincia de Chimborazo* (Bachelor's thesis, Escuela superior politecnica de Chimborazo).

Lazo, B. (2021). *Análisis hidráulico y diseño optimizado de la red de distribución de agua mediante modelación y simulación hidráulica llabaya-Tacna-2021*[Tesis de pregrado Universidad César Vallejo]

Landa Fiallos, S. E. (2016). *Evaluación de la calidad físico químico y microbiológico de agua de consumo humano en la Parroquia de Totoras, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

León, L. M. D., & Santiago, S. L. (2021). Sectorización de redes de distribución de agua potable en el acueducto de Coraasan utilizando la herramienta Epanet caso de estudio: Municipio Tamboril: parte alta.

Limachi Mozo, S. M. (2021). Diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable con modelamiento de Watercad y EPANET, Tambillo, Puno, 2021.

Llanga, T., & Segundo, F. (2015). *Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua de consumo humano de la parroquia de San Luís, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Ministerio del Ambiente. (2008). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. *Libro VI, Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.*

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2011). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11. *Norma Hidrosanitaria NHE Agua.*

<https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-16-norma-hidrosanitaria-nhe-agua-021412.pdf>

Oleas Lara, B. F. (2016). *Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua de consumo humano en la Parroquia Rural de Cubijés del Cantón Riobamba* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Pérez Parra, J. A. (1981). Manual de tratamiento de agua. *Facultad de Minas.*

<http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/Ley-de-RH.pdf>

Riveros-Gaviria, N. Y. (2018). Modelación computacional y validación en campo de los coeficientes de reacción del cloro en un sistema de abastecimiento de agua potable: caso de estudio Líbano, Tolima.

Sánchez, J. R. V. (2018). Calidad del agua para consumo humano en el corredor ecológico ecuatoriano Llanganates-Sangay. *Revista UNIANDES Episteme*, 5(1), 77-87.

Sánchez Domínguez, M. E. (2015). *Modelación hidráulica de los sistemas de agua potable rurales de los sectores de Zhizhio y Cumbe y evaluación de su posible interconexión* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).

Sánchez, R., & Said, J. (2020). Análisis de la modelación de redes de agua potable por medio del software EPANET, respecto a los lineamientos de diseño utilizados en México.

Sarmiento-Huertas, L. S., & Silva-Díaz, R. (2017). Modelación y optimización de la red de acueducto urbano del municipio de Tibaná-Boyacá.

Surita Gil, L. E. (2020). Análisis del sistema de la red de distribución de agua, usando EPANET en áreas rurales.

Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Almarza, A. Y. (1957). Física general. Aguilar.

TULSMA, L. (2015). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Anexo 1, Libro VI.

Vásquez Bastidas, J. A. (2019). Minimización de los costos operativos de la red acueducto de la empresa Mineros SA mediante herramientas computacionales

Vargas Ramírez, C. I. (2016). Consideraciones de diseño y cálculo de las instalaciones hidráulicas en una red de distribución de agua potable.

Vera Pereyra, D. M. (2018). Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el Distrito de Chupaca.

Vera, L. (2015). Modelación del comportamiento hidráulico y calidad del agua en la Red de Distribución del Sistema de AAPP de la Parroquia Torata, Cantón Santa Rosa, Provincia de el Oro.

Villacorta Escobar, D. R., & Pipa Panduro, P. (2021). Diseño y modelación hidráulica del sistema de abastecimiento de agua potable del Caserío Shinuya, provincia de Coronel Portillo, Ucayali.

Weiner, ER (2008). *Aplicaciones de la química acuática ambiental: una guía práctica*. Prensa CRC.

ANEXOS

Anexo 1. Concesión de agua al directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" 2003.

8
4
6

CONSEJO NACIONAL DE RECURSOS HIDRICOS
C N R H

AGENCIA DE QUITO 201

Juicio de: CONCESION DE AGUAS N^o. 1846-02-

Provincia PICHINCHA Cantón QUITO Parroquia ASAGUA

Actor: JUNTA ADMINISTRATIVA DE AGUA POTABLE DEL BARRIO SAN JUAN Y OTRAS

Domicilio (Casillero): 1157 DE CALLES

Demandado (s) _____

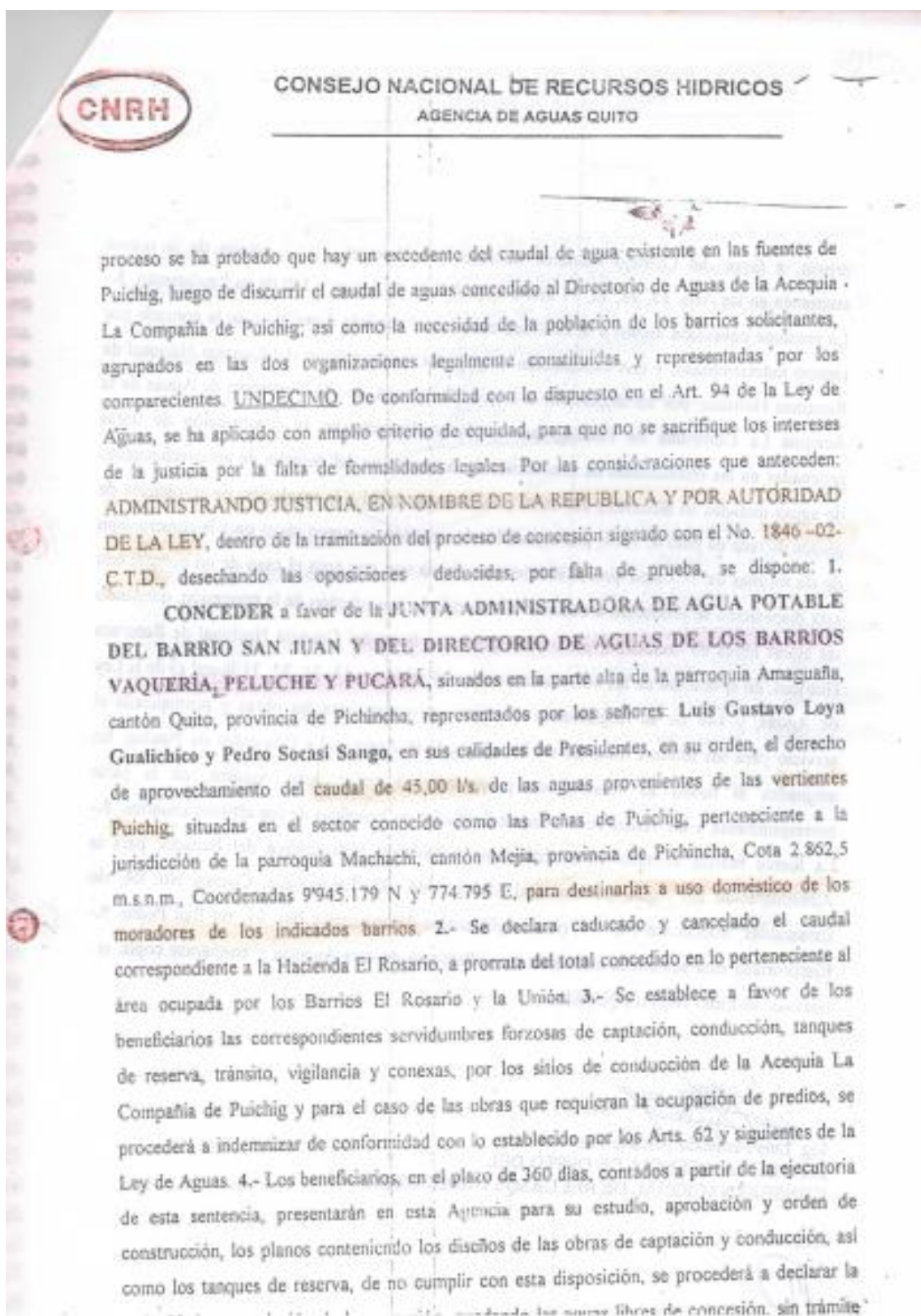
Domicilio (Casillero): _____

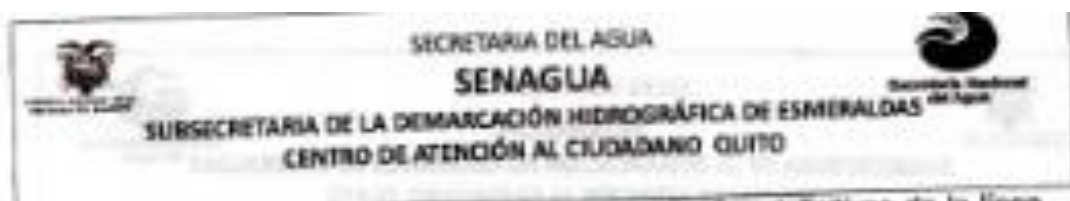
Fecha de iniciación: QUITO MAYO 21 2003

Fecha de terminación: QUITO OCTUBRE 30 2003

Inscrito el _____ con el N^o. _____ en el libro de rea

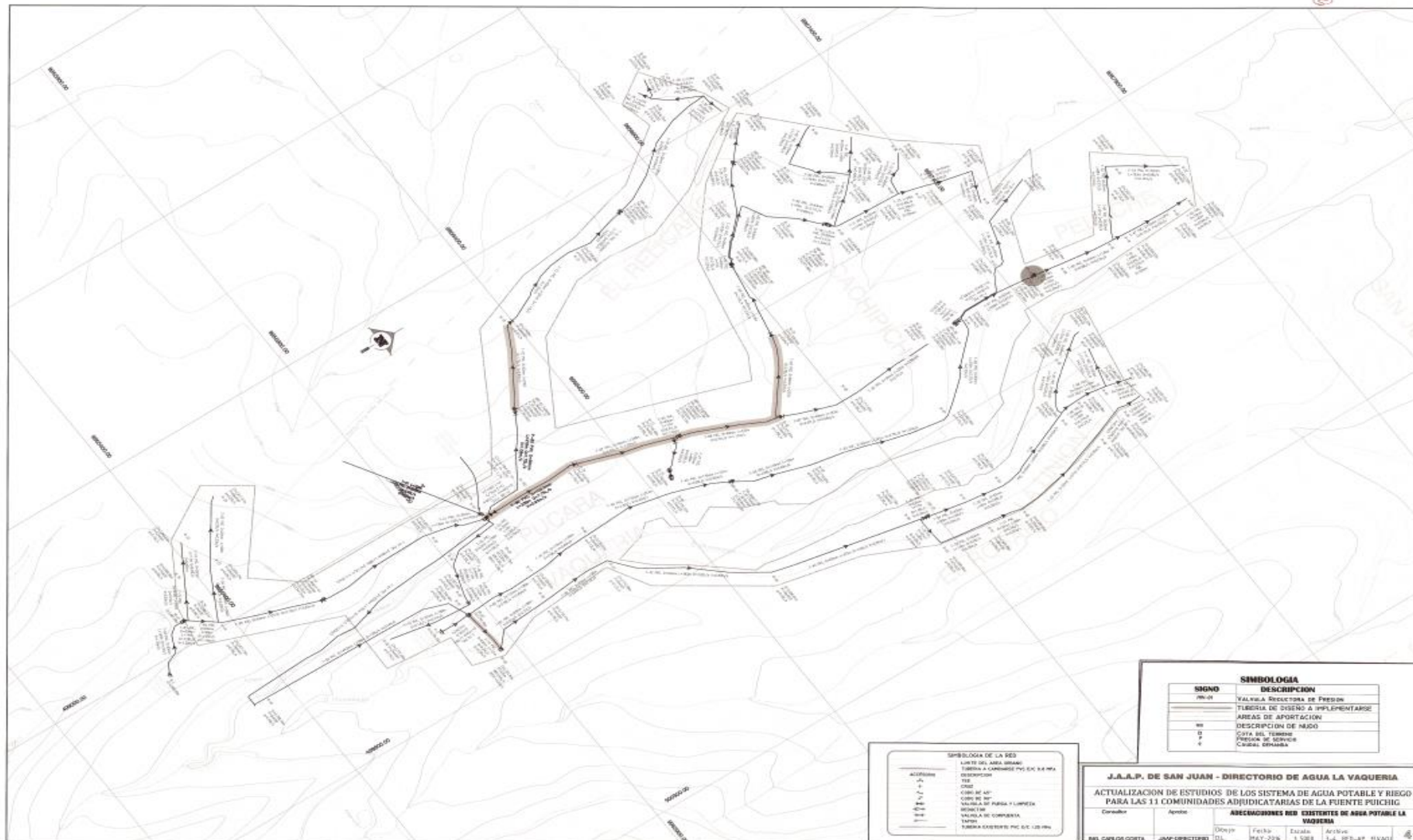
Anexo 2. Concesión de aguas al directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" 2003.



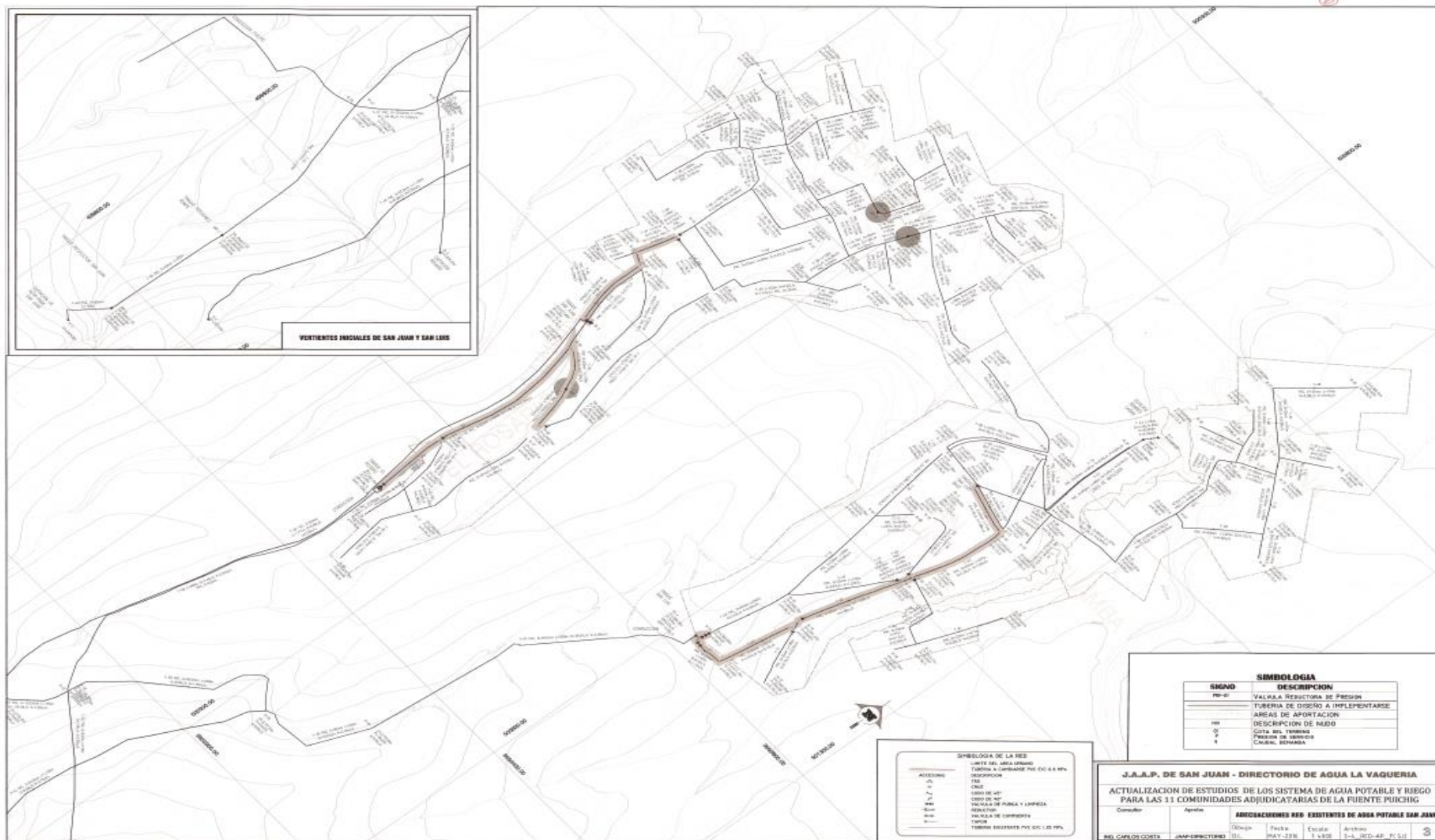


Consortio Omega Construcciones; copia de los diseños definitivos de la línea de conducción de la Acequia PÜICHIG; copia del estudio del Manejo Ambiental; En el cuerpo No. 2, consta la MEMORIA TECNICA, con los Estudios y Diseños de la Conducción y Distribución del Sistema de Agua de Uso Múltiple VAQUERIA – SAN JUAN. En el cuerpo No. 3, constan los PLANOS DE LOS DISEÑOS DEFINITIVOS, para la Construcción de las Obras, documentos con los que justifica su comparecencia. **CUARTO.-** A fojas 294 a la 297, se encuentra el informe técnico, presentado por el Ingeniero Pablo Aroos Valencia, que lo cristaliza en el memorando N° DHE-18-15-126, del 18 de mayo del 2015, informe en el que luego de hacer una serie de consideraciones de orden técnico, determina que, la disponibilidad de los caudales, para el Proyecto Múltiple de los Barrios solicitantes, ha sido Autorizado en 45,00 l/s, caudal que satisface la demanda para consumo humano, tanto de la población actual, como para la población proyectada hasta el año 2030. Para riego de 149 Has., del Proyecto, la diferencia, hasta el año proyectado, que no sea necesaria para consumo humano, llega a satisfacer hasta en un 76 % de la demanda. En consecuencia, considera que no existen inconvenientes de carácter técnico, para atender la solicitud de REFORMA DE AUTORIZACIÓN con el propósito de un mejor aprovechamiento del recurso, la población a beneficiarse en el año 2030, con el agua de esta fuente, será de 11.055 habitantes y con una superficie máxima de riego, de 112,80 Has. con el resto del caudal proveniente de las Vertientes de Püichig. Actualmente la Empresa Pública de Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS- abastece parcialmente a algunos de los Barrios que integran este Proyecto Múltiple. Es necesario que los beneficiarios, determinen el porcentaje del caudal que pueda temporalmente cubrir el déficit de agua para riego. Por las consideraciones que anteceden, se acepta la solicitud y esta Autoridad **RESUELVE: 1.- AUTORIZAR LA REFORMA** de la Resolución del 27 de octubre del 2003, dentro del Proceso No. 1848-02, en la que se Autoriza un caudal de 45,00 l/s, para el Sistema Agua Potable, se REFORMA, con el mismo caudal proveniente de las Vertientes Püichig, en la cota 2.869 msnm. Coordenadas 9°45.178 N. y 774.793 E., del caudal total se subdivide en un caudal de 10,87 l/s para seguir utilizando en agua potable de una población futura aproximada en 11.055 habitantes y la diferencia el caudal de 34,13 l/s, para riego, de aproximadamente 97,50 Has. 2.- Se mantienen las servidumbres de captación, conducción, almacenamiento, distribución, tránsito, vigilancia y conexas y las necesarias a futuro, se tramitarán conforme a Ley. 3.- La Autorización REFORMADA, para consumo humano, se otorga por el plazo de 20 años Renovables de acuerdo con la decisión que tomará la Junta beneficiaria. Para riego, se otorga por el plazo de 10 años igualmente Renovables, recursos que será administrado por el Directorio de Agua de Riego, quien abonará, a favor de SENAGUA, el valor de USD 63,14 (SESENTA Y TRES 14/100) DOLARES anuales. El sistema de Agua Potable y la Gestión del Riego, serán operadas exclusivamente por las Juntas de Agua Potable y Alcantarillado y Junta de Agua de Riego y Drenaje (Directorio) de conformidad con la normativa actual. 4.- Las nuevas servidumbres de

Anexo 5. Red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan" – Primera parte



Anexo 6. Red de distribución del directorio de aguas "La Vaquería-San Juan"- Segunda parte.



Anexo 7. Formato de encuesta



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA

Encuesta. Calidad del agua en la red de distribución de agua del Directorio de Aguas "La Vaquería - San Juan" de la fuente de Puichig.

Objetivo: Recoopilar información real, sobre la calidad de agua de consumo, en los barrios del suroriente de la parroquia de Amaguaña, Cantón Quito.

Barrio: Relicario

Indicación: Por favor conteste el presente cuestionario según su criterio.

1. ¿Usted considera que la calidad del agua es?
 - a) Buena
 - b) Mala
2. ¿Cree usted que es conveniente realizar un estudio para evaluar la calidad del agua?
 - a) Si
 - b) No
3. ¿El servicio de agua es permanente las 24 horas?
 - a) Si
 - b) No
4. ¿El servicio de agua es intermitente?
 - a) Si
 - b) No
5. ¿Posee usted los servicios básicos de agua, luz, descarga de aguas residuales?
 - a) Si
 - b) No
6. ¿Las aguas residuales domésticas que se originan a donde son arrojadas?
 - a) Al sistema de alcantarillado
 - b) Al sistema de letrinas sanitarias
 - c) Otro tipo

Anexo 8. Análisis físico-químico y microbiológico.

Cloración Reservoirio La Vaquería



Punto 3: Toma de muestra



Punto 2: Antes del Reservoirio



Punto 3: Toma de muestra



Cloro residual Barrio San Luis



Cloro residual Barrio San Juan



Anexo 9. Análisis físico-químico - Fuente de captación Puichig.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
ÁREA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF-Nº: 2023-0208-1-2

SOLICITADO POR:	PACHACAMA CASHA JUAN CARLOS		
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	PICHINCHA / QUITO		
MUESTRA DE:	AGUA DE CONSUMO		
DESCRIPCIÓN:	FUENTE DE CAPTACION		
FICHA DE RECEPCIÓN:	8/7/2023	HORA DE RECEPCIÓN:	13:00
FICHA DE ANÁLISIS:	DEL 06/07/2023 AL 10/07/2023		
FICHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	23/07/2023		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
CARACTERÍSTICA:	TRANSPARENTE	ESTADO:	LÍQUIDO
		CONTENIDO:	2 L
OBSERVACIONES:	* Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.		

INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULIMA*	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
CO2	mgCa/L	2	<2	SI-GG-AM-08/AFSA 1212 II MODIFICADO/ VOLUMÉTRICA	-
CO3	mgCa/L	28	<18	SI-GG-AM-28/METODO OXIDATIVO Y COLORIMETRICO MERCE 28, 29, 312, 312 /	20,00
TURBIDEZ	NTU	0	100	SI-GG-AM-78/METODO RAPIDO MERCE	-

LMP TULIMA: LIMITE MAXIMO PERMISIBLE SEGUN TULIMA LIBRO VI

! LAS OPINIONES /INTERPRETACIONES/ETC., QUE SE INDICAN A CONTINUACION, ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACION DEL IAI E DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.

*Laboratorio de ensayo acreditado por el IAI con acreditación N° IAI-LEN 04-001,
 Los ensayos marcados con () NO están incluidos en el alcance de la acreditación del IAI*



**ALICIA
 BEATRIS**

B.P. ALICIA OSPA
 RESPONSABLE DEL AREA DE AMBIENTAL



Av. Francisco Vitorica y Eloy Alfaro (Calle lateral) Teléfono: 2602-002 / 2602-004 ext. 40, 41, 42, 43, 44
 Teléfono: 2602-001 - E-mail: osp@ucelma.edu.ec

R-GG-01-17

Anexo 10. Análisis físico-químico - Antes del reservorio



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
ÁREA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF N°: 2023-0308-1-1

HECHADO POR ¹	FACHACAMA CARRERA (JANN CRUZ)			
DIRECCIÓN DEL CLIENTE ²	FACHACAMA / QUITO			
MUESTRA DE ³	AGUA DE CONSUMO			
DESCRIPCIÓN ⁴	ANTES DEL RESERVORIO			
FECHA DE RECEPCIÓN:	6/7/2023	HORA DE RECEPCIÓN:	13:00	
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 06/07/2023 AL 06/07/2023			
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	06/07/2023			
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA				
CARACTERÍSTICA:	TRANSPARENTE	ESTADO:	LIQUIDO	CONTENIDO:
				2 L
OBSERVACIONES:	* Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.			

INFORME

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSAM ⁵	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
TURB.	mgCO/l	1	<3	M-60-AM-08/APHA 1510 B MODIFICADO/ VOLUMETRÍA	-
DOO	mgCO/l	26	<11	M-60-AM-28/METODO OXIDATIVO Y COLORIMETRICO MERCK 20, 29, 113, 113 /	26,00
TURBIDEZ	NTU	0	100	M-60-AM-76/METODO RAPIDO MERCK	-

LMP TULSAM: LIMITE MAXIMO PERMISIBLE SEGUN TULSAM LIBRO VI

- 1: LAS OPINIONES /INTERPRETACIONES/ETC., QUE SE INDICAN A CONTINUACION, ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACION DEL SMI
 2: DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.

¹ Laboratorio de ensayo acreditado por el SMI con acreditación N° SMI LEM 04-003,⁶

² Los ensayos marcados con (*) /NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SMI⁶



**ALICIA
 REATZIE**

D.E. ALICIA CERRA
 RESPONSABLE DEL AREA DE AMBIENTAL



Avenida Francisco Velez 4 y Avenida Galo Palacios | Teléfono: 2602 243 / 2602 484, ext. 40, 48, 24, 33, 34
 Teléfono: 0262761 - E-mail: jsp@ospfuer.edu.ec

Anexo 11. Análisis físico-químico - Después del reservorio.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
ÁREA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF N°: 2022-0108-1-3

HECHADO POR:	FICHACAMA CASHA (SAN CARLOS)		
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	PEÑASCA / CAYTO		
MUESTRA DE:	AGUA DE CONSUMO		
DESCRIPCIÓN:	DESPUES DEL RESERVORIO		
FECHA DE RECEPCIÓN:	06/07/2022	HORA DE RECEPCIÓN:	13:00
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 06/07/2022 AL 18/07/2022		
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	18/07/2022		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
CARACTERÍSTICA:	TRANSPARENCIA:	ESTADO:	CONTENIDO: 2 L
DESERVACIONES:	* Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.		

INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA*	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
CLORO LIBRE RESIDUAL	mg/L	0.70	-	M-GO-4M-08/AFAS 0502 CI 8 MODIFICADO/ VOLUMETRÍA	10,00
**DUREZ	mgCa/L	2	<2	M-GO-4M-08/AFAS 12 12 8 MODIFICADO/ VOLUMETRÍA	-
DQO	mgO ₂ /L	12	<4	M-GO-4M-24/METODO DIOXIDATIVO Y CULOMBIMETRICO MERCK 20, 26, 11.2, 112 /	20,00
**TURBIDEZ	NTU	0	100	M-GO-4M-76/METODO NAPIED MERCK	-

LMP TULSMA: LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE SEGUN TULSMA LIBRO VI

1: LAS OPINIONES /INTERPRETACIONES/ETC., QUE SE INDICAN A CONTINUACIÓN, ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE Acreditación del SAE E DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LIN 00-002,

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE



ALICIA
BEATRIZ

B.F. ALICIA OSPA
RESPONSABLE DEL AREA DE AMBIENTAL



3 1/1

Av. Francisco de Orellana y Gómez (Calle Sabán) Teléfono: 3022 242 / 3022 464, ext. 3048, 3044, 49
Teléfono: 3042460 - E-mail: osp@ucje.edu.ec

0-00-00-13

Anexo 12. Análisis físico-químico- Barrio Peluche.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
ÁREA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF.N°: 2022-0208-1-1

SOLICITADO POR ¹ :	PACHACAMA CAIZA JUAN CARLOS		
DIRECCIÓN DEL CLIENTE ¹ :	PEÑONCHA / QUITO		
MUESTRA DE ¹ :	AGUA DE CONSUMO		
DESCRIPCIÓN ¹ :	BARRIO PELUCHE		
FECHA DE RECEPCIÓN:	17/07/2022	FECHA DE RECEPCIÓN:	19/11
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 06/07/2022 AL 18/07/2022		
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	18/07/2022		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
CARACTERÍSTICA:	TRANSPARENCIA:	ESTADO:	LÍQUIDO
		CONTENIDO:	2 L
OBSERVACIONES:	* Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.		

INFORME

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP TULSMA ¹	MÉTODOS	INCERTIDUMBRE %
CLORO LIBRE RESIDUAL	mg/L	1,26	-	M-GO-AM-06/APHA 8000 C1 B MODIFICADO/ VOLUMETRÍA	14,80
FÓSFORO	mgO ₂ /L	1	<2	M-GO-AM-38/APHA 5210 B MODIFICADO/ VOLUMETRÍA	-
ODD	mgO ₂ /L	21	<4	M-GO-AM-33/METODO DIFERENCIAL Y COLORIMETRICO MERCE 26, 26, 113, 132 /	26,80
TURBIDEZ	NTU	0	100	M-GO-AM-18/METODO RAPIDO MERCE	-

LMP TULSMA: LIMITE MAXIMO PERMISIBLE SEGUN TULSMA LIBRO VI

1: LAS OPINIONES /INTERPRETACIONES/ETC., QUE SE INDICAN A CONTINUACION, ESTAN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACION DEL SAE

2: DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.

"Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE IEN 04-001,"

"Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"



ALICIA
 BEATRIZ

B.F. ALICIA CEPA
 RESPONSABLE DEL AREA DE AMBIENTAL



Dirección: Avenida Velasco y Obispo (Calle Suroeste) Teléfonos: 2252-3812 / 2252-4181 ext. 25, 28, 20, 21, 22
 Teléfono: 2252-1822 - E-mail: osp@unice.edu.ec

Anexo 13. Análisis microbiológico-Fuente de captación de Puichig.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

ÁREA DE MICROBIOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS

INF. No.2022-0208-2-1

SOLICITADO POR: ³	PACHACAMA CAIZA JUAN CARLOS
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: ³	PICHINCHAQUITO
MUESTRA DE: ³	AGUA
DESCRIPCIÓN: ³	FUENTE DE CAPTACIÓN
LOTE: ³	---
FECHA DE ELABORACIÓN: ³	---
FECHA DE VENCIMIENTO: ³	---
FECHA DE RECEPCIÓN:	06/07/2022
HORA DE RECEPCIÓN:	15H33
FECHA DE ANÁLISIS:	07/07/2022
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	13/07/2022
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:	
COLOR:	CARACTERÍSTICO
OLOR:	CARACTERÍSTICO
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	100 ml
OBSERVACIONES:	LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA ENTREGADA POR EL CLIENTE AL OSP
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE

INFORME

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	<1,1	M-GO-M-12/SM 9221-E MODIFICADO

DATOS ADICIONALES:

NMP/100 ml: Número más probable por 100 mililitros

3: DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.



"Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"



B.F. DARWIN ROLDÁN ROBLES – MSc.
RESPONSABLE AREA MICROBIOLOGIA



1 / 1

R-GO-01-17

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral- Teléfonos: 2502-262 / 2502-436, ext. 15,18,21,31,33
 Teléfono: 3206740 - E-mail: fcq.osp@uce.edu.ec

Anexo 14. Análisis microbiológico-Antes del Reservorio



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

ÁREA DE MICROBIOLOGÍA
INFORME DE RESULTADOS

INF. No.2022-0208-2-2

SOLICITADO POR: ¹	PACHACAMA CAIZA JUAN CARLOS
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: ¹	PICHINCHAQUITO
MUESTRA DE: ²	AGUA
DESCRIPCIÓN: ¹	ANTES DEL RESERVORIO
LOTE: ¹	----
FECHA DE ELABORACIÓN: ¹	----
FECHA DE VENCIMIENTO: ¹	----
FECHA DE RECEPCIÓN:	06/07/2022
HORA DE RECEPCIÓN:	15:03
FECHA DE ANÁLISIS:	07/07/2022
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	13/07/2022
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:	
COLOR:	CARACTERÍSTICO
OLOR:	CARACTERÍSTICO
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	100 ml
OBSERVACIONES:	LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA ENTREGADA POR EL CLIENTE AL OSP
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE

INFORME

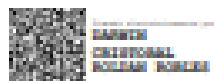
PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLEIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	<1,1	M-GO-ME-100M 0207-E MODIFICADO

DATOS ADICIONALES:
 NMP/100 ml: Número más probable por 100 mililitros

1: DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.



Los ensayos marcados con () NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE*



B.F. DARWIN ROLDAN ROBLES – MSc.
RESPONSABLE AREA MICROBIOLOGIA



1 de 1

R-GO-01-17

Dirección: Francisco Hurtado y Gilberto Gamba Sobral - Teléfonos: 2328-210 / 2328-254, ext. 15,16,17,18,19
 Teléfono: 3281740 - E-mail: fca.osp@uc.edu.ec

Anexo 15. Análisis microbiológico-Después del Reservorio.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

ÁREA DE MICROBIOLOGÍA
INFORME DE RESULTADOS

INF. No.2022-0208-2-3

SOLICITADO POR: ³	PACHACAMA CAIZA JUAN CARLOS
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: ³	PICHINCHAQUITO
MUESTRA DE: ³	AGUA
DESCRIPCIÓN: ³	DESPUÉS DEL RESERVORIO
LOTE: ³	----
FECHA DE ELABORACIÓN: ³	----
FECHA DE VENCIMIENTO: ³	----
FECHA DE RECEPCIÓN:	06/07/2022
HORA DE RECEPCIÓN:	19:03
FECHA DE ANÁLISIS:	07/07/2022
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	13/07/2022
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:	
COLOR:	CARACTERÍSTICO
OLOR:	CARACTERÍSTICO
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	100 ml
OBSERVACIONES:	LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA ENTREGADA POR EL CLIENTE AL OSP
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE

INFORME

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	<1,1	M-20-MF-125M 8221-E MODIFICADO

DATOS ADICIONALES:

NMP/100 ml: Número más probable por 100 mililitros

³: DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.



³Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE



DARWIN
 CRISTÓBAL
 ROLDÁN
 ROBLES

D.F. DARWIN ROLDÁN ROBLES – MSc.
RESPONSABLE AREA MICROBIOLOGIA



1 de 1

R-GO-01-17

Dirección: Francisco Viteri s/n y Guillermo Gamba Sobral - Teléfono: 2368-260 / 2368-496, ext. 15,16,17,18,19
 Teléfono: 3281790 - E-mail: foq.osp@uce.edu.ec

Anexo 16. Análisis microbiológico-Barrio Peluche.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

ÁREA DE MICROBIOLOGÍA
INFORME DE RESULTADOS

INF. No.2022-0208-2-4

SOLICITADO POR: ¹	PACHACAMA CAIZA JUAN CARLOS
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: ¹	PICHINCHAQUITO
MUESTRA DE: ²	AGUA
DESCRIPCIÓN: ¹	BARRIO PELUCHE
LOTE: ¹	---
FECHA DE ELABORACIÓN: ³	---
FECHA DE VENCIMIENTO: ³	---
FECHA DE RECEPCIÓN:	06/07/2022
HORA DE RECEPCIÓN:	15:43
FECHA DE ANÁLISIS:	07/07/2022
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	13/07/2022
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:	
COLOR:	CARACTERÍSTICO
OLOR:	CARACTERÍSTICO
ESTADO:	LÍQUIDO
CANTIDAD:	100 ml
OBSERVACIONES:	LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA ENTREGADA POR EL CLIENTE AL OSP
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE

INFORME

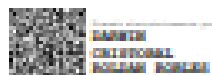
PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	<1,1	M-GO-ME-1205M 8221-E MODIFICADO

DATOS ADICIONALES:
 NMP/100 ml: Número más probable por 100 mililitros

¹: DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.



Los ensayos marcados con () NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE*



B.F. DARWIN ROLDÁN ROBLES – MSc.
RESPONSABLE AREA MICROBIOLOGIA



1 / 14

R-GO-01-17

Dirección: Francisco Villal e/6 y Gilberto Gatto Sotol - Teléfono: 2500-210 / 2500-254 ext. 15,16,17,18,19
 Teléfono: 2500790 - E-mail: fca.osp@ucac.edu.ec

Anexo 17. Análisis químico-Fuente de captación Puichig.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMS 4868
ORDEN DE TRABAJO N°. 8482

INSTITUCIÓN:	VICAS HERRERO			
DIRECCIÓN DEL CURSO:	AMALUJA			
PROFESOR:	ALICE			
DESCRIPCIÓN:	LA FLORES AMALUJA - AGUA CRUDA			
FORMA DE RECEPCIÓN:	11/01/2017	NOMBRE DE RECEPCIÓN:	08031	
NOMBRE DE ANÁLISIS:	DEL FLUORURO AL 11/01/2017			
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:				
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA				
ORIGEN:	ENVASE:	EDAD:	USOS:	CONTENIDO:
Observaciones:	* Los resultados se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al personal técnico de COP. * La fecha de recepción corresponde a la fecha en la que se emite la copia de trabajo.			

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	METODO	ACORTAMIENTO %
ARSENICO	mg/l	<0.04	MAM-06 / AFN 311 B MODIFICADO	30%
BARIO	mg/l	<0.2	MAM-07 / AFN 311 C MODIFICADO	-
CADMIANO	mg/l	<0.02	MAM-08 / AFN 311 D MODIFICADO	-
CROMO	mg/l	<0.05	MAM-09 / AFN 311 E MODIFICADO	-
CUIBR	mg/l	<0.1	MAM-10 / AFN 311 F MODIFICADO	-
COB	mg/l	<0.1	MAM-11 / AFN 311 G MODIFICADO	-
FLUORURO	mg/l	<0.70	MAM-12 / AFN 311 H MODIFICADO	-
BERILO	mg/l	<0.01	MAM-13 / AFN 311 I MODIFICADO	-
MERCURIO	mg/l	<0.005	MAM-14 / AFN 311 J MODIFICADO	-
PLUMBO	mg/l	<0.05	MAM-15 / AFN 311 K MODIFICADO	-
POTENCIAL REDUCTIVO	-	0.1	MAM-16 / AFN 311 L MODIFICADO	100
SODIO	mg/l	<0.005	MAM-17 / AFN 311 M MODIFICADO	-
	mg/l	<0.1	MAM-18 / AFN 311 N MODIFICADO	-



Autenticación N° 096 10 17 04-010. LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
COP - QUITO - ECUADOR

Dr. ALICE OJEDA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04

