

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA  
POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL – CAJAMARCA”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

**JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA**

ASESOR:

**DR. ING. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ**

CAJAMARCA- PERÚ

2024

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA  
**DNI:** 71026130  
**Escuela Profesional:** Ingeniería Civil
- Asesor:** Gaspar Virilo Méndez Cruz  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL – CAJAMARCA
- Fecha de evaluación:** 25/12/2024
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 18%
- Código Documento: Oid:** 3117:418790484
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO    PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca, 25 de diciembre de 2024



**FIRMA DEL ASESOR**

**Nombres y Apellidos:** Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

**DNI:** 26631950



Firmado digitalmente por:  
BAZAN DIAZ Laura Sofia  
FAU 20148258601 soft  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 25/12/2024 19:25:55-0500

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.**

TITULO : "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA"

ASESOR : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0086-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 27 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **cinco días del mes de febrero de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1ª - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Vocal : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Secretario : Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA", presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil **JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA**, asesorado por el Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : .....5..... PTS.

EVALUACIÓN PÚBLICA : .....11..... PTS.

EVALUACIÓN FINAL : .....17..... PTS .....DIECISIETE..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara .....APROBADO..... con el calificativo de .....DIECISIETE..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las .....10:30..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Vocal

Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.  
Secretario

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



## EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS

Bachiller en Ingeniería Civil: *JOSÉ VICTOR BECERRA COTRINA.*

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
<b>1. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA</b>	
1.1. Capacidad de síntesis	<i>3.00</i>
1.2. Dominio del tema	<i>3.00</i>
1.3. Consistencia de las alternativas presentadas	<i>3.00</i>
1.4. Precisión y seguridad en las respuestas	<i>2.00</i>
<b>PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)</b>	<i>11.00</i>

Cajamarca, 05 de febrero de 2025

  
Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

  
Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Vocal

  
Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.  
Secretario

  
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Asesor



# Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



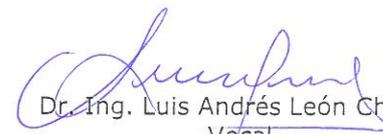
## EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS

Bachiller en Ingeniería Civil: *JOSÉ VICTOR BECERRA COTRINA*

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	<i>6.00</i>
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	<i>1.00</i>
<b>EVALUACIÓN FINAL</b>	
EN NÚMEROS ( A + B )	<i>17.00</i>
EN LETRAS ( A + B )	<i>DIECISIETE</i>
- Excelente 20 - 19	<i>MUY BUENO</i>
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 05 de febrero de 2025

  
Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

  
Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Vocal

  
Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.  
Secretario

  
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Asesor

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme esperanza, paz y coraje, así mismo, a mis padres, Sr. Víctor Becerra Balcázar y Sra. Alejandrina Cotrina Hernández, por la vida, amor y compromiso.

A toda mi familia, amigos y referentes por todo su apoyo en mi desarrollo profesional, entre ellos: Prof. Martha Rabanal Cáceres, Ing. Rosa Gonzáles Esquén, Mcs. Ing. Wilson Romero Cueva, Ing. Eduardo Limay Ortiz, Ing. Luis Zambrano Cueva, Ing. Wilder Zambrano Cueva.

A la I.E.P. N° 82754 San Antonio de Ojos, al Glorioso Colegio San Ramón, a la Universidad Nacional de Cajamarca, y a sus docentes, por todos los conocimientos y experiencias compartidas.

A mi asesor, Dr. Ing. Gaspár Méndez Cruz, por todo su apoyo constante en el desarrollo de la presente investigación. Así como, a todos los profesionales y amigos, por todas sus apreciaciones y aportes, entre ellos: Dr. Ing. Jairo Álvarez Villanueva, Ing. César Mego Díaz, Mcs. Ing. Salomón Miranda Montoya, Mcs. Ing. Jhonath Mejía Gonzáles, Bach. Ing. Leiner Guerrero Gonzáles y Bach. Ing. Josué Salazar Tarrillo.

A la EPS SEDACAJ S.A., PROREGIÓN, ODS SUNASS Cajamarca, Dirección Zonal 3– SENAMHI-Cajamarca, DIRESA Cajamarca, Micro Red de Salud San Miguel y a mi querida Compañía de Bomberos Cajamarca 59, por brindar la información necesaria para la elaboración del presente estudio.

De igual manera, a mí, José Víctor Becerra Cotrina, por todo lo, hasta ahora, vivido y aprendido.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de investigación, a Dios y a toda persona que dedica su vida en mejorar su comunidad.

*“El agua es la fuerza motriz de la naturaleza”*

**Leonardo Da Vinci**

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.1.1. Contextualización del problema .....	1
1.1.2. Descripción del problema .....	2
1.1.3. Formulación del problema .....	3
1.2. Justificación de la investigación.....	3
1.3. Limitaciones y restricciones de la investigación .....	5
1.4. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Antecedentes teóricos.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	7
2.1.3. Antecedentes locales.....	8
2.2. Bases teóricas .....	10
2.2.1. Sistemas de agua potable por gravedad .....	10
2.2.2. Criterios adicionales respecto a sistemas de agua potable.....	27
2.2.3. Criterios para la evaluación hidráulica de los componentes del sistema de agua potable 41	
2.2.4. Definición de términos básicos.....	67
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>69</b>
3.1. Hipótesis.....	69
3.1.1. Hipótesis general.....	69

3.1.2. Hipótesis específicas.....	69
3.2. Variables.....	69
3.3. Ubicación geográfica.....	69
3.4. Metodología.....	72
3.4.1. Tipo de estudio.....	72
3.4.2. Diseño .....	72
3.5. Población, muestra y unidad de análisis.....	86
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	86
3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	88
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
4.1. Presentación de resultados.....	89
4.2. Análisis e interpretación y discusión de resultados .....	127
4.3. Contrastación de hipótesis .....	139
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>143</b>
Conclusiones .....	143
Recomendaciones .....	146
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>159</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1:</b> Aplicación de los métodos de cálculo para la estimación de la población futura	32
<b>Tabla 2:</b> Clasificación de unidades de uso	33
<b>Tabla 3:</b> Dotación de agua potable para promover la salud	35
<b>Tabla 4:</b> Coeficientes de variación de consumo, según MVCS (2023)	38
<b>Tabla 5:</b> Coeficientes de variación de consumo, según ANDA (2014)	38
<b>Tabla 6:</b> Coeficiente de variación máximo horario según MAB (2004)	39
<b>Tabla 7:</b> Caudales por componente del sistema de agua potable	39
<b>Tabla 8:</b> Borde libre en función del caudal	44
<b>Tabla 9:</b> Borde libre en función a la plantilla del canal	44
<b>Tabla 10:</b> Constante en función al diámetro	45
<b>Tabla 11:</b> Velocidad de sedimentación según Arkhangelski	46
<b>Tabla 12:</b> Valores de la contante k	47
<b>Tabla 13:</b> Valores del coeficiente C de Hazen -Williams	56
<b>Tabla 14:</b> Valores de rugosidad absoluta ( $\epsilon$ )	59
<b>Tabla 15:</b> Tiempo de extinción de incendio	64
<b>Tabla 16:</b> Parámetros de cálculo del canal de derivación	80
<b>Tabla 17:</b> Parámetros de cálculo de velocidades en el desarenador	81
<b>Tabla 18:</b> Parámetros de cálculo del tanque desarenador	81
<b>Tabla 19:</b> Parámetros de cálculo del reservorio	83
<b>Tabla 20:</b> Características de la bocatoma del SAP San Miguel	97
<b>Tabla 21:</b> Características del desarenador del SAP San Miguel	99
<b>Tabla 22:</b> Tubería de la red de distribución del SAP San Miguel	102
<b>Tabla 23:</b> Aforo de caudal del Río Carrasco	105
<b>Tabla 24:</b> Número de habitantes de la ciudad de San Miguel, INEI	106
<b>Tabla 25:</b> Tasa de crecimiento por el método aritmético	107
<b>Tabla 26:</b> Población para el año, 2022	107
<b>Tabla 27:</b> Volumen de consumos del SAP San Miguel	107
<b>Tabla 28:</b> Conexiones activas por categoría del SAP San Miguel	108
<b>Tabla 29:</b> Tirante de agua en la ventana de captación	112
<b>Tabla 30:</b> Cálculo del caudal de ingreso en la ventana de captación	113
<b>Tabla 31:</b> Profundidad de agua en el barraje de la bocatoma	114
<b>Tabla 32:</b> Cálculo de parámetros del canal de derivación	115
<b>Tabla 33:</b> Caudal derivado por el canal	115
<b>Tabla 34:</b> Cálculo de la velocidad de sedimentación	116
<b>Tabla 35:</b> Cálculos de los parámetros del tanque del desarenador	117
<b>Tabla 36:</b> Cálculos del volumen de sedimentos atrapados en el desarenador	118
<b>Tabla 37:</b> Presiones en la red de distribución del SAP San Miguel	123
<b>Tabla 38:</b> Parámetros físicos-químicos del agua cruda del SAP San Miguel	124
<b>Tabla 39:</b> Parámetros orgánicos del agua cruda del SAP San Miguel	124
<b>Tabla 40:</b> PCO del agua tratada del SAP San Miguel	125
<b>Tabla 41:</b> PACO del agua tratada del SAP San Miguel	125
<b>Tabla 42:</b> Turbiedad del agua en la red de distribución SAP San Miguel	126

<b>Tabla 43:</b> Potencial de hidrógeno (pH) del agua en la red de distribución SAP San Miguel	126
<b>Tabla 44:</b> Cloro residual libre del agua en la red de distribución SAP San Miguel	127
<b>Tabla 45:</b> Valores del coeficiente de rugosidad de Manning	160
<b>Tabla 46:</b> Viscosidad cinemática del agua	161
<b>Tabla 47:</b> Registro de consumo diario en conexiones del SAP San Miguel	190
<b>Tabla 48:</b> Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel	191

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1:</b> Sistemas de agua potable por gravedad con tratamiento	10
<b>Figura 2:</b> Esquema de una bocatoma convencional	11
<b>Figura 3:</b> Esquema de ventana de captación	13
<b>Figura 4:</b> Esquema de rejilla	14
<b>Figura 5:</b> Esquema del canal de limpia	15
<b>Figura 6:</b> Esquema de barraje	15
<b>Figura 7:</b> Esquema de un canal de derivación	17
<b>Figura 8:</b> Esquema de un desarenador con by-pass	18
<b>Figura 9:</b> Partes de un desarenador	19
<b>Figura 10:</b> Esquema de línea de conducción	20
<b>Figura 11:</b> Esquema de un reservorio apoyado	21
<b>Figura 12:</b> Reservorio apoyado de almacenamiento de agua potable	22
<b>Figura 13:</b> Distribución por gravedad	24
<b>Figura 14:</b> Red ramificada o abierta de distribución de agua potable	25
<b>Figura 15:</b> Red mallada o cerrada de distribución de agua potable	26
<b>Figura 16:</b> Red mixta de distribución de agua potable	27
<b>Figura 17:</b> Proyección de población La Vega, Cundimarca (Colombia) método aritmético	29
<b>Figura 18:</b> Proyección de la población La Vega, Cundimarca (Colombia) método geométrico	30
<b>Figura 19:</b> Proyección de la población La Vega, Cundimarca (Colombia) método exponencial	31
<b>Figura 20:</b> Comportamiento del crecimiento poblacional de una ciudad	32
<b>Figura 21:</b> Variación diaria de consumo	37
<b>Figura 22:</b> Variación horaria de consumo	38
<b>Figura 23:</b> Relaciones geométricas para secciones de canales de máxima eficiencia hidráulica	43
<b>Figura 24:</b> Velocidad de flujo y de sedimentación en el tanque	45
<b>Figura 25:</b> Velocidad de sedimentación según Sellerio	46
<b>Figura 26:</b> Vertedero con contracciones	51
<b>Figura 27:</b> Cargas estática y dinámica de la línea de conducción	52
<b>Figura 28:</b> Equilibrio de presiones dispersas	54
<b>Figura 29:</b> Presiones de trabajo según la clase de tubería de PVC	62
<b>Figura 30:</b> Volumen de almacenamiento	63
<b>Figura 31:</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio	70
<b>Figura 32:</b> Vista panorámica de la ciudad de San Miguel	71
<b>Figura 33:</b> Río El Carrasco	71
<b>Figura 34:</b> Iglesia de San Miguel Arcángel	90
<b>Figura 35:</b> Zonas del territorio de la ciudad de San Miguel	91
<b>Figura 36:</b> Material de construcción predominante en las paredes exteriores de la vivienda de la ciudad de San Miguel	91
<b>Figura 37:</b> Material de construcción predominante en los techos de la vivienda de la ciudad de San Miguel	92

<b>Figura 38:</b> Población por edades simples y sexo de la ciudad de San Miguel, 2017	93
<b>Figura 39:</b> Actividades comerciales en la ciudad de San Miguel	94
<b>Figura 40:</b> Actividades agropecuarias próximas a la ciudad de San Miguel	94
<b>Figura 41:</b> EPS SECACAJ S.A. Administración San Miguel	95
<b>Figura 42:</b> Bocatoma del SAP San Miguel	96
<b>Figura 43:</b> Canal de derivación del SAP San Miguel	98
<b>Figura 44:</b> Desarenador del SAP San Miguel	99
<b>Figura 45:</b> Línea de conducción del SAP San Miguel	100
<b>Figura 46:</b> Reservorio del SAP San Miguel	101
<b>Figura 47:</b> Aforo de caudal del Río El Carrasco	104
<b>Figura 48:</b> Aforo de caudal del Río El Carrasco	105
<b>Figura 49:</b> Número de habitantes de la ciudad de San Miguel, INEI	106
<b>Figura 50:</b> Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel	109
<b>Figura 51:</b> Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel	109
<b>Figura 52:</b> Ventana de captación, bocatoma del SAP San Miguel	111
<b>Figura 53:</b> Aforo del caudal de ingreso en la ventana de captación del SAP San Miguel	112
<b>Figura 54:</b> Caudal de ingreso en la ventana de captación	113
<b>Figura 55:</b> Profundidad de agua en el barraje, bocatoma del SAP San Miguel	114
<b>Figura 56:</b> Desarenador del SAP San Miguel	118
<b>Figura 57:</b> Nivel de agua en el reservorio del SAP San Miguel	121
<b>Figura 58:</b> Registro de presiones en la red de distribución del SAP San Miguel	122
<b>Figura 59:</b> Medición de parámetros de calidad de agua del SAP San Miguel	125
<b>Figura 60:</b> Documento por acceso a información solicitada ante EPS SEDACAJ S.A.	162
<b>Figura 61:</b> Carta de respuesta por información solicitada ante PROREGIÓN	163
<b>Figura 62:</b> Carta por información solicitada ante la ODS SUNASS Cajamarca	164
<b>Figura 63:</b> Carta de respuesta por información solicitada ante la Micro Red de Salud San Miguel	165
<b>Figura 64:</b> Oficio de respuesta por información solicitada ante DIRESA Cajamarca	166
<b>Figura 65:</b> Continuidad del servicio del SAP San Miguel, 2022	167
<b>Figura 66:</b> Presión en la red de distribución del SAP San Miguel, 2022	167
<b>Figura 67:</b> Acreditación de disponibilidad hídrica del SAP San Miguel	168
<b>Figura 68:</b> Organigrama de EPS SEDACAJ S.A.	169
<b>Figura 69:</b> Resultados de ensayos de calidad de agua de la fuente de abastecimiento del SAP San Miguel	170
<b>Figura 70:</b> Resultados de análisis microbiológico de agua cruda del SAP San Miguel	171
<b>Figura 71:</b> Resultados de análisis microbiológico de agua tratada del SAP San Miguel	172
<b>Figura 72:</b> Resultados de análisis del parámetro color de agua del SAP San Miguel	173
<b>Figura 73:</b> Consumo per cápita del SAP San Miguel, 2022	174
<b>Figura 74:</b> Reportes de ensayos de laboratorio del peso específico de partícula en el desarenador	175
<b>Figura 75:</b> Ficha técnica de tubería PVC UF para fluidos a presión (1/2)	176
<b>Figura 76:</b> Ficha técnica de tubería PVC UF para fluidos a presión (2/3)	177
<b>Figura 77:</b> Ficha técnica de tubería PVC UF para fluidos a presión (3/3)	178
<b>Figura 78:</b> Presiones en la red de distribución del SAP San Miguel, 2022	179
<b>Figura 79:</b> Presiones en la red de distribución del SAP San Miguel, 2023	179

<b>Figura 80:</b> Referencia del Programa de Vigilancia Sanitaria de la Calidad de Agua para Consumo Humano de San Miguel	180
<b>Figura 81:</b> Vista satelital del SAP San Miguel	181
<b>Figura 82:</b> Sección del canal de derivación	182
<b>Figura 83:</b> Componentes del SAP San Miguel (01/02)	183
<b>Figura 84:</b> Componentes del SAP San Miguel (02/02)	184
<b>Figura 85:</b> Hojas de medición de turbiedad, cloro residual libre y pH en el SAP San Miguel	186
<b>Figura 86:</b> Turbiedad del agua cruda del SAP San Miguel, 2022-2023	187
<b>Figura 87:</b> pH del agua cruda del SAP San Miguel, 2022-2023	187
<b>Figura 88:</b> Turbiedad del agua tratada del SAP San Miguel, 2022-2023	188
<b>Figura 89:</b> pH del agua tratada del SAP San Miguel, 2022-2023	188
<b>Figura 90:</b> Cloro residual libre del agua tratada del SAP San Miguel, 2022-2023	189
<b>Figura 91:</b> Variación diaria del consumo diario en conexiones del SAP San Miguel	192
<b>Figura 92:</b> Variación horaria del consumo diario en conexiones del SAP San Miguel	193
<b>Figura 93:</b> Registro de consumo per cápita de SAP San Miguel	194
<b>Figura 94:</b> Nivel de agua en el reservorio del SAP San Miguel	195
<b>Figura 95:</b> Volumen disponible en el reservorio del SAP San Miguel	196
<b>Figura 96:</b> Aforo de caudal del Río El Carrasco	197
<b>Figura 97:</b> Secciones de aforo del Río El Carrasco	198
<b>Figura 98:</b> Bocatoma del SAP San Miguel (01/02)	199
<b>Figura 99:</b> Bocatoma del SAP San Miguel (02/02)	200
<b>Figura 100:</b> Canal de derivación del SAP San Miguel	201
<b>Figura 101:</b> Desarenador del SAP San Miguel	202
<b>Figura 102:</b> Línea de conducción del SAP San Miguel (01/02)	203
<b>Figura 103:</b> Línea de conducción del SAP San Miguel (02/02)	204
<b>Figura 104:</b> Reservorio del SAP San Miguel (01/02)	205
<b>Figura 105:</b> Reservorio del SAP San Miguel (02/02)	206
<b>Figura 106:</b> Válvulas de aislamiento y de purga de la red de distribución	207
<b>Figura 107:</b> Válvulas reductoras de presión e hidrantes de la red de distribución	208
<b>Figura 108:</b> Válvulas de aire de la red de distribución del SAP San Miguel	209
<b>Figura 109:</b> Registro de consumo diario en conexiones del SAP San Miguel (01/02)	210
<b>Figura 110:</b> Registro de consumo diario en conexiones del SAP San Miguel (02/02)	211
<b>Figura 111:</b> Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel (01/02)	212
<b>Figura 112:</b> Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel (02/02)	213
<b>Figura 113:</b> Tirante de agua en la ventana de captación, bocatoma del SAP San Miguel	214
<b>Figura 114:</b> Aforo del caudal derivado por el SAP San Miguel	215
<b>Figura 115:</b> Profundidad de agua en el barraje, bocatoma del SAP San Miguel	216
<b>Figura 116:</b> Sedimentos atrapados en el desarenador del SAP San Miguel	217
<b>Figura 117:</b> Variación del nivel de agua en el reservorio del SAP San Miguel	218
<b>Figura 118:</b> Registro de presiones en la red de distribución del SAP San Miguel	219
<b>Figura 119:</b> Medición de la turbiedad, cloro residual libre y pH en el SAP San Miguel	220
<b>Figura 120:</b> Toma de muestras de agua del SAP San Miguel	221

## **PALABRAS CLAVE**

### **Evaluación hidráulica**

Es el estudio de las condiciones hidráulicas de funcionamiento de un sistema de agua potable (Meneses, 2021).

### **Sistema de agua potable**

Es el conjunto de infraestructuras y procedimientos organizados que permiten asegurar la disponibilidad y calidad del agua para consumo humano (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento del Perú, MVCS 2018).

### **Ciudad**

Una ciudad es un área urbana con infraestructura, servicios, viviendas, comercio, cultura y gobierno que concentra población (Ayala, 2017).

### **Caudal**

Es la cantidad o volumen de agua que fluye por un conducto de una sección determinada en un cierto tiempo (Pedroza, 2018).

### **Calidad de agua**

Es el conjunto de características físicas, químicas, y bacteriológicas del agua que la apta para el consumo humano, sin afectar la salud de las personas (MVCS, 2023).

## RESUMEN

Esta investigación evaluó hidráulicamente el sistema de agua potable de San Miguel, Cajamarca (SAP San Miguel), al presentar éste, deficiencias en su captación, conducción, almacenamiento y distribución. Para ello se caracterizó la ciudad, el sistema, se evaluaron hidráulicamente sus componentes y su calidad de agua. Se utilizó una metodología descriptiva con aforos de caudal, registros de micro medición, presión, muestras de agua, modelamiento de red de distribución en EPANET V2.20. Así, San Miguel está ubicada a 2.665 m.s.n.m., su SAP abastece a 5,128 habitantes, con una dotación óptima de  $121.02 \text{ lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ . El coeficiente de variación diaria fue 1.27 y horaria 1.99. Se obtuvo un caudal promedio diario de  $7.79 \text{ ls}^{-1}$ , máximo diario de  $9.90 \text{ ls}^{-1}$  y  $15.50 \text{ ls}^{-1}$  máximo horario, suficientes para cubrir la demanda. Sin embargo, la bocatoma permitía derivar al canal un caudal excesivo e innecesario de ( $27.58 \text{ ls}^{-1}$ ), superior al autorizado ( $11 \text{ ls}^{-1}$ ). El desarenador era eficiente y presentaba fugas en su compuerta de lavado. La línea de conducción registró presiones superiores a las recomendadas ( $158.33 \text{ m.c.a.}$  frente al límite de  $102 \text{ m.c.a.}$ ), y el reservorio con un volumen de  $238.35 \text{ m}^3$ , superior a su capacidad, lo que compromete el abastecimiento en emergencias, además presentaba fisuras. Aunque la calidad del agua tratada cumplía con los estándares, algunos parámetros como pH y turbidez exceden los límites en el agua cruda, y la vigilancia de la calidad es parcial. En conclusión, el sistema es adecuado para la demanda actual, pero necesita ajustes para optimizar su funcionamiento y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

## ABSTRACT

This research hydraulically evaluated the drinking water system of San Miguel, Cajamarca (SAP San Miguel), as it presented deficiencies in its collection, conduction, storage and distribution. To do so, the city and the system were characterized, its components and its water quality were hydraulically evaluated. A descriptive methodology was used with flow measurement, smicro-measurement records, pressure, water samples, distribution network modeling in EPANET V2.20. Thus, San Miguel is located at 2,665 m.a.s.l., its SAP supplies 5,128 inhabitants, with an optimal supply of  $121.02 \text{ lhab}^{-1}\text{day}^{-1}$ . The daily coefficient of variation was 1.27 and hourly 1.99. An average daily flow of  $7.79 \text{ ls}^{-1}$  was obtained, a maximum daily flow of  $9.90 \text{ ls}^{-1}$  and a maximum hourly flow of  $15.50 \text{ ls}^{-1}$ , sufficient to cover the demand. However, the intake allowed an excessive and unnecessary flow of ( $27.58 \text{ ls}^{-1}$ ) to be diverted to the canal, higher than the authorized ( $11 \text{ ls}^{-1}$ ). The sand trap was efficient and had leaks in its washing gate. The pipeline registered pressures higher than recommended ( $158.33 \text{ m.c.a.}$  versus the limit of  $102 \text{ m.c.a.}$ ), and the reservoir had a volume of  $238.35 \text{ m}^3$ , exceeding its capacity, which compromises supply in emergencies, and also had cracks. Although the quality of the treated water met the standards, some parameters such as pH and turbidity exceed the limits in raw water, and quality monitoring is partial. In conclusion, the system is adequate for current demand, but needs adjustments to optimize its operation and ensure its long-term sustainability.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

#### **1.1.1. Contextualización del problema**

El agua del planeta tierra, tan solo el 1% se encuentra disponible para consumo humano; siendo América latina, a nivel mundial, la región que cuenta con mayor cantidad de agua dulce por persona, pero contrariamente es la más limitada por consumo (Morales et al., 2023). A nivel mundial, la demanda total de agua aumentará entre 35% y 60% para el año 2025 y puede hasta duplicarse al año 2050, como consecuencia del crecimiento demográfico, habrá mayor demanda de los recursos hídricos para consumo humano; además estas cifras se ven influenciadas por los efectos del cambio climático. Lo que genera una marcada disminución de caudal en los ríos (Huaquisto y Chambilla, 2019; Soto, 2022). Perjudicando la disponibilidad del recurso hídrico para consumo humano y para el desarrollo de sus actividades (Municipalidad Provincial de San Miguel, MPSM 2021). Por otro lado, América Latina, al ser una de las regiones más urbanizadas del mundo, enfrenta la paradoja de contar con una población mayoritariamente asentada en ciudades donde los servicios de agua funcionan inadecuadamente. Este fenómeno se ve agravado por un proceso de urbanización acelerado y desorganizado, que ha dado lugar a barrios periféricos caracterizados por la informalidad y la falta de condiciones óptimas en el suministro de agua potable (De Castro, 2016).

El Perú ocupa el octavo puesto a nivel del mundo, del país con mayor reserva hídrica, a pesar de ello, solamente el 1% del total está disponible para consumo (Montero, 2022). El Perú es uno de los países más perjudicados por la variabilidad y el cambio climático, por lo que recomienda implantar estrategias para implementar medidas de adaptación en

cuanto al riesgo climático y reducir impactos socio-económicos y ambientales; siendo muy importante la participación del Estado, sector privado, población, academia, entre otros actores estatales y no estatales (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI 2023). Para el año 2023, entre los meses mayo y julio (periodo de estiaje), las lluvias disminuyeron significativamente en gran parte del país y su acumulado solamente representa el 11.6 % del acumulado anual climático (SENAMHI, 2023). Además se indica que, las precipitaciones anuales para el año 2030 disminuirán mayormente en la sierra entre -10 % y -20 %, en referencia al año 2020 (SENAMHI, 2010). Por otra parte, en la mayoría de ciudades del ámbito nacional, los sistema de agua potable presentan una infraestructura en estado de deterioro (Timaná, 2020). Y que demográficamente, no se ajustan a las exigencias de la población usuaria (Oblitas, 2010).

### **1.1.2. Descripción del problema**

San Miguel sufrió cambios en la precipitación máxima para el periodo 1998-2018, es decir, una disminución promedio de 10.7mm (SENAMHI, 2023). Para el año 2022, Perú alcanzó 33 millones 396 mil 700 de habitantes, el doble de la población registrada en el año 1972, y el año 2007 el 75.9% de la población peruana residía en la zona urbana y en el censo del año 2017 el 82.4%, debiéndose este incremento de migración interna de los habitantes del campo a la ciudad (Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú, INEI 2022). En la provincia de San Miguel, se presenta también una tendencia a la urbanización, mostrando un incremento poblacional en la zona urbana de 11.92 % para el año 1993 a un 16.16 % para el año 2003 (Gobierno Regional de Cajamarca, 2017).

Para el año 2017, la ciudad de San Miguel tenía una población de 4426 habitantes, siendo casi el doble de la población que se tenía para el año 1993, de 2264 habitantes (INEI, 2017). Así mismo, al año 2017, el 96.23% de la población de la ciudad de San Miguel,

tenía acceso al agua potable (INEI, 2017). Respecto al SAP San Miguel, la Empresa Prestadora de Servicios Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Cajamarca Sociedad Anónima (EPS SEDACAJ S.A., 2019) señala que, es necesario realizar estudios de inversión que permitan el adecuado suministro del agua potable. Que como señala EPS SEDACAJ S.A. (2023), el SAP San Miguel presenta deficiencias en su captación, conducción, almacenamiento y distribución.

### **1.1.3. Formulación del problema**

De acuerdo con la problemática señalada por EPS SEDACAJ S.A. (2023), el sistema de agua potable del SAP San Miguel presenta deficiencias en su captación, conducción, almacenamiento y distribución. Ante esta situación, se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo es el funcionamiento del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel - Cajamarca? Para de esta manera identificar y abordar aspectos importantes relacionados a tal problemática.

## **1.2. Justificación de la investigación**

### **1.2.1. Justificación científica**

La investigación se justifica técnicamente porque proporcionará nuevos conocimientos interesantes y necesarios que enriquecerán la discusión en la comunidad científica sobre la evaluación de los sistemas de agua potable, como es el caso del SAP San Miguel, en relación a la disponibilidad de recursos hídricos por el crecimiento demográfico, el cual está relacionado con su funcionamiento del sistema de agua potable (Pavesi, 2022; Gaviria et al., 2016), mediante la evaluación hidráulica, que a partir de los resultados y conclusiones obtenidos serán valiosos para mejorar la comprensión en este ámbito, para

servir como referencia tanto teórica como práctica para futuras investigaciones enfocadas en casos similares.

### **1.2.2. Justificación técnica-práctica**

Al evaluar un sistema de agua potable se permite conocer el funcionamiento, en particular, del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel – Cajamarca, y así garantizar que el agua potable sea un derecho humano básico, seguro, aceptable, accesible y asequible para cubrir el uso personal y doméstico (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO 2019). De este modo, este estudio se justifica por su aporte práctico y significativo por la evaluación hidráulica del SAP San Miguel, que además, busca contribuir a la línea de investigación, sirviendo como antecedente útil para futuros estudios en este ámbito.

### **1.2.3. Justificación institucional y personal**

La investigación tiene como objetivo aportar a la población y a la EPS SEDACAJ S.A. Que en función a los resultados y conclusiones generadas, esto permitirá a los responsables identificar falencias en el funcionamiento del SAP San Miguel, y así mejorar el servicio de agua potable de la ciudad de San Miguel – Cajamarca. Además, será útil como antecedente para futuras investigaciones relacionadas a la temática desarrollada. En lo personal, se busca enriquecer conocimientos en esta línea de investigación, útil para mi desempeño profesional y laboral. Mi motivación también radica en obtener el título profesional de Ingeniero Civil y contribuir así al desarrollo de mi país.

### **1.3. Limitaciones y restricciones de la investigación**

La investigación se centró en realizar una evaluación hidráulica del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel – Cajamarca. Así que, Se limitó en tres aspectos importantes: a) Espacial, se realizó en la provincia de San Miguel, al SAP San Miguel, administración a cargo de la EPS SEDACAJ S.A., b) Temporal, el estudio se evaluó en el periodo 2021-2024, y c) Conceptual, se abordó temas de sistemas de agua potable, hidráulica, estructuras hidráulicas, mas no se tocó temas de tratamiento de agua potable, análisis estructural y sísmico de obras hidráulicas o temas relacionados a gestión de riesgo de desastres. En la investigación, se vio restringido el acceso a la información debido a la predisposición por la EPS SEDACAJ S.A. Sin embargo, tal limitación fue superada, permitiendo obtener los datos necesarios para el estudio.

### **1.4. Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar la evaluación hidráulica del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel – Cajamarca.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Caracterizar la ciudad de San Miguel.
- b. Caracterizar el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel.
- c. Evaluar hidráulicamente los diferentes componentes del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel.
- d. Evaluar la calidad del agua que produce el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes teóricos

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación de Nasimba (2017), el objetivo fue evaluar y rediseñar el sistema de agua potable de los barrios seleccionados. Se determinó, las ofertas y demandas de agua de las poblaciones para sus dotaciones actuales y proyectadas. Así mismo, se evaluó el sistema actual de agua potable para diagnosticar los problemas existentes en la red. Determinó una dotación neta real de  $245 \text{ lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$  para el barrio El Milagro y  $137 \text{ lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$  para el Carmen. Determinó que la oferta de la captación Cotagchoa es  $26.7 \text{ ls}^{-1}$ . Estableció un volumen de caudal de  $8.82 \text{ ls}^{-1}$  por encima de lo demandado, cuya demanda actual es de  $17.88 \text{ ls}^{-1}$ . Así mismo, para el 2041 se proyectó un requerimiento de caudal de  $25.75 \text{ ls}^{-1}$  obteniendo un volumen de  $0.98 \text{ ls}^{-1}$  por encima de lo demandado.

Así mismo, en la investigación de Calle y Pauta (2021), el objetivo fue evaluar el sistema de agua potable y plantear un plan de mejoramiento. Se evaluaron los elementos del sistema, se modeló la línea de conducción y la red de distribución en WaterCAD. Concluyó que, la captación se encontró en una condición aceptable, la línea de conducción presentó velocidades mínimas hasta de  $0.26 \text{ ms}^{-1}$ , menor a  $0.6 \text{ ms}^{-1}$ , normado por la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca. Se evaluó el reservorio de capacidad de  $50 \text{ m}^3$  y se calculó el volumen de reserva de  $37 \text{ m}^3$ . La red de distribución presentó presiones de hasta  $145 \text{ m.c.a.}$ , mayor a la presión máxima ( $50 \text{ m.c.a.}$ ) según la NORMA CO 10.7 – 602. En el plan de mejoramiento se recomendó mejorar la línea de conducción y la red de distribución, con lo normado; también, se recomendó mejorar las condiciones de la operación y mantenimiento.

Finalmente, en la investigación de Ortiz y Pérez (2023), el objetivo fue mejorar y optimizar el sistema de distribución de agua potable en la zona Centro de la Parroquia Rural de San Antonio de Pasa. Se realizó inspección de toda la infraestructura y una evaluación hidráulica, en la cual se simuló y analizó el sistema en un software de simulación. La investigación concluye que 18 predios no cumplieron con la presión mínima y 5 predios superan las presiones límite. De acuerdo con la “Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural”, la presión en la red de distribución debe oscilar entre 7 m.c.a. y 50 m.c.a. Las velocidades en la red de distribución, presentaron valores menores a los normados del rango de  $0.3 \text{ ms}^{-1} - 3 \text{ ms}^{-1}$ .

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la tesis de Tapia (2019), el objetivo fue evaluar el sistema de abastecimiento de agua para uso doméstico de la zona de operación XII. Se determinó presiones del agua potable mediante modelamiento hidráulico en WaterCAD, para hallar la dotación, se empleó datos de consumo y de población usuaria. Se determinó el coeficiente de variación horaria con datos del caudal vertido a la red de distribución. Concluyó que, el coeficiente de variación máxima horaria fue de 1.9 para el sistema de agua potable de la zona operacional XII, dicho valor se encontró dentro del parámetro del Reglamento Nacional de Edificaciones. Se obtuvo una dotación media para el R-13 de  $121.23 \text{ lhab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  y  $86.68 \text{ lhab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para el reservorio R-14, valores por debajo de los  $180 \text{ lhab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , según el Reglamento Nacional de Edificaciones, para climas fríos.

Así mismo, Vargas (2022) tuvo el objetivo fue evaluar el sistema hidráulico para mejorar el sistema de agua potable. Para eso realizó la evaluación del sistema hidráulico de agua potable para encontrar y comprender el problema de la falta de agua de alta calidad, a su

vez se calculó y diseñó la tubería, la línea de conducción, el reservorio y el sistema de red de distribución. De la evaluación, se obtuvo que la línea de conducción tenía un desnivel de 246.08m, entre la captación y la válvula de control general, para lo cual se propuso una regulación de presiones. Se encontró que el caudal ofertado por el manantial Mishquiyaquillo, en tiempos de estiaje fue de  $0.54\text{ls}^{-1}$  mayor al caudal máximo diario de  $0.42\text{ls}^{-1}$ , el cual si satisfago la demanda proyectada.

Finalmente, en la investigación de Vera (2018), el objetivo fue realizar un análisis del comportamiento hidráulico en la red de distribución de agua potable mediante métodos computacionales convencionales. Se utilizó los programas computacionales WaterCAD, Epanet y WatDIS. Concluyó que la relación de presiones entre el Epanet y WaterCAD es de 3.92% y 0.53% en la relación de WatDIS con WaterCAD. En los nodos J-138 y J-196, según los tres programas, se obtuvo algunas presiones mayores a 65m.c.a. Dicha presión excede a la máxima establecida (50m.c.a.), por el Reglamento Nacional de Edificaciones OS.050 (Redes de distribución de agua para consumo humano). Así mismo, las tuberías P-118 y P-120 presentaron una velocidad promedio de  $0.08\text{ms}^{-1}$ . Dicha velocidad es menor a la mínima establecida ( $0.6\text{ms}^{-1}$ ), por el Reglamento nacional de edificaciones OS.050 (Redes de distribución de agua para consumo humano).

### **2.1.3. Antecedentes locales**

En la investigación de Cieza (2021), el objetivo fue evaluar los sistemas de agua potable de la localidad de Chilimpampa Baja. Se evaluó hidráulicamente la condición y funcionamiento de cada componente. Se utilizó el programa Epanet para evaluar las presiones en la red de distribución. Para hallar su caudal máximo diario se utilizó micromedición en conexiones prediales. Concluyó que las captaciones y los reservorios, en su infraestructura, presentaron fisuras. Determinó un coeficiente de variación de

consumo diario de 1.62. Este valor permitió hallar un caudal promedio diario de  $0.3246\text{ls}^{-1}$  y una dotación de  $52.4\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ . Obtuvo un caudal ofertado promedio de  $0.836\text{ls}^{-1}$  en las captaciones en temporada de estiaje. De la evaluación hidráulica de la red de distribución, concluyó que la presión mínima de servicio fue de 3.57m.c.a. y una máxima de 56.10m.c.a.

Asimismo, en la tesis de Gonzales (2019), el objetivo fue evaluar la línea de conducción del sistema de agua potable. Se evaluó la línea de conducción, tanto su infraestructura, la operación y mantenimiento, y la gestión administrativa. Concluyó que, la línea de conducción se encontró en buenas condiciones. Obtuvo un caudal de  $363\text{ls}^{-1}$  presente en la captación menor al que señaló EPS Marañón S.R.L. de  $470\text{ls}^{-1}$ , Así mismo, luego de la evaluación, se determinó que de acuerdo a su diámetro, la línea de conducción funcionaba adecuadamente. Concluyó también que, no se realizaba una adecuada labor, así como en la gestión administrativa, al no tener en claro las funciones de los responsables.

Finalmente, en la investigación de Albarrán (2019), el objetivo fue evaluar la infraestructura y la gestión de los sistemas de agua potable. Evaluó hidráulicamente cada uno de los componentes de los sistemas de agua potable, evaluó los servicios de la JASS. La red de distribución la modeló en WaterCAD, para poder analizar las presiones. Concluyó que, el manantial Pulchac del sector Bellavista cuenta con un caudal ofertado de  $3.20\text{ls}^{-1}$  y  $1.5\text{ls}^{-1}$  en el manantial Shiracpunta del sector San Sebastián. Se tuvo un balance positivo ya que el caudal medio demandado fue de  $0.56\text{ls}^{-1}$  para el sector Bellavista y  $0.24\text{ls}^{-1}$  para San Sebastián. Concluyó que los volúmenes de regulación de los reservorios, eran de  $12.05\text{m}^3$  para Bellavista y  $5.09\text{m}^3$  para San Sebastián; valores menores a las capacidades existentes de los reservorios del sector Bellavista y San Sebastián,  $24.84\text{m}^3$  y  $14.58\text{m}^3$ , respectivamente. La presión máxima de servicio para

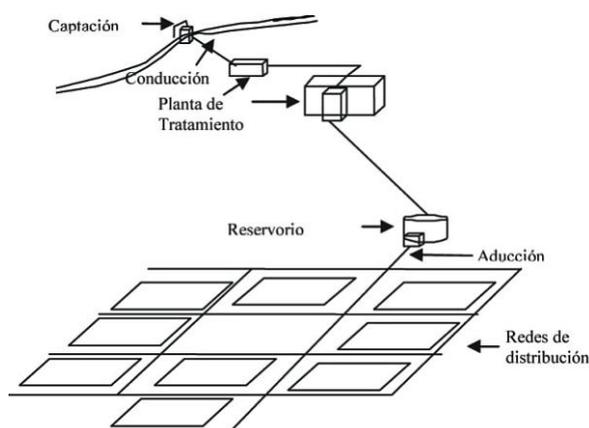
Bellavista fue de 115.09m.c.a. y 99.04m.c.a. en el sector de San Sebastián. Recomendó capacitar a la JASS en temas de administración.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Sistemas de agua potable por gravedad

Teichmann et al. (2020) señalan que, un sistema de agua potable genera impactos positivos, al transportar agua apta para consumo humano. Este medio de conducción permite dar calidad de vida a una población rural o urbana. De acuerdo con MVCS (2018), un sistema de agua potable a proyectarse necesita de criterios y evaluaciones como la disponibilidad de la fuente, la población y su demanda del suministro, calidad, entre otros.

**Figura 1:** Sistemas de agua potable por gravedad con tratamiento



Fuente: (CEPIS, 2003)

Poder Legislativo (2017) en la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento DL N°1280, establece que, un sistema de agua potable se divide en sistema de producción y un sistema de distribución. El primer sistema señalado, inicia en la captación, almacenamiento y conducción de agua cruda. En el segundo sistema indicado, este comprende desde el almacenamiento, distribución, entrega y medición de consumo en conexiones prediales.

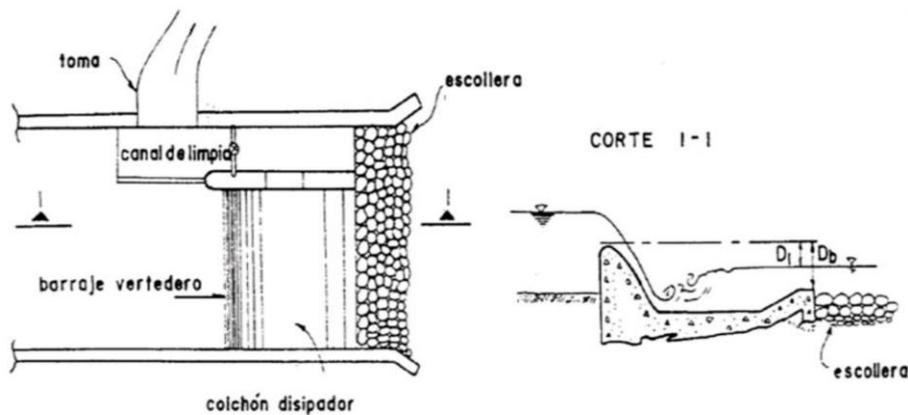
### 2.2.1.1. Componentes de un sistema de agua potable

De acuerdo con Agua y Energía de Granada (2020), los componentes principales presentes en un sistema de agua potable son: la estructura de captación (bocatoma), la conducción (línea de conducción), potabilización (planta de tratamiento), almacenamiento (reservorio) y la red de distribución, ver Figura 1.

#### Bocatoma

De acuerdo con MVCS (2023), esta estructura de captación deberá ofertar como mínimo el caudal máximo diario necesariamente, protegiendo siempre a la fuente de contaminación. Para Calero (2019), una captación de fuente de agua superficial constará de una estructura colocada en la fuente de agua, directamente, con el fin de poder captar y derivar el caudal necesario.

**Figura 2:** Esquema de una bocatoma convencional



Fuente: (Mansen, s. f.)

Según Arnao et al. (2022) y la Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA, 2018) y, una bocatoma es una estructura hidráulica que permite el suministro de agua, y su fin es derivarla de su cauce natural o artificial a una estructura de derivación; además la bocatoma juntamente con la estructura de conducción, llevan el agua a la zona de

consumo, teniendo en cuenta la regulación y la salida de agua durante crecientes, ver Figura 2. De acuerdo con Chávez y Salazar (2022), será importante en periodo de utilización, su funcionamiento de forma operativa continuamente. Según Jáuregui (2019), las bocatoma pueden ser utilizadas en proyectos de irrigación, generación eléctrica, abastecimiento de agua potable, irrigación, etc. Su función, la cumple con el barraje y la ventana de captación.

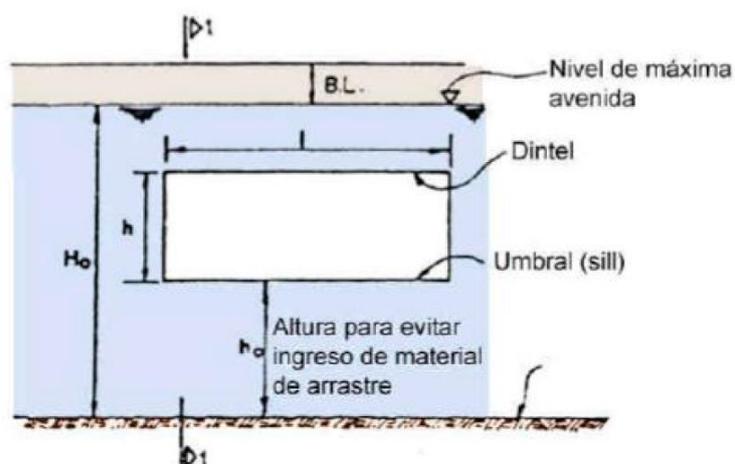
- **Partes de una bocatoma**

Como indica Mansen (s. f.), una bocatoma debe estar dotado, mínimamente, de una ventana de captación, canal de limpia, barraje, colchón dissipador y escollera, protegido por muros laterales, ver Figura 2.

- **Ventana de captación**

Según Alcas y Lizarzaburu (2023), la ventana de captación es la estructura encargada de permitir ingresar el agua al canal de derivación gracias a la carga hidráulica genera por la altura del barraje, la cual deberá constar de una rejilla para no permitir el pase de materiales como piedras o elementos flotantes, ver Figura 3. De acuerdo con Jáuregui (2019), el cálculo para su dimensionamiento estará en función del caudal de derivación, teniendo en cuenta condiciones económicas óptimas. Según Almora (2009), esta abertura trabaja como vertedero conformada por rejillas distribuidos verticalmente a lo ancho. También, su relación del ancho y el alto será la más económica posible. MVCS (2018) recomienda una altura de la ventana entre 0.10m - 0.30m menciona además que, el umbral de la ventana de captación debe estar a una altura entre 0.20m - 0.60m del fondo.

**Figura 3:** Esquema de ventana de captación



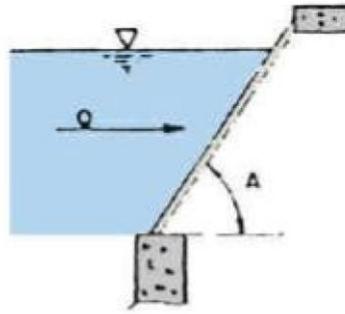
Fuente: (Mansen, s. f.)

Así mismo, Ramos (2014), ANA (2010) y Almora (2009) recomiendan una altura entre 0.60m - 0.80m m del fondo y Mansen (s. f.), una altura entre 0.60m - 1.20m del piso del canal de limpia, para de esta forma evitar el ingreso de material de arrastre.

#### - **Rejilla**

De acuerdo con MVCS (2023), toda bocatoma deberá contar con estos indispensables para imposibilitar el paso de sólidos y que también deben estar diseñados con el fin de facilitar su remoción, ver Figura 4. Según Contreras y Villegas (2019), se debe considerar su espesor de los barrotes de la rejilla en la longitud de la ventana de captación, con el fin de captar el caudal deseado en su totalidad. De acuerdo con Mansen (s. f.), esta rejilla impedirá el ingreso de material de arrastre o suspensión que puedan ingresar al canal de derivación, lo cual puede obstruir y causar un desborde de la captación. ANA (2010) indica que, los barrotes deben estar al borde o sobresalir mínimamente de la cara del muro para que facilite la limpieza de haber material flotante, la cual puede obstruir la ventana de captación.

**Figura 4:** Esquema de rejilla



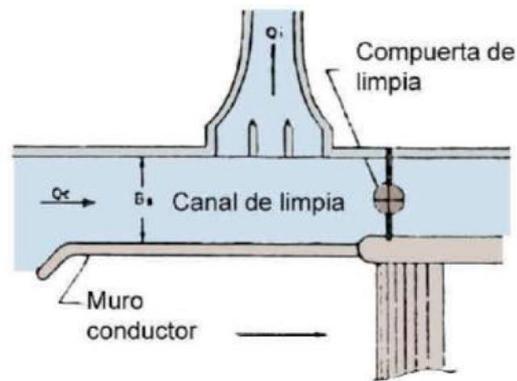
Fuente: (Mansen, s. f.)

MVCS (2018), respecto indica que, los barrotes de la rejilla deben ser de un material anticorrosivo o cubiertos con un tratamiento correspondiente. Según Mansen (s. f.), la separación entre ejes de los barrotes de la rejilla puede estar entre 0.025m y 0.10m para material fino y de 0.10 m a 0.20m para material grueso, añade ANA (2010) que, tal separación no debe superar los 0.20 m, además Almora (2009) y Sviatoslav (1986) recomiendan una separación entre 0.10 y 0.20m. Recomienda Mansen (s. f.), para facilitar su limpieza, una inclinación vertical de 1:1/4, ver Figura 4. MVCS (2023) indica que, el ángulo de inclinación de la rejilla respecto a la horizontal será de  $45^\circ$  a  $60^\circ$  en el caso de que la limpieza se haga de manera manual.

#### - **Canal de limpia**

De acuerdo con Jáuregui (2019), este canal tiene la finalidad de eliminar el material que se haya sedimentado frente a la ventana de captación y en época de avenidas sirve para derivar parte del caudal de agua. Según Contreras y Villegas (2019), permite reducir también el ingreso de sedimentos hacia el canal de derivación. Mansen (s. f.), recomienda que, debe ubicarse perpendicularmente al eje del barraje vertedero y su flujo paralelo al río, ver Figura 5.

**Figura 5:** Esquema del canal de limpia

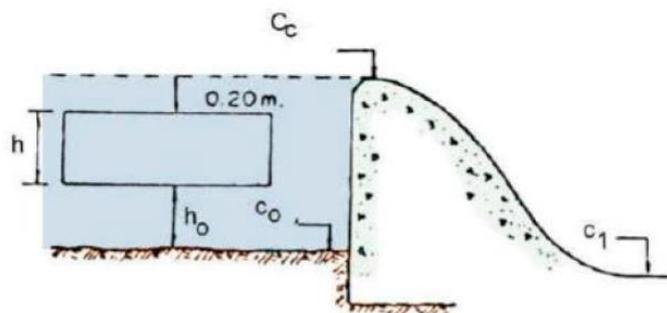


Fuente: (Mansen, s. f.)

### - Barraje

De acuerdo con Alcas y Lizarzaburu (2023), interrumpirá el flujo del cauce del río, buscando que el cauce que esté por debajo de la cota de la cresta del mismo, ingrese a la ventana de captación. Así mismo, en épocas de avenidas con mayor caudal el barraje funciona como vertedero. Según MVCS (2018), no será necesaria alguna regulación cuando la capacidad de la ventana es menor a la descarga promedio del río, ver Figura 6.

**Figura 6:** Esquema de barraje



Fuente: (Mansen, s. f.)

Mansen (s. f.) indica que, el barraje deberá permitir el paso del agua excedente por encima de su cresta. De acuerdo con ANA (2010), es conveniente reducir la presión sobre la cresta del barraje, adoptando el perfil Creager, el cual está sometido a una presión casi

nula en todos sus puntos. Mansen (s. f.) recomienda que, por seguridad para la altura del barraje se debe considerar 0.20m con el fin de corregir efectos de oleaje, ver Figura 6, a lo mismo MVCS (2018) recomienda considerar 0.15m. Además, Mansen (s. f.) menciona considerar una diferencia de cotas 0.50m y MVCS (2018) de 0.50 a 1.00m, diferencia de cotas del fondo del río y cota en el colchón disipador (m).

#### - **Colchón disipador**

Para Alcas y Lizarzaburu (2023), el objetivo de la estructura del colchón disipador será disipar la energía dinámica del agua generando un salto hidráulico. Según Jáuregui (2019), el colchón disipador es aquella estructura que disipará tal energía de manera que cuando pase a cauce natural, no genere erosión. Para Ramos (2014), este elemento será muy necesario e indefectible para evitar alguna falla en la estructura hidráulica, al tener en cuenta sus tirantes conjugados, su longitud y espesor, ver Figura 2. Según Almora (2009), gracias a este elemento, el agua circula suavemente por encima del barraje sin ocasionar socavamientos ni volteamientos del mismo.

#### - **Escollera**

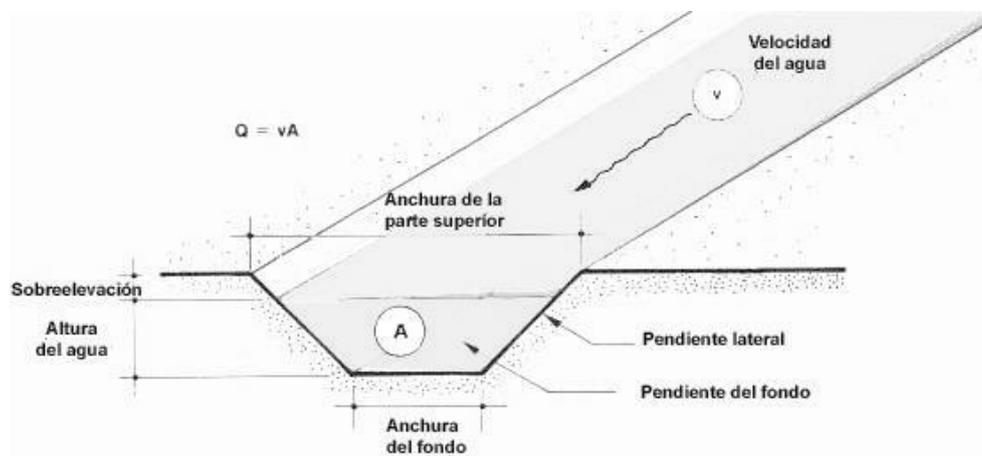
Según Alcas y Lizarzaburu (2023), la escollera o enrocado de protección está ubicado luego del colchón disipador. De acuerdo con Mansen (s. f.), su objetivo es reducir el efecto erosivo y atenuar el arrastre del material fino por motivos de filtración, ver Figura 2.

#### **Canal de derivación**

Según Toapanta (2023), los canales son estructuras hidráulicas que por objetivo tienen el conducir agua, gracias a la gravedad y al no estar confinados sobre la superficie del flujo

actúa la presión atmosférica. Salazar (2019) menciona que, los canales pueden ser naturales o artificiales, los primeros son ríos o arroyos formados por acción de la misma naturaleza y los artificiales, contruidos por el hombre, teniendo una forma determinada y con propiedades hidráulicas de control adecuado, ver Figura 7. Por otro lado, ANA (2010) indica que, debe conducir mediante su sección el caudal máximo diario necesario para abastecer de agua.

**Figura 7:** Esquema de un canal de derivación

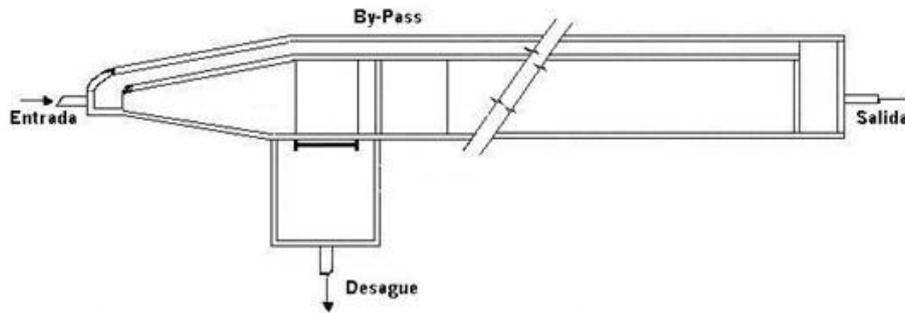


Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO 2014)

## Desarenador

Según Sanchez y Jerez (2018) y Aguirre et al. (s. f.), un desarenador es una estructura construida con el fin de sedimentar partículas en suspensión como arenas, arcillas, material orgánico o algún otro material de tamaño considerable, por acción de la gravedad; mencionar además que, el desarenador debe estar ubicado lo más cercano posible a la bocatoma y evitar así problemas de acumulación de materiales en la línea de conducción, que pueden desgastar el sistema, ver Figura 8.

**Figura 8:** Esquema de un desarenador con by-pass



Fuente: (CEPIS, 2005)

Gonzales (2020) indica que, al ingresar el agua en el desarenador, las partículas en suspensión lo hacen con alta velocidad, lo cual es necesario para sedimentar toda partícula sólida. Según MVCS (2023), el desarenador es parte de la fase de pretratamiento del agua cruda, siendo necesario cuando el agua transporte arenas y su estructura debe permitir la remoción total de este material.

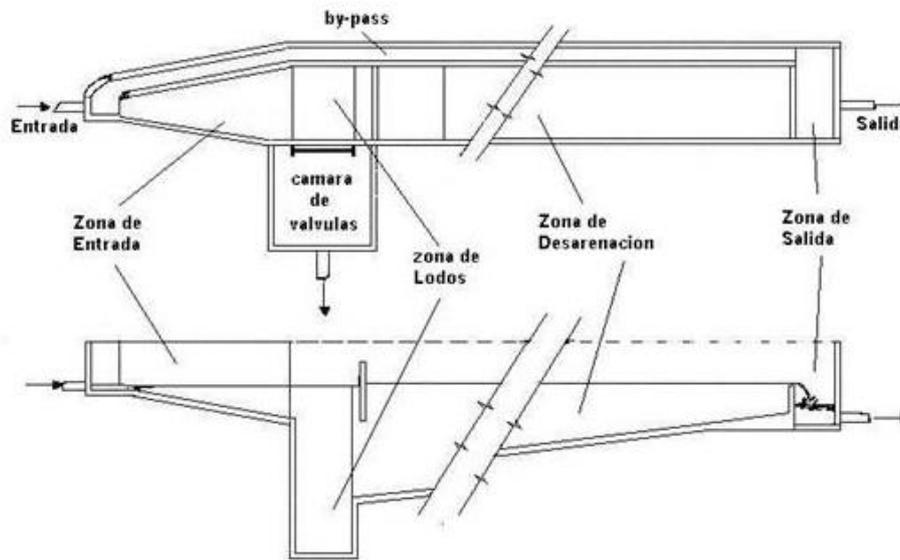
- **Partes del desarenador**

Según MVCS (2018), el desarenador se divide por zonas según la función de cada una, teniendo inicialmente la zona de entrada, luego la zona de desarenación, seguida por la zona de salida y finalmente la zona de depósito y eliminación de arena sedimentada, ver Figura 9.

- **Zona de entrada:** MVCS (2023) indica que, la zona de entrada permite la distribución uniforme de las líneas del flujo del agua en el desarenador y por tanto de la velocidad.
- **Zona de desarenación:** Según MVCS (2023), es la zona donde se producirá la sedimentación del material al fondo del canal.

- **Zona de salida:** Como menciona MVCS (2023), está conformada por vertederos de rebose por los cuales se evacúa el agua libre del material ya decantado, en la zona anterior.
- **Zona de depósito y eliminación de la arena sedimentada:** Según MVCS (2023), esta zona permite la evacuación descarga de la arena al desagüe del desarenador.

**Figura 9:** Partes de un desarenador

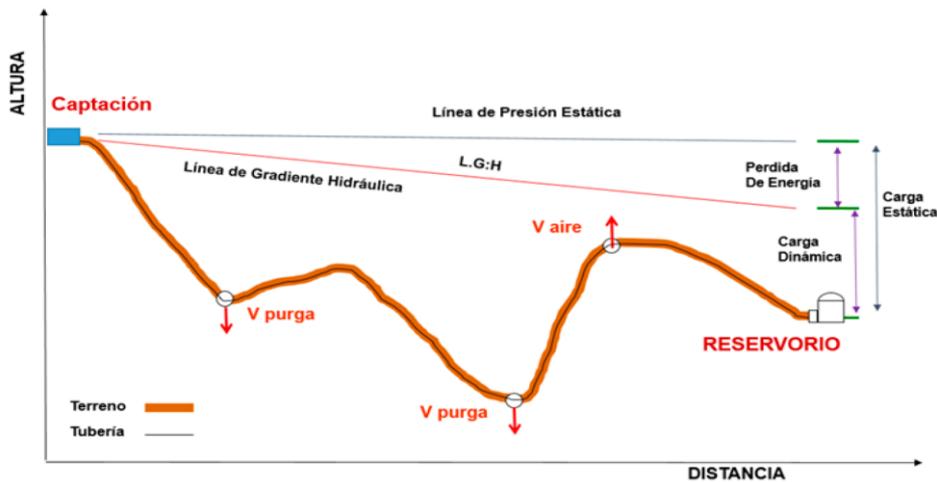


Fuente: (CEPIS, 2005)

### Línea de conducción

Según MVCS (2023), la línea de conducción tiene el objetivo transportar el agua de la captación al reservorio o a la planta de tratamiento, menciona además que, la línea de conducción debe ser capaz de conducir el caudal máximo diario, como mínimo. Para el caso de conducción por tubería, se tomará en cuenta la topografía, propiedades del suelo y climatología, a fin de elegir el tipo y calidad de la tubería. De acuerdo con SIAPA (2014), los accesorios que deben de instalarse son las válvulas de aire, de alivio de presión, de desfuegos cuya ubicación y cantidad podrá variar de acuerdo a la naturaleza del proyecto, ver Figura 10.

**Figura 10:** Esquema de línea de conducción



Fuente: (MVCS, 2018)

Por otra parte MVCS (2018), menciona que la tubería a emplearse será de PVC, pero que en condiciones expuestas, será de otro material resistente. Según el Ministerio del Agua de Bolivia (MAB, 2004), al ingreso de la tubería se debe garantizar, en la cámara de entrada, la sección llena con el fin de evitar el ingreso de aire. MVCS (2018), menciona que las válvulas de aire serán de fundición dúctil. MAB (2004) menciona que, el diámetro de las válvulas de aire está en función de la tubería en la cual se instale, recomendando una relación de 1/4 a 1/16, el diámetro mínimo para tuberías de  $DN \leq 100\text{mm}$  será de 50mm y para tuberías de  $DN > 100\text{mm}$  será de 75mm. MVCS (2018) y SIAPA (2014) indican que, cuando la topografía es bien plana, las válvulas de aire se ubicarán cada 400, 500 o 800 m como máximo y también en los puntos más altos del perfil.

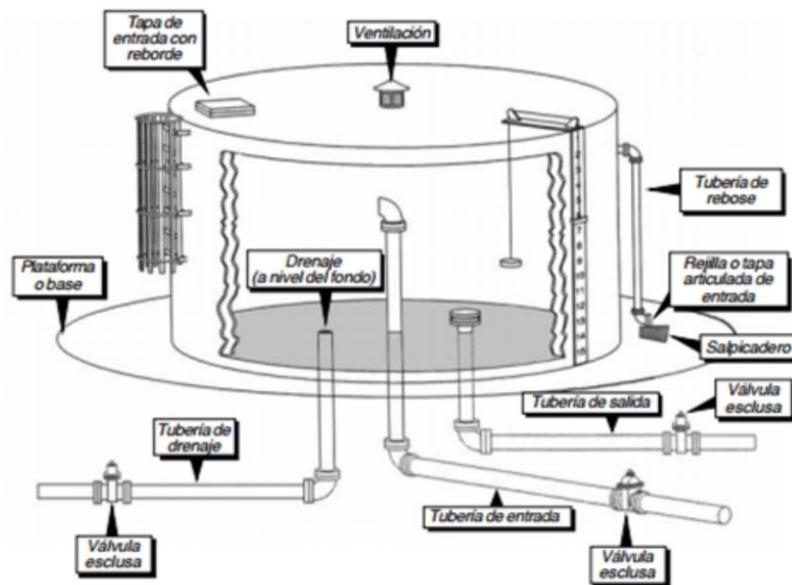
Según MAB (2004), las válvulas de purga se ubicarán en lugares con ángulos mayores de  $25^\circ$  con la horizontal, su diámetro estará en función de la tubería principal mediante la relación de 1/4 a 1/3 de su diámetro, siendo mínimamente de 75mm en tuberías mayores de 100 mm y para tuberías menores de 100mm se adoptará el mismo diámetro. Vierendel (2009) recomienda que, para tuberías menores a 4" se considerará una válvula de purga

del mismo diámetro, para tuberías entre 4” y 16” se considerarán válvulas de 4”, y para tuberías mayores a 16”, se utilizarán válvulas de purga de 1/4 del diámetro de la tubería.

## Reservorio

Según el Organismo Técnico de Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS, 2022), el reservorio tiene como finalidad suministrar agua potable hacia la red de distribución con las presiones de servicio adecuada y en la cantidad necesaria para amortizar la variación horaria de la demanda; para lo cual se deberá considerar un volumen adicional en el caso de emergencia, como incendios, suspensión temporal o paralización de la planta de tratamiento.

**Figura 11:** Esquema de un reservorio apoyado

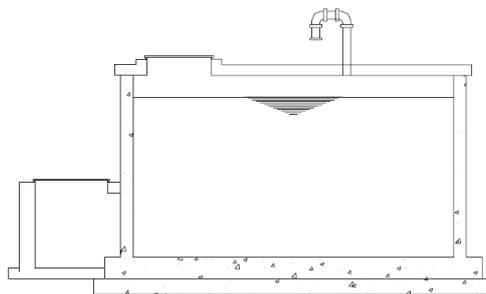


Fuente: (Cruz y Ramos, 2009)

Según Córdova (2018), un reservorio es de vital importancia en el sistema de agua potable, garantizando su funcionamiento hidráulico; como señala SEDAPAL (2010), cuando la distribución sea por gravedad, se tendrá al reservorio en la parte alta garantizando presiones mínimas en los puntos más desfavorables de la red de distribución.

SEDAPAL (2010) indica que, los reservorio deberán estar dotados de un indicador de nivel de agua, dispositivo de medición de cloro residual, sistema bypass en tuberías de ingreso y salida, tubería de limpia y rebose, tubería de ventilación y tapa de ingreso tipo sanitaria. Además, de acuerdo con MVCS (2023), el reservorio debe estar dotado de una tapa de ingreso tipo sanitaria y escaleras de acero inoxidable.

**Figura 12:** Reservorio apoyado de almacenamiento de agua potable



Fuente: (CEPIS, 2004)

De acuerdo con SEDAPAL (2010), los reservorios apoyados serán, generalmente, sección circular con el fin de eliminar puntos muertos o cortocircuitos, generalmente, tendrán tirantes de agua máximos entre 2.80 a 8.00m. Como indica MVCS (2023), el fondo del reservorio debe tener una pendiente hacia el punto de limpieza debe tener una pendiente suficiente para permitir la evacuación completa del agua. A lo cual, añaden MVCS (2018) y MAB (2004), que tal pendiente debe ser como mínimo de 1%. Según MVCS (2018), para que se permita una renovación del aire al interior del reservorio, se debe considerar 30cm como mínimo de borde libre desde el nivel máximo del agua. MAB (2004), Magne (2008) considera a este valor como 20cm. Arocha (1997) menciona que, el reservorio debe contar con un indicador del nivel de agua. MAB (2004) señala que, la cubierta del reservorio tendrá una pendiente mínima de 2%.

Como señala MVCS (2018), las embocaduras de la tubería de entrada y salida tienen que estar en posición opuesta para permitir la circulación del agua dentro del reservorio.

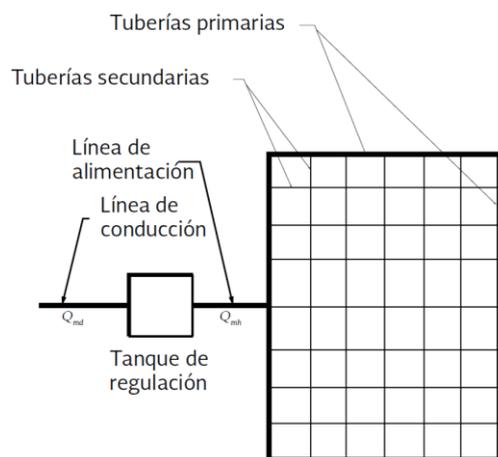
Según MVCS (2018), la tubería de salida se ubicará a 10cm por encima del fondo del reservorio para evitar el ingreso de sedimentos. MAB (2004) menciona que, esta tubería estará ubicada a una altura entre 1/3 a 1/2 del diámetro de la misma, desde su parte inferior, así mismo, la distancia horizontal entre el extremo de la canastilla de la tubería de salida y la pared más próxima de tanque debe ser de 1/2 del diámetro de la tubería o de 0.10m como mínimo, como indica MVCS (2018), la canastilla de la tendrá una longitud de 3 veces el diámetro de tubería y las ranuras tendrán un diámetro mínimo de 14mm, con un espaciado de 15mm. Según SEDAPAL (2010), la tubería de ventilación será en forma de “U” invertida, y su salida será protegida con material que no se vea afectado ante la corrosión, siendo en número y diámetro el necesario para permitir la circulación del aire al interior del reservorio, con una capacidad mayor al caudal máximo de entrada o salida del reservorio. MAB (2004) indica que, la tubería de limpieza no deberá tener una sección menor de  $0.015\text{m}^2$  (138mm de diámetro mínimo).

MVCS (2023), menciona que, la tubería de ventilación debe impedir el ingreso a insectos, partículas e iluminación directa del sol. En este sentido, MAB (2004) señala que, esta debe estar protegida mediante malla milimetrada. Arocha (1997) indica que, la entrada de la tubería de ventilación estará separada de la pared superior de la cubierta del reservorio en por lo menos 30cm. MAB (2004) señala que, para reservorio de capacidad mayor a  $50\text{m}^3$  se debe considerar una cámara de limpieza, la cual permita drenar el agua del tanque y en su fondo se dispondrá la tubería de limpieza, cuya salida debe estar protegida con una rejilla. Como menciona SEDAPAL (2010), el área de drenaje debe tener la capacidad hidráulica para captar el caudal de la tubería de limpieza-rebose. MAB (2004) indica que, la tubería de limpieza no deberá descargar directamente en el alcantarillado sanitario y de preferencia se lo debe derivar hacia el alcantarillado pluvial.

## Red de distribución de agua potable

Según Ponce et al. (2023), la red de distribución es un sistema constituido por tuberías, válvulas, tanques de almacenamiento, bombas, y otros elementos que permiten conducir el agua potable a las conexiones prediales. OTASS (2022) menciona que, la red de distribución conduce el agua potable con el fin de satisfacer las necesidades humanas. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA, 2019) y Regal (2008), la red suministrará el servicio de agua potable con la suficiencia, continuidad y presión necesaria. Según Magne (2008), se tiene distribución por gravedad y por bombeo, condicionado por la topografía local, de acuerdo a la ubicación del tanque de almacenamiento. Regal (2008) y MAB (2004) indican que, esta forma de distribución se plantea cuando la topografía lo permite, y el reservorio se encuentra en un nivel superior a la red de distribución, ver Figura 13.

**Figura 13:** Distribución por gravedad



Fuente: (CONAGUA, 2019)

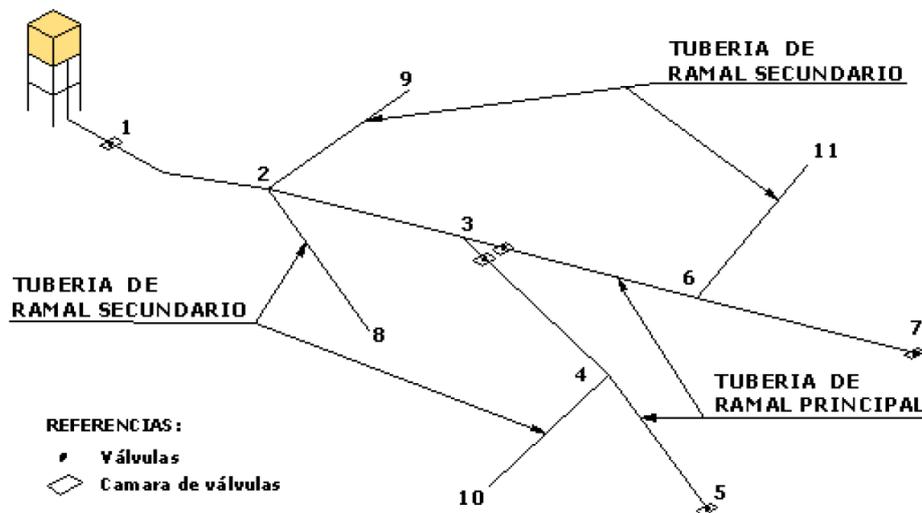
- **Tipos de redes de distribución**

Según Aguirre (2015), existen tres tipos de redes de distribución de agua potable; las redes ramificadas o abiertas, las malladas o cerradas y las mixtas o combinadas, a continuación se describe a cada una.

- **Red ramificada o abierta**

Según Tapia (2019) y Magne (2008), este tipo de red de distribución está conformado mediante un ramal principal y ramificaciones o tuberías secundarias, ver Figura 14; esta red es utilizada para poblaciones semidispersas o dispersas, y que por la topografía existente no se podría utilizar una red cerrada, permitiendo la no conexión entre ramales.

**Figura 14:** Red ramificada o abierta de distribución de agua potable



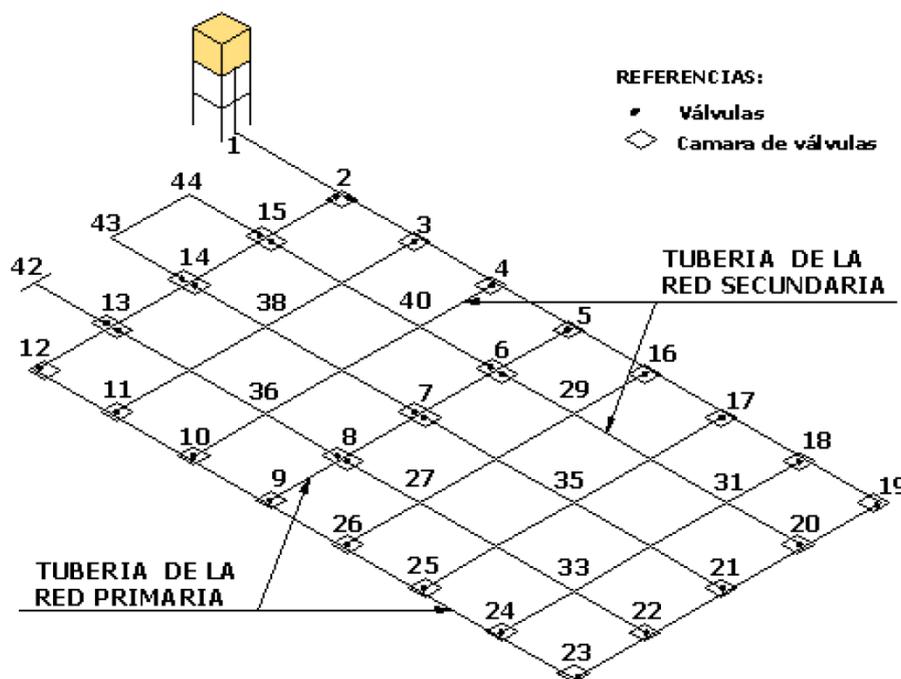
Fuente: (Magne, 2008)

Aguirre (2015) indica que, la ventaja económica del uso de las redes ramificadas es que para abastecer a cada punto, es necesaria una sola tubería; pero su desventaja es que cuando se avería algún tramo de la red perjudicada afecta a todo el sistema aguas abajo.

- **Red mallada o cerrada**

De acuerdo con Tapia (2019), es la red de agua potable conformada por tuberías interconectadas en forma de mallas, con el objetivo de al construirla en circuito cerrado logrando un servicio con eficiencia y continuo, ver Figura 15. Según Aguirre (2015), el objetivo de las redes cerradas es la distribución simultánea por tuberías de red secundaria que permita la continuidad del servicio. Magne (2008) menciona que, este tipo de red de distribución incrementa la confiabilidad del suministro del servicio de agua potable en zona urbana o rural.

**Figura 15:** Red mallada o cerrada de distribución de agua potable



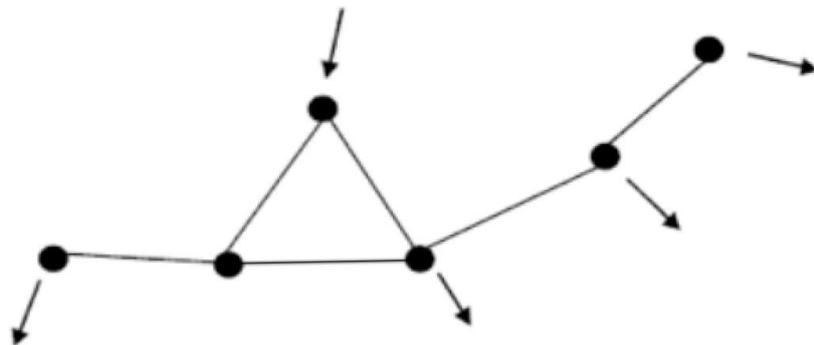
Fuente: (Magne, 2008)

- **Red mixta**

Como menciona MAB (2004), será adecuada según las condiciones topográficas y de la población, teniendo simultáneamente redes abiertas y redes cerradas, ver Figura 16.

Según SEDAPAL (2010), el diámetro mínimo en redes de distribución debe ser de DN 90, en casos excepcionales previa justificación se aceptará tuberías DN 63 mm para ramales de distribución, al ser alimentadas por un solo extremo tendrán una longitud máxima de 100 m y de 200 m al ser alimentadas por ambos extremos, cuando se encuentren en las zonas inferiores de la red de distribución.

**Figura 16:** Red mixta de distribución de agua potable



Fuente: (Aguirre, 2015)

## **2.2.2. Criterios adicionales respecto a sistemas de agua potable**

### **2.2.2.1. Estimación de la población**

MAB (2004) indica que, para estimar la población es fundamental considerar la población usuaria, información referente a censos poblacionales. De acuerdo con el Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP, 2019), mediante la información demográfica recopilada se realizará un análisis para la proyección de la población usuaria del sistema de agua potable para un periodo necesario establecido utilizando una tasa de crecimiento, de acuerdo a métodos de cálculo de uso frecuente y justificado. Según Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala (MSPAS, 2011), para determinar la población futura se recurre al uso de modelos matemáticos utilizando los datos, antes mencionados.

## Métodos de cálculo

De acuerdo con Magne (2008), para calcular la población futura se utilizan métodos matemáticos de crecimiento poblacional, de acuerdo a características propias de la población como son las socio-económicas y ambientales. Aguirre (2015) menciona los siguientes métodos de cálculo de uso más frecuente.

- **Método aritmético**

Según Aguirre (2015), este método estima un crecimiento de población constante, lo que se asemeja a una línea recta, ver Figura 17; y es calculada con la Ecuación 1.

$$Pf = Pi + K(tf - ti) \quad \text{Ecuación 1 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

Pf: población al final del periodo (hab)

Pi: población al inicio del periodo (hab)

K: tasa de crecimiento

tf: año al final del periodo, ti: año al inicio del periodo

Del mismo modo, Aguirre (2015) indica que, la tasa de crecimiento aritmética se calcula mediante la Ecuación 2.

$$K = \frac{P2 - P1}{t2 - t1} \quad \text{Ecuación 2 (Aguirre, 2015)}$$

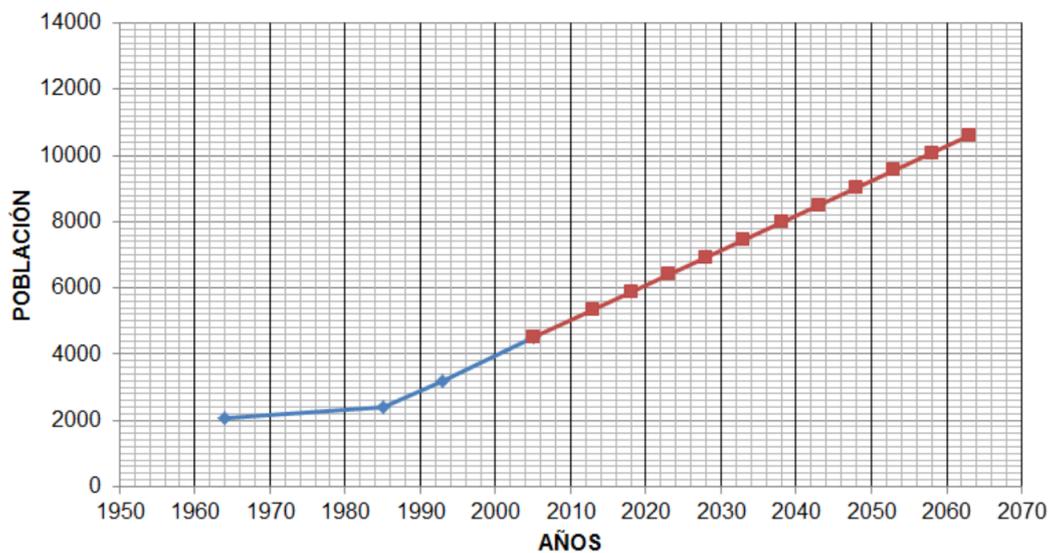
Donde:

K: tasa de crecimiento

P1 y P2 : población inicial y final (hab) para t1 y t2

t1 y t2: años de censos poblacionales

**Figura 17:** Proyección de población La Vega, Cundimarca (Colombia) método aritmético



Fuente: (Espinel et al., 2014)

- **Método geométrico**

Aguirre (2015) menciona que, el crecimiento poblacional según este método sigue la ley del interés compuesto, ver Figura 18; de acuerdo con la Ecuación 3.

$$Pf = Pi(1 + r)^n \quad \text{Ecuación 3 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

Pf: población al final del periodo (hab)

Pi: población al inicio del periodo (hab)

r: tasa de crecimiento

n: (tf-ti) año inicial – año inicial

Así mismo, Aguirre (2015) indica que, la tasa de crecimiento geométrica se calcula mediante la Ecuación 4.

$$r = \left(\frac{P2}{P1}\right)^{\left(\frac{1}{t2-t1}\right)} - 1 \quad \text{Ecuación 4 (Aguirre, 2015)}$$

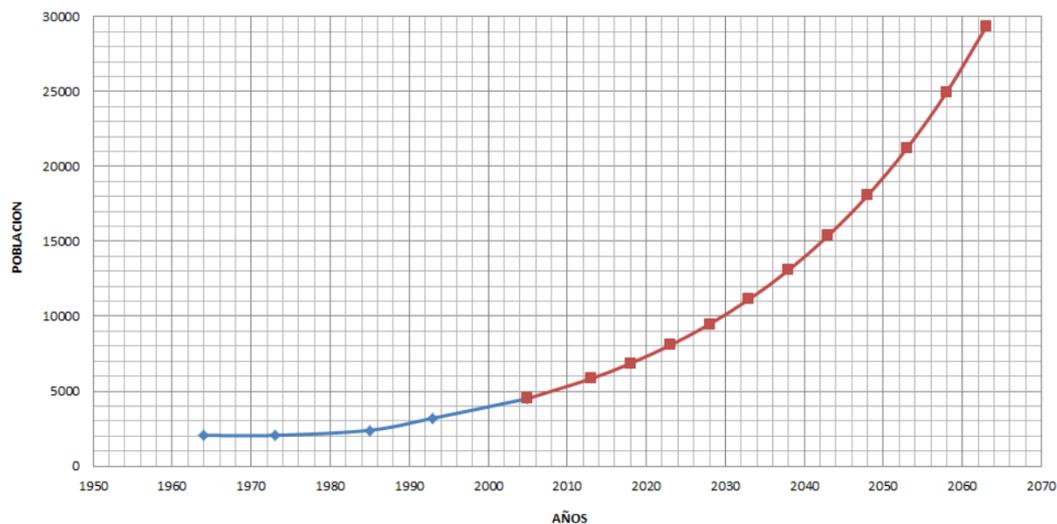
Donde:

r: tasa de crecimiento

P1 y P2 : población inicial y final (hab) para t1 y t2

t1 y t2: años de censos poblacionales

**Figura 18:** Proyección de la población La Vega, Cundimarca (Colombia) método geométrico



Fuente: (Espinel et al., 2014)

Por otra parte Aguirre (2015) menciona que, este método es útil para poblaciones con una importante actividad económica, con un notorio desarrollo y con amplias zonas de expansión.

- **Método exponencial**

De acuerdo con Aguirre (2015), este método útil en el caso en el que el crecimiento poblacional sea de tipo exponencial, ver Figura 19; y se calcula mediante la Ecuación 5.

$$P_f = P_i e^{k(t_f - t_i)} \quad \text{Ecuación 5 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

Pf: población al final del periodo (hab)

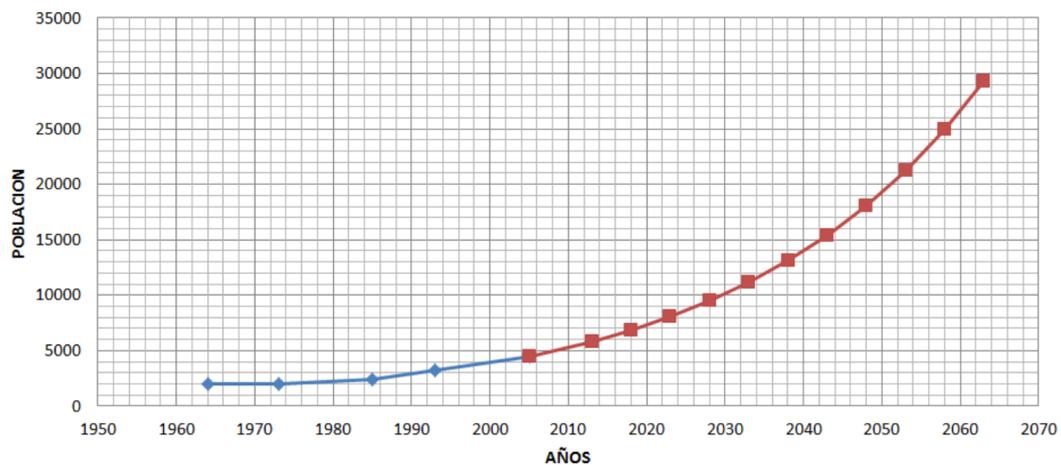
Pi: población al inicio del periodo (hab)

e: base del logaritmo natural

k: tasa de crecimiento

tf: año al final del periodo, ti: año al inicio del periodo

**Figura 19:** Proyección de la población La Vega, Cundimarca (Colombia) método exponencial



Fuente: (Espinel et al., 2014)

Además, Aguirre (2015) señala que, la tasa de crecimiento geométrica se calcula mediante la Ecuación 6.

$$k = \frac{\ln(P2) - \ln(P1)}{t2 - t1} \quad \text{Ecuación 6 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

k: tasa de crecimiento

P1 y P2 : población inicial y final (hab) para t1 y t2

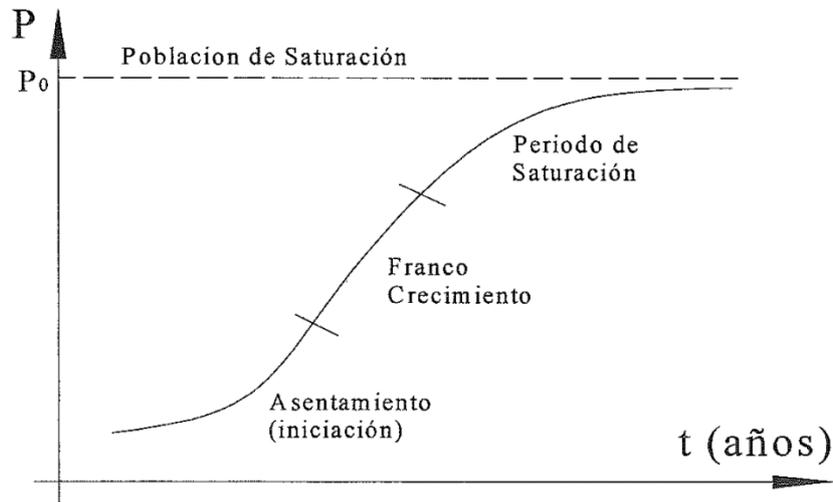
t1 y t2: años de censos poblacionales

### Aplicación de los métodos

Según Magne (2008), para definir el uso de un método de cálculo se debe evaluar las características de la población, analizando el comportamiento del crecimiento poblacional

que presenta, ver Figura 20; así como el área de expansión futura, industriales, de comercio, áreas verdes, entre otros.

**Figura 20:** Comportamiento del crecimiento poblacional de una ciudad



Fuente: (Vierendel, 2009)

MAB (2004) menciona que, se debe tener en cuenta el tamaño de la población para el uso de cierto método, ver Tabla 1.

**Tabla 1:** Aplicación de los métodos de cálculo para la estimación de la población

Método	Población (habitantes)			
	Hasta 5000	De 5001 a 20000	De 20001 a 100000	Mayores a 100000
Aritmético	x	x		
Geométrico	x	x	x	x
Exponencial	x (2)	x (2)	x (1)	x

(1) Optativo, recomendable (2) Sujeto a justificación

Fuente: (MAB, 2004)

### 2.2.2.2. Consumo de agua potable

Arellano et al. (2021) indican que, el consumo varía de acuerdo a las características de la población usuaria. De acuerdo con Huaquisto y Chambilla (2019), el consumo de agua potable se encuentra definido por distintos factores como, el clima, social, económico y

cultural; así como también, factores sociodemográficos, psicológicos, político-económicos, el modelo urbano. Por otra parte Márquez y Ortega (2017) indican que, el consumo de agua se diferencia de acuerdo al tipo de usuario, en zonas urbanas, el doméstico y el no doméstico. Poder Legislativo (2009) en la Ley de Recursos Hídricos N°29338, menciona que, el consumo de agua potable de uso poblacional se realizará con el objetivo de satisfacer sus necesidades básicas; para lo cual, el estado garantiza a toda persona, el acceso al servicio del agua potable, con una cantidad y calidad suficientes para satisfacer sus necesidades personales y domésticas.

### **Unidades de uso del agua potable**

Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento del Perú (SUNASS, 2007), es considerada como una unidad de uso, el predio físico destinado a una actividad específica a desarrollar, que cuenta con un punto de agua potable.

- **Clasificación de unidades de uso**

SUNASS (2007) menciona que, la clasificación de las unidades de uso se realizará teniendo en cuenta la actividad a la que está destinada cada una de ellas, tal clasificación se basa según clases y categorías, ver Tabla 2.

**Tabla 2:** Clasificación de unidades de uso

<b>Clase residencial</b>	<b>Clase no residencial</b>
Categoría social	Categoría comercial y otros
Categoría doméstica	Categoría industrial
	Categoría estatal

Fuente: (SUNASS, 2007)

#### - **Clase residencial**

De acuerdo con SUNASS (2007), son las unidades de uso que con regularidad son utilizadas como viviendas o casa-habitación y esta clase, incluye las categorías social y doméstica. Respecto a la categoría social, SUNASS (2016) menciona que, esta categoría comprende unidades de uso que involucre programas y actividades de servicio social. Y a la categoría doméstica, según SUNASS (2007), pertenecen a esta categoría, las casas y apartamentos utilizados por las familias como habitación permanentemente y sin ningún fin lucrativo. Además, SUNASS (2016) señala que, esta categoría incluye también a los monasterios y conventos, consideradas como casa-habitación.

#### - **Clase no residencial**

Según la SUNASS (2016), son aquellas unidades de uso que cuentan con un punto de agua potable y no se encuentran en la categoría residencial. Como se muestra en la Tabla 2, se tiene a la categoría comercial y otros, que comprende unidades de uso en las que se comercializan bienes y servicios y otras unidades de uso que no se hayan considerado en alguna categoría dentro de la clase no residencial. Por otro lado, la categoría industrial involucra las unidades de uso en las que se desarrollan actividades de transformación de materia prima. Y la categoría estatal incluye unidades de uso en las que entidades que pertenecen al poder ejecutivo, poder judicial y poder legislativo u otro nivel de gobierno.

#### **2.2.2.3. Dotación de agua potable**

Según MAB (2004) es la dotación que permite satisfacer los requerimientos de consumo, considerando pérdidas en la red de distribución, estos consumos. MVCS (2023) recomienda una dotación de  $180\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$ , en clima frío y  $220\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$  en clima templado y cálido, como dotación per cápita. Según Zurita (2020), la dotación de agua

potable no es un factor fijo, al contrario, es un factor variable condicionado por características de población. De igual modo, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA, 2017) recomienda los siguientes valores como mínimo:  $200\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$  para poblaciones rurales,  $300\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$  poblaciones urbanas,  $375\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$  poblaciones costeras y  $375\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$  área metropolitana. Según Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003), la dotación para atender necesidades básicas es de  $50\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$  y  $100\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ , es considerada como dotación óptima, ver Tabla 3. Sin embargo, por Figueroa et al. (2023), la dotación per cápita de agua dulce se ha visto disminuida a nivel mundial por un mayor nivel de uso y cierto agotamiento del recurso hídrico.

**Tabla 3:** Dotación de agua potable para promover la salud

<b>Nivel de servicio</b>	<b>Medición de acceso</b>	<b>Necesidades atendidas</b>	<b>Nivel de efecto en la salud</b>
Sin acceso (cantidad recolectada generalmente menor de $5\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ )	Más de 1000 m o 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo - no se puede garantizar Higiene - no es posible (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
Acceso básico (la cantidad promedio no puede superar los $20\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ )	Entre 100 y 1000 m o de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	Consumo - se debe asegurar Higiene - el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible (es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente)	Alto
Acceso intermedio (cantidad promedio de aproximadamente $50\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ )	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m o 5 minutos de tiempo total de recolección)	Consumo - asegurado Higiene - la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada (se debe asegurar también la lavandería y el baño)	Bajo
Acceso óptimo (cantidad promedio de $100\text{lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ )	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo - se atienden todas las necesidades Higiene - se deben atender todas las necesidades	Muy bajo

Fuente: (OMS, 2003)

#### 2.2.2.4. Variaciones diaria y horaria de consumo de agua potable

De acuerdo con Huaquisto y Chambilla (2019), las variaciones de consumo influyen en el suministro de agua potable, puesto que los volúmenes de almacenamientos pueden no estar de acuerdo a la realidad, por lo que utilizar adecuadamente los coeficientes de variación de consumo es fundamental en un sistema de agua potable, tales coeficientes relacionan el consumo máximo y el consumo promedio. Según MVCS (2023), señala que para establecer los coeficientes de variación del consumo, se considerará la información de demanda diaria de consumo de la población.

##### Variación diaria de consumo

Según Usua (2020), es importante conocer los días y los consumo máximas presentados, para tener noción de la demanda que tiene que suministrar el sistema de agua potable, para determinar el día de máximo consumo y así evitar deficiencias en el suministro de agua potable.

- **Coficiente de variación diaria (K1)**

Rodríguez (2001) indica que, es la relación entre el consumo máximo diario y el consumo promedio diario alrededor del año, menciona a la Ecuación 7, para hallar el valor del K1.

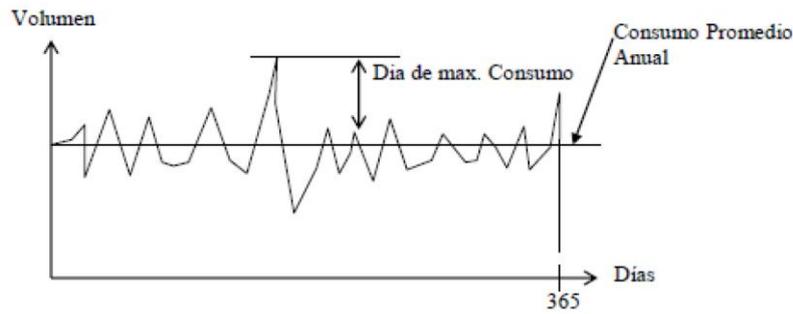
$$K1 = \frac{\text{Consumo máximo diario}}{\text{Consumo promedio diario}} \quad \text{Ecuación 7 (Rodríguez, 2001)}$$

Donde:

K1: coeficiente de variación diaria

Consumo máximo diario: (ldía<sup>-1</sup>), consumo medio diario: (ldía<sup>-1</sup>)

**Figura 21:** Variación diaria de consumo



Fuente: (Usua, 2020)

### Variación horaria de consumo

Según Hoyos y Tuesta (2017), se presentan variaciones horarias con respecto al caudal máximo diario, al no ser consumido uniformemente durante el día, ya que se presentan consumos mayores o menores en ciertas horas y para satisfacer tan demanda se incrementará el caudal máximo diario con un coeficiente.

- **Coeficiente de variación horaria (K2)**

De acuerdo con Rodríguez (2001), relaciona el consumo máximo horario y el consumo promedio horario, menciona a la Ecuación 8, para hallar el valor del K2.

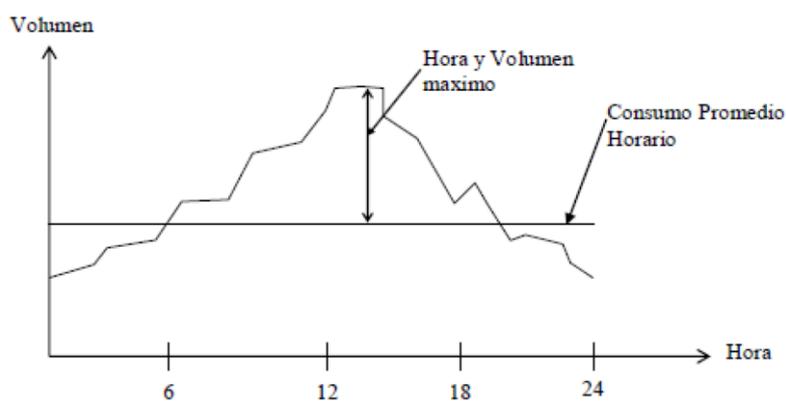
$$K2 = \frac{\text{Consumo máximo horario}}{\text{Consumo promedio horario}} \quad \text{Ecuación 8 (Rodríguez, 2001)}$$

Donde:

K2: coeficiente de variación horaria

Consumo máximo horario: (lhora<sup>-1</sup>), consumo medio horario: (lhora<sup>-1</sup>)

**Figura 22:** Variación horaria de consumo



Fuente: (Usua, 2020)

MVCS (2023), establece coeficientes de variación diaria y horaria de no tener información estadística comprobada, valores mostrados en la Tabla 4. La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados de El Salvador (ANDA, 2014) establece los siguientes coeficientes de variación de consumo de agua, ver Tabla 5.

**Tabla 4:** Coeficientes de variación de consumo, según MVCS (2023)

<b>Coficiente</b>	<b>Valor</b>
Variación diaria (K1)	1.3
Variación horaria (K2)	1.8 a 2.5

Fuente: (MVCS, 2023)

**Tabla 5:** Coeficientes de variación de consumo, según ANDA (2014)

<b>Coficiente</b>	<b>Valor</b>
Variación diaria (K1)	1.2 a 1.5
Variación horaria (K2)	1.8 a 2.4

Fuente: (ANDA, 2014)

MAB (2004) menciona que, el coeficiente de variación diario (K1) se considera entre 1.20 a 1.50 y el coeficiente de variación máximo horario (K2) establecido en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Coeficiente de variación máximo horario según MAB (2004)

<b>Población (habitantes)</b>	<b>Coefficiente K2</b>
Hasta 2000	2.20 – 2.00
De 2001 a 10000	2.00 – 1.80
De 10001 a 100000	1.80 – 1.50
Más de 100000	1.50

Fuente: (MAB, 2004)

#### 2.2.2.5. Caudales en un sistema de agua potable

Como lo describe Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala (MSPAS, 2011), los caudales representan los consumos de agua potable, basados en información del sistema de agua potable; tales caudales son conducidos por las estructuras hidráulicas como en tuberías del sistema de agua potable, ver Tabla 7.

**Tabla 7:** Caudales por componente del sistema de agua potable

<b>Componente</b>	<b>Caudal máximo diario</b>	<b>Caudal máximo horario</b>
Captación	x	
Línea de conducción	x	
Reservorio	x	
Red de distribución		x

Fuente: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL, 2010)

#### **Caudal promedio diario**

Según Rodríguez (2001), el caudal promedio diario será el promedio de los consumos diarios registrados en todo un año. Para CONAGUA (2019), es el consumo que debe recogerse anualmente de los suministros. De acuerdo con MAB (2004), el caudal promedio diario se calcula de acuerdo al consumo por categoría de uso del sistema de

agua potable, considerando un porcentaje de pérdidas en la red de distribución del, mediante la Ecuación 9.

$$Q_p = Q_{subtotal} * (1 + \%p\u00e9rdidas) \quad \text{Ecuaci\u00f3n 9 (MAB, 2004)}$$

$$Q_{subtotal} = Q_{dom} + Q_{soc} + Q_{com} + Q_{ind} + Q_{est} \quad \text{Ecuaci\u00f3n 10 (MAB, 2004)}$$

Donde:

$Q_p$ : caudal promedio diario anual ( $l s^{-1}$ )

$Q_{subtotal}$ : caudal subtotal ( $l s^{-1}$ )

% p\u00e9rdidas: porcentaje de p\u00e9rdidas en red de distribuci\u00f3n (%)

$Q_{dom}$ : consumo dom\u00e9stico ( $l s^{-1}$ )

$Q_{soc}$ : consumo social ( $l s^{-1}$ )

$Q_{com}$ : consumo comercial ( $l s^{-1}$ )

$Q_{ind}$ : consumo industrial ( $l s^{-1}$ )

### **Caudal m\u00e1ximo diario**

De acuerdo con Magne (2008), el caudal m\u00e1ximo diario representa la demanda m\u00e1xima en un d\u00eda del a\u00f1o, siendo el d\u00eda de m\u00e1ximo consumo. Seg\u00fan el Servicio Aut\u00f3nomo Nacional de Acueductos y Alcantarillas de Honduras (SANNA, 2014), es el caudal m\u00e1ximo que se espera que produzca la poblaci\u00f3n en un d\u00eda y se calcula como el factor de expansi\u00f3n del caudal promedio diario. MVCS (2018) se\u00f1ala que, el caudal m\u00e1ximo diario se calcular\u00e1 mediante la Ecuaci\u00f3n 11.

$$Q_{md} = K1 * Q_p \quad \text{Ecuaci\u00f3n 11 (MVCS, 2018)}$$

Donde:

$Q_{md}$ : caudal m\u00e1ximo diario ( $l s^{-1}$ )

$K1$ : coeficiente de variaci\u00f3n diaria

$Q_p$ : caudal promedio diario anual ( $l s^{-1}$ )

## Caudal máximo horario

Magne (2008) señala que, el caudal máximo horario representa la demanda máxima que se presenta durante el año en una hora determinada. Según el SANNA (2014), se calcula como el caudal promedio diario con un factor amplificador. MVCS (2018) señala que, el caudal máximo diario se calculará mediante la Ecuación 12.

$$Q_{mh} = K2 * Q_p \quad \text{Ecuación 12 (MVCS, 2018)}$$

Donde:

$Q_{mh}$ : caudal máximo horario ( $l s^{-1}$ )

$K2$ : coeficiente de variación horaria

$Q_p$ : caudal promedio diario anual ( $l s^{-1}$ )

### 2.2.3. Criterios para la evaluación hidráulica de los componentes del sistema de agua potable

#### 2.2.3.1. Bocatoma

Para dimensionar la ventana de captación, Mansen (s. f.) indica que, se debe utilizar el caudal máximo diario para determinar la sección de la ventana de captación mediante la fórmula de vertedero:

$$L = \frac{Q_{md}}{c h^{3/2}} \quad \text{Ecuación 13 (Mansen, s. f.)}$$

Donde:

$L$ : longitud de la ventana de captación (m)

$Q_{md}$ : caudal máximo diario ( $m^3 s^{-1}$ )

$c$ : coeficiente de vertedero ( $c=1.84$ ) (Mansen, s. f.)

$h$ : altura de la ventana de captación (m)

### 2.2.3.2. Canal de derivación

Según MVCS (2023), para diseñar un canal de derivación se utiliza el caudal máximo diario. Como señala ANA (2010), para esto la ecuación de Manning tiene en cuenta criterios como el tipo del material del canal, su coeficiente de rugosidad, relaciones geométricas y pendiente del canal, ver Ecuación 14.

$$Q_{md} = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 14 (ANA, 2010)}$$

Donde:

$Q_{md}$ : caudal máximo diario ( $m^3s^{-1}$ )

$n$ : coeficiente de rugosidad de Manning, ver Tabla 45

$A$ : área hidráulica ( $m^2$ )

$R$ : radio hidráulico (m)

$S$ : pendiente del canal ( $mm^{-1}$ )

De acuerdo con Morales et al. (2019), en la Figura 23 se muestra ecuaciones de cálculo de las relaciones geométricas de secciones de máxima eficiencia hidráulica para canales más frecuentes, en función al tirante hidráulico.

Según Asalde (2020), por el efecto de ondulaciones o causas externas que puedan causar desbordamientos en el canal será necesario dejar un borde libre para prevenir tales eventos. Por otro lado Rodríguez (2008) menciona que, tal borde libre será la distancia vertical desde la superficie de la corona del canal hasta el espejo de agua, siendo fundamental tomar el criterio adecuado para prevenir reboses del canal.

**Figura 23:** Relaciones geométricas para secciones de canales de máxima eficiencia hidráulica

Sección transversal	Área <b>A</b>	Perímetro mojado <b>P</b>	Radio hidráulico <b>R</b>	Ancho superficial <b>T</b>	Profundidad <b>D</b>	Factor de sección <b>Z</b>
Trapezio	$\sqrt{3}y^2$	$2\sqrt{3}y$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{4}{3}\sqrt{3}y$	$\frac{3}{4}y$	$\frac{3}{2}y^{2.5}$
Rectángulo	$2y^2$	$4y$	$\frac{1}{2}y$	$2y$	$y$	$2y^{2.5}$
triangulo	$y^2$	$2\sqrt{2}y$	$\frac{1}{4}\sqrt{2}y$	$2y$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}y^{2.5}$
Semicírculo	$\frac{\pi}{2}y^2$	$\pi y$	$\frac{1}{2}y$	$2y$	$\frac{\pi}{4}y$	$\frac{\pi}{4}y^{2.5}$

Fuente: (Morales et al., 2019)

ANA (2010) menciona tres criterios a tomar en cuenta para elegir la longitud del borde libre adecuada:

- La U.S. Bureau of Reclamation recomienda calcular el borde libre utilizando la siguiente ecuación (ANA 2010):

$$Bl = \sqrt{cy} \quad \text{Ecuación 15 (ANA, 2010)}$$

Donde:

Bl: borde libre (pies)

c: coeficiente (1.5 para caudales menores a 20 pies<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> y 2.5 para caudales alrededor de 3000 pies<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)

y: tirante del agua en el canal (pies)

- La Secretaría de Recursos Hidráulicos de México (SRHM), recomienda lo siguiente, en función del caudal de descarga del canal, ver Tabla 8 (ANA, 2010).

**Tabla 8:** Borde libre en función del caudal

<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Revestido (cm)</b>	<b>Sin revestir (cm)</b>
≤ 0.05	7.50	10.00
0.05 – 0.25	10.00	20.00
0.25 – 0.50	20.00	40.00
0.50 – 1.00	25.00	50.00
> 1.00	30.00	60.00

Fuente: (ANA, 2010)

- Máximo Villón Béjar recomienda los siguientes valores, ver Tabla 9 (ANA, 2010).

**Tabla 9:** Borde libre en función a la plantilla del canal

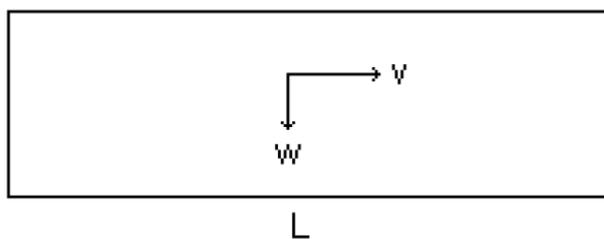
<b>Ancho de plantilla</b>	<b>Borde libre (m)</b>
Hasta 0.8	0.4
0.8 – 1.5	0.5
1.5 – 3.0	0.6
3.0 – 20.0	1.0

Fuente: (ANA, 2010)

### 2.2.3.3. Desarenador

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2005), en la estructura de un desarenador debe fluir el caudal máximo diario del sistema de agua potable. Con el fin de lograr la sedimentación, MVCS (2023) y CEPIS (2005), indican que, para agua sin sedimentación posterior se tendrá que diseñar con partículas de igual o mayor a 0.1mm de diámetro, y para aguas con sedimentación posterior, el desarenador tendrá que eliminar partículas de diámetro de 0.2mm a mayores.

**Figura 24:** Velocidad de flujo y de sedimentación en el tanque



Fuente: (ANA, 2010)

### Velocidad de flujo horizontal en el tanque

Según ANA (2010), es la velocidad del flujo horizontal en el tanque podrá calcularse mediante la fórmula de Campo, ver Ecuación 16. Y como señala MVCS (2023), se debe admitir una velocidad de flujo máxima de  $0.25\text{ms}^{-1}$ .

$$v = a\sqrt{d} \quad \text{Ecuación 16 (ANA, 2010)}$$

Donde:

v: velocidad del flujo horizontal ( $\text{cms}^{-1}$ )

a: constante en función al diámetro, ver Tabla 10, d: diámetro (mm)

**Tabla 10:** Constante en función al diámetro

<b>a</b>	<b>d (mm)</b>
51	< 0.10
44	0.10 – 1.00
36	> 1.00

Fuente: (ANA, 2010)

## Velocidad de sedimentación

De acuerdo con ANA (2010), esta velocidad de sedimentación se podrá calcular tomando en cuenta los siguientes criterios y recomienda finalmente, sacar un promedio de todos sus resultados para dar con la velocidad de sedimentación.

- ANA (2010) señala que, Arkhangelski calculó la velocidad de sedimentación en función del diámetro de la partícula y propuso la Tabla 11.
- Así mismo, ANA (2010) menciona que, Sellerio generó un nomograma para hallar el valor de la velocidad de sedimentación, representado en la Figura 25.
- ANA (2010) menciona además, la fórmula de Ownes, que para hallar la velocidad de sedimentación teniendo en cuenta características del material a sedimentar, ver Ecuación 17.

$$w = k\sqrt{d(\rho_s - 1)} \quad \text{Ecuación 17 (ANA, 2010)}$$

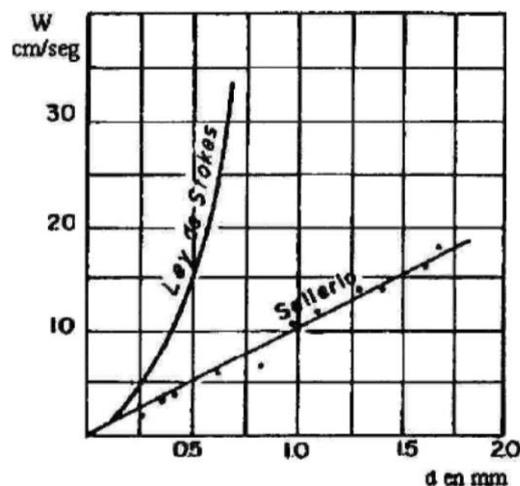
Donde:

w: velocidad de sedimentación ( $\text{ms}^{-1}$ )

d: diámetro de partículas (m),  $\rho_s$ : peso específico del material ( $\text{gcm}^{-3}$ )

k: constante en función de la forma y naturaleza de los granos, ver Tabla 12

**Figura 25:** Velocidad de sedimentación según Sellerio



Fuente: (ANA, 2010)

**Tabla 11:** Velocidad de sedimentación según Arkhangelski

<b>d (mm)</b>	<b>w (cms<sup>-1</sup>)</b>
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.440
2.00	15.290
3.00	19.250
5.00	24.900

Fuente: (Sviatoslav, 1986)

**Tabla 12:** Valores de la contante k

<b>Forma y naturaleza</b>	<b>k</b>
Arena esférica	9.35
Granos redondeados	8.25
Granos cuarzo d > 3 mm	6.12
Granos cuarzo d < 0.7 mm	1.28

Fuente: ANA (2010)

- Además, ANA (2010) menciona a la a la fórmula de Scotti – Foglieni, ver Ecuación 18.

$$w = 3.8\sqrt{d} + 8.3d$$

Ecuación 18 (ANA, 2010)

Donde:

w: velocidad de sedimentación (ms<sup>-1</sup>), d: diámetro de la partícula (mm)

En tal sentido, ANA (2010) menciona que, la velocidad de sedimentación debe estar entre 0.1 y 0.4ms<sup>-1</sup>.

### **Razón entre velocidades**

Según MVCS (2023), la razón entre la velocidad del flujo y la velocidad de sedimentación debe estar dada por la Ecuación 19.

$$R = \frac{v}{w} < 20 \quad \text{Ecuación 19 (MVCS, 2023)}$$

Donde:

R: razón entre la velocidad del flujo y la velocidad de sedimentación

v: velocidad del flujo (ms<sup>-1</sup>)

w: velocidad de sedimentación (ms<sup>-1</sup>)

### **Tiempo de sedimentación**

ANA (2010) menciona que, mediante la Ecuación 20, se hallará el tiempo de sedimentación.

$$t = \frac{h}{w} \quad \text{Ecuación 20 (ANA, 2010)}$$

Donde:

t: tiempo de sedimentación (s), h: altura de caída (m)

w: velocidad de sedimentación (m)

Según MVCS (2023), el tiempo de sedimentación debe estar entre 15 y 10 minutos. ANA (2010) menciona que, la altura de caída debe estar entre 1 y 3m.

### **Longitud del desarenador**

ANA (2010) menciona que, con la Ecuación 21, se calculará la longitud del desarenador.

$$L = \frac{h * v}{w} \quad \text{Ecuación 21 (ANA, 2010)}$$

Donde:

L: longitud del desarenador (m)

h: altura de caída (m)

v: velocidad del flujo ( $\text{ms}^{-1}$ ), w: velocidad de sedimentación ( $\text{ms}^{-1}$ )

### **Ancho del desarenador**

Según menciona CEPIS (2005), el ancho del desarenador se puede calcular utilizando la Ecuación 22.

$$b = \frac{L}{10 - 20} \quad \text{Ecuación 22 (CEPIS, 2005)}$$

Donde:

b: ancho del desarenador (m)

L: longitud del desarenador (m)

10-20: rango recomendado

### **Volumen del agua conducido**

Según ANA (2010), el volumen de agua conducida para un tiempo de sedimentación determinado, está dado por la Ecuación 23.

$$Va = Qmd * t \quad \text{Ecuación 23 (ANA, 2010)}$$

Donde:

Va: volumen del agua conducido ( $\text{m}^3$ )

$Q_{md}$ : caudal máximo diario ( $m^3s^{-1}$ )

t: tiempo de sedimentación (s)

### Capacidad del tanque

Según ANA (2010), la capacidad del tanque está dada por la Ecuación 24.

$$Vt = b * h * L \quad \text{Ecuación 24 (ANA, 2010)}$$

Donde:

$Vt$ : volumen de capacidad del tanque ( $m^3$ )

b: ancho del desarenador (m)

h: altura de caída (m)

Por lo cual, ANA (2010) indica que, para verificar el dimensionamiento del tanque se buscará que el volumen de la capacidad del tanque sea mayor al volumen del agua conducido.

### Vertedero de salida del desarenador

Según Villón (2007), para vertederos rectangulares de cresta aguda ( $e \leq 3h$ ), y cuando la longitud de la cresta es menor al ancho del canal, en este caso; se utilizará la ecuación de Francis, ver Ecuación 25; despejando la longitud. Por otro lado, ANA (2010) menciona que, esta velocidad máxima limita a la carga (h) a 0.25m.

$$Q = 1.84(L - 0.1 * n * hv) * hv^{3/2} \quad \text{Ecuación 25 (Villón, 2007)}$$

Donde:

L: longitud del vertedero (m)

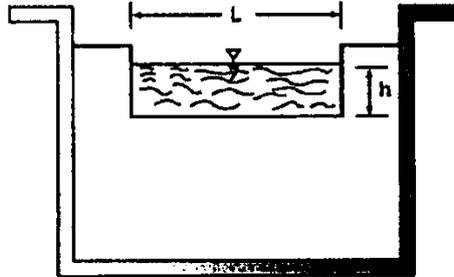
n: número de contracciones (1 o 2)

hv: carga en la cresta del vertedero (m)

$Q_{md}$ : caudal máximo diario ( $m^3s^{-1}$ )

$$L = 0.1 * n * hv + \frac{Q_{md}}{1.84 * hv^{3/2}} \quad \text{Ecuación 26 (Villón, 2007)}$$

**Figura 26:** Vertedero con contracciones



Fuente: (Villón, 2007)

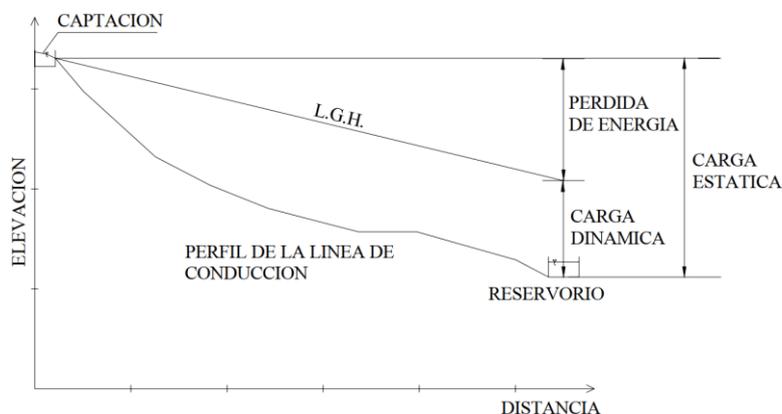
#### 2.2.3.4. Línea de conducción

Según MVCS (2023) línea de conducción debe de tener la capacidad de conducir mínimamente el caudal máximo diario. Como menciona CEPIS (2004), al conducir el agua por gravedad, en esta línea de conducción actuarán dos cargas, la estática y la dinámica.

#### Carga estática y dinámica

CEPIS (2004) menciona que, en la línea de conducción, se acepta como máximo una carga estática de 50m y una carga dinámica de 1m, ver Figura 27.

**Figura 27:** Cargas estática y dinámica de la línea de conducción



Fuente: (CEPIS, 2004)

### Velocidad mínima y máxima

MVCS (2023) y CEPIS (2004) indican que, la velocidad de escurrimiento mínima admisible, para no ocasionar depósitos ni erosiones, será de  $0.60\text{ms}^{-1}$ , la velocidad admisible de  $3\text{ms}^{-1}$  y la velocidad máxima será de  $5\text{ms}^{-1}$  para tubos de PVC. MAB (2004) y Magne (2008), admiten una velocidad mínima de  $0.30\text{ms}^{-1}$ , con fines de autolimpieza.

### Ecuación de continuidad

Como señala Aguirre (2015), el caudal que fluye por la tubería es el volumen líquido transportado por una sección transversal en una unidad de tiempo, representada por la Ecuación 27.

$$Q = V * A \quad \text{Ecuación 27 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

Q: caudal ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )

V: velocidad de flujo ( $\text{ms}^{-1}$ )

A: área de la sección transversal interna de la tubería ( $\text{m}^2$ )

Según MAB (2004), para elegir los diámetros de las tuberías se tendrá en cuenta las velocidades de escurrimiento, las presiones disponibles, relacionándose a un estudio técnico económico. Aguirre (2015) indica que, el diámetro interior de la tubería puede calcularse.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 28 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

A: área de la sección transversal interna de la tubería (m<sup>2</sup>)

D: diámetro interior de la tubería (m)

Despejando el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad \text{Ecuación 29 (MAB, 2004)}$$

### **Conservación de energía**

Según CEPIS (2004), la presión en la tubería es la cantidad de energía gravitacional que contiene el agua y se realiza por medio de la ecuación de Bernoulli, ver Ecuación 30. Aguirre (2015) menciona que, la conservación de energía tiene en cuenta pérdidas de energía que se da debido al desplazamiento del flujo.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_f \quad \text{Ecuación 30 (CEPIS, 2004)}$$

Donde:

Z: cota de cota respecto a un nivel de referencia arbitraria

P/γ: altura de carga de presión (P es la presión y γ el peso específico del fluido) (m)

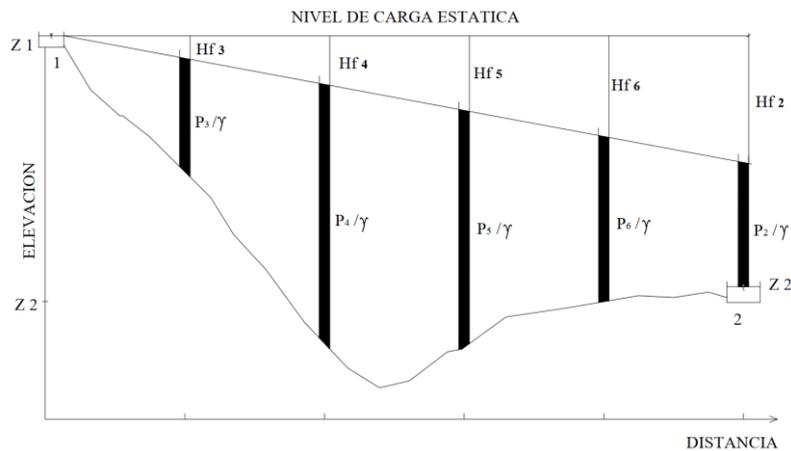
V: velocidad media del punto considerado (ms<sup>-1</sup>)

Hf: es la pérdida de carga que se produce de 1 a 2

Al ser  $V_1=V_2$  y  $P_1=0$  (presión atmosférica en el punto 1):

$$\frac{P_2}{\gamma} = Z_1 - Z_2 - H_f \quad \text{Ecuación 31 (CEPIS, 2004)}$$

**Figura 28:** Equilibrio de presiones dispersas



Fuente: (CEPIS, 2004)

## Pérdidas de carga

Según Arocha (1997), pérdidas de carga en tuberías a presión, representan resistencia al flujo del agua por la tubería, las cuales se pueden dar por fricción del agua en la tubería y también las llamadas, pérdidas locales.

- **Pérdidas por fricción**

Como menciona MVCS (2023) y MAB (2004), para el cálculo hidráulico de las pérdidas por fricción, se puede calcular mediante la ecuación de Hazen y Williams, y la ecuación de Darcy Weisbach.

- **Ecuación de Hazen y Williams**

Según Aguirre (2015), la ecuación de Hazen y Williams fue desarrollada para flujo turbulento, a utilizarse para un diámetro de 50mm y velocidades no mayores a  $3\text{ms}^{-1}$ , y

no puede utilizarse en líquidos distintos al agua. MAB (2004) señala que, esta fórmula se representa mediante la Ecuación 32.

$$Q = 0.2785 * C * D^{2.63} * S^{0.54} \quad \text{Ecuación 32 (MAB, 2004)}$$

Donde:

Q: caudal ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )

C: coeficiente de Hazen Williams

D: diámetro interno de la tubería (m)

S: pérdida de carga unitaria o gradiente hidráulico ( $\text{hfL}^{-1}$ ) ( $\text{mm}^{-1}$ )

hf: pérdida de carga (m)

L: Longitud de la tubería (m)

Aguirre (2015) menciona que, despejando la ecuación anterior, la pérdida de carga por fricción según la ecuación de Hazen y Williams, está dada por la Ecuación 33.

$$hf = \frac{10.674 * L * Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} \quad \text{Ecuación 33 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

hf: pérdida de carga (m)

L: Longitud de la tubería (m)

Q: caudal ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )

C: coeficiente de Hazen Williams, ver Tabla 13

D: diámetro interno de la tubería (m)

**Tabla 13:** Valores del coeficiente C de Hazen –Williams

<b>Material</b>	<b>C</b>
Acero galvanizado	125
Acero soldado c/revestimiento	130
Asbesto cemento	120
Hierro fundido nuevo	100
Hierro fundido usado (15 a 20 años)	60 – 100
Hierro fundido dúctil c/revestimiento de cemento	120
Plástico PVC o Polietileno PE	140

Fuente: (Azevedo, 2005)

Según Magne (2008), el aplicar la ecuación de Hazen y Williams es válido para agua fluyendo a velocidades convencionales y turbulentas, y que presenta algunas deficiencias que muchas veces son ignoradas, a pesar de presentar errores para tuberías menores a 200mm (8”) y mayores de 1500 mm (60”), presentando deficiencias al trabajar con aguas frías o calientes o velocidades altas o bajas extremas.

- **Ecuación de Darcy-Weisbach**

Según Aguirre (2015), para calcular las pérdidas por fricción, la ecuación de Darcy-Weisbach es la más apropiada y es aplicada a todo tipo de líquidos en diferentes regímenes del flujo, ver Ecuación 34.

$$h_f = \frac{f * L * V^2}{D * 2 * g} \quad \text{Ecuación 34 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

hf: pérdida de carga (m)

f: factor de fricción

L: longitud de la tubería (m)

V: velocidad de flujo (ms<sup>-1</sup>)

D: diámetro de la tubería (m)

g: aceleración de la gravedad ( $\text{ms}^{-2}$ )

Como menciona Aguirre (2015), despejando la velocidad en función del caudal, reemplazando la Ecuación 27 y Ecuación 28, se tiene la Ecuación 35.

$$hf = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} \quad \text{Ecuación 35 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

hf: pérdida de carga (m)

f: factor de fricción

L: longitud de la tubería (m)

Q: caudal máximo diario ( $\text{m}^3\text{s}$ )

g: aceleración de la gravedad ( $\text{ms}^{-2}$ )

D: diámetro de tubería (m)

Aguirre (2015) señala que, el cálculo del factor de fricción depende del número de Reynolds del flujo:

- Ecurrimiento laminar ( $R < 2000$ )

Como menciona Aguirre (2015) y MAB (2004), se puede emplear la ecuación de Hagen-Poiseuille, ver Ecuación 36.

$$f = \frac{64}{R} \quad \text{Ecuación 36 (MAB, 2004)}$$

Donde:

f: factor de fricción

R: número de Reynolds

- Zona crítica ( $2000 < R < 4000$ )

Según MAB (2004), en este caso se aplica la ecuación de Prandtl-von Karman, ver Ecuación 37.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 * \log R * \sqrt{f} - 0.80 \quad \text{Ecuación 37 (MAB, 2004)}$$

Donde:

f: factor de fricción

R: número de Reynolds

- Esguerrimiento turbulento ( $R > 5000$ )

MAB (2004) menciona a la ecuación de Colebrook-White, ver Ecuación 38 y la ecuación de Swamme-Jain, ver Ecuación 39.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 * \log \left( \frac{k}{3.7 * Dh} + \frac{2.51}{R * \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 38 (MAB, 2004)}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{k}{3.71} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 39 (MAB, 2004)}$$

Donde:

f: factor de fricción

k: rugosidad uniforme equivalente o coeficiente de Colebrook

D: diámetro de tubería (m)

R: número de Reynolds

En este sentido, Aguirre (2015) señala que el número de Reynolds del flujo, se calcula mediante la Ecuación 40.

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad \text{Ecuación 40 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

Re: número de Reynolds

V: velocidad en la sección de la tubería ( $\text{ms}^{-1}$ )

v: viscosidad cinemática del agua ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ), ver Tabla 46

Así mismo, Aguirre (2015) menciona que, el coeficiente de Colebrook se determina mediante la Ecuación 41.

$$k = \varepsilon/D \quad \text{Ecuación 41 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

k: coeficiente de Colebrook, ver Tabla 14

$\varepsilon$ : Rugosidad (mm)

D: diámetro de tubería (m)

**Tabla 14:** Valores de rugosidad absoluta ( $\varepsilon$ )

Material	$\varepsilon$ (mm)
PVC	0.0015
AC	0.03
Acero	0.046
Hierro galvanizado	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Concreto	0.3 – 3.0
Vidrio	0.0003
Polietileno de alta densidad	0.007

Fuente: (Aguirre, 2015)

Como señala MAB (2004), la pérdida de carga en las tuberías a presión que en su juntas presenten salientes a lo largo de su perímetro de la sección, será la suma de las pérdidas de carga distribuidas, así mismo menciona que, las pérdidas de carga producidas por juntas tipo espiga campana, uniones flexibles con anillo de goma, o similares no se las debe considerar por ser despreciables al no presentar salientes al interior de la tubería.

- **Pérdidas de carga locales**

Como menciona MAB (2004), son las pérdidas de carga producidas por accesorios por cambio de dirección, reducciones o válvulas, utilizando su longitud equivalente al añadirla a la longitud del tramo. Aguirre (2015) en este sentido, señala que, la pérdida de carga es el producto del coeficiente de pérdidas menores por la altura dinámica de la tubería, representado por la Ecuación 42.

$$hL = K \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 42 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

hL: pérdida de carga local (m)

K: coeficiente de pérdidas menores

V: velocidad del flujo ( $\text{ms}^{-1}$ )

g: aceleración de la gravedad ( $\text{ms}^{-2}$ )

A cual, Aguirre (2015) añade que, reemplazando el valor de la velocidad según la Ecuación 27 y Ecuación 28, la pérdida de carga está dada por la Ecuación 43.

$$hL = \frac{8 * K * Q^2}{\pi^2 * g * D^2} \quad \text{Ecuación 43 (Aguirre, 2015)}$$

Donde:

hL: pérdida de carga local (m)

K: coeficiente de pérdidas menores

V: velocidad del flujo ( $\text{ms}^{-1}$ )

g: aceleración de la gravedad ( $\text{ms}^{-2}$ )

Menciona además, Aguirre (2015) que, para las pérdidas por cambios de dirección se aplica la Ecuación 44.

$$hL = 0.25 * \frac{V^2}{2 * g} \sqrt{\frac{\theta}{90}}$$

Ecuación 44 (Aguirre, 2015)

Donde:

hL: pérdida de carga local (m)

V: velocidad del flujo (ms<sup>-1</sup>)

g: aceleración de la gravedad (ms<sup>-2</sup>)

θ: ángulo del codo (90°, 45°, 22.5° o 11.25°)

### **Relación L/D**

Méndez (2012) menciona que, esta relación determina si la tubería es corta o larga, por medio de la Ecuación 45 y Ecuación 46; para el caso de tuberías largas se obvian las pérdidas de carga locales y se toma en cuenta solamente las pérdidas de carga por fricción, y para las tuberías cortas se consideran ambas.

$$L/D > 2000 \text{ (tubería larga)}$$

Ecuación 45 (Méndez, 2012)

$$L/D < 2000 \text{ (tubería corta)}$$

Ecuación 46 (Méndez, 2012)

Donde:

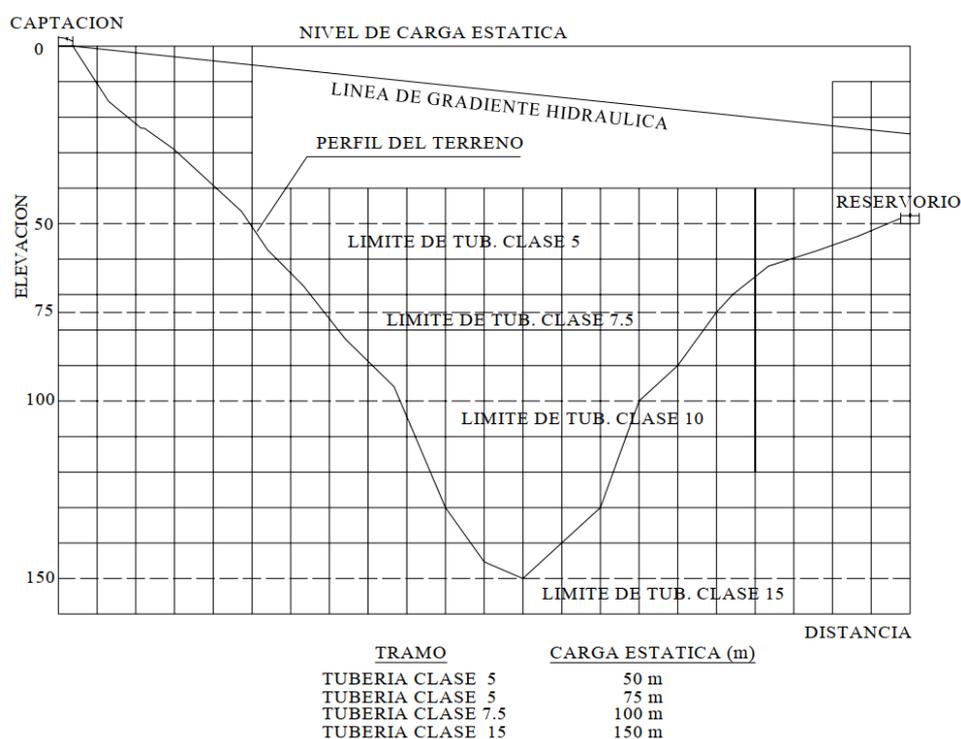
L: longitud total de la tubería (m)

D: diámetro de la tubería (m)

### **Presiones máximas y mínimas**

Como indica MVCS (2023), la presión estática máxima no será mayor al 75% de la presión de trabajo de la tubería utilizada, relacionada con la presión de servicio para accesorios y válvulas.

**Figura 29:** Presiones de trabajo según la clase de tubería de PVC



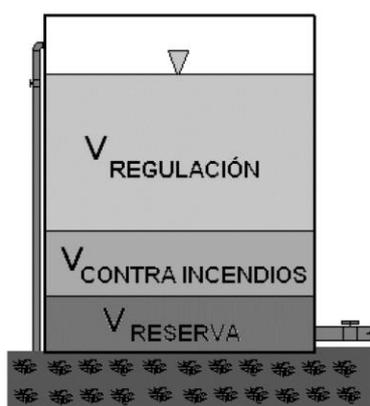
Fuente: (CEPIS, 2004)

Ante lo cual, MAB (2004) menciona una presión estática máxima del 80 % de la presión de trabajo y además señala que, la presión mínima remendable en cualquier punto de la línea de conducción, es de 2 m.c.a., con excepción del punto inicial y final que estén relacionados a un tanque o cámara en contacto con la atmósfera. Según CEPIS (2004), se debe evitar pendientes que sobrepasen los 30 %, para evitar velocidades excesivas.

### 2.2.3.5. Reservorio

Según MVCS (2023) y el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL, 2010), el volumen de almacenamiento se dimensionará con el propósito de cubrir las necesidades del servicio del sistema de distribución efectuando la regulación entre la producción de agua y la extracción para su consumo.

**Figura 30:** Volumen de almacenamiento



Fuente: (Magne, 2008)

Además, Regal (2008) y Arocha (1997) refieren que, el volumen de almacenamiento está compuesto por el volumen de regulación, volumen contra incendio y volumen de reserva, ver Ecuación 47 y Figura 30.

$$V_{alm} = V_{reg} + V_i + V_{res}$$

Ecuación 47 (Regal, 2008)

Donde:

$V_{alm}$ : volumen de almacenamiento ( $m^3$ )

$V_{reg}$ : volumen de regulación ( $m^3$ )

$V_i$ : volumen para lucha contra incendios ( $m^3$ )

$V_{res}$ : volumen de reserva ( $m^3$ )

### **Volumen de regulación**

Menciona MVCS (2023) que, el volumen de regulación tiene como fin el suministrar agua en horas de demanda máxima. Se calculará como el 25% del consumo promedio anual, cuando se tenga un suministro de la fuente de abastecimiento para 24 horas; de lo contrario deberá calcularse en función a las horas de suministro, ver Ecuación 48. Según MAB (2004), establece que el volumen de regulación debe representar entre un 15% a 30% del consumo máximo diario, ver Ecuación 49.

$$V_{reg} = 25\%Q_p \quad \text{Ecuación 48 (MVCS, 2023)}$$

$$V_{reg} = (15 - 30)\%Q_{md} \quad \text{Ecuación 49 (MAB, 2004)}$$

Donde:

$V_{reg}$ : volumen de regulación ( $m^3$ )

$Q_p$ : consumo promedio anual ( $m^3 \text{ día}^{-1}$ )

$Q_i$ : consumo máximo diario ( $m^3 \text{ día}^{-1}$ )

### Volumen contra incendio

MVCS (2023) considera un volumen mímimo adicional para área de viviendas de  $50m^3$  y para áreas de uso comercial o industrial muestra el gráfico contra incendio de sólidos, asumiendo un volumen de incendio de  $3000m^3$  y un coeficiente de apilamiento a elegir según Vierendel (2009).

**Tabla 15:** Tiempo de extinción de incendio

Población	Extinción
< 10 000 hab	-
10 000 – 100 000 hab	1 hidrante; $t_{min} = 2$ Hrs
> 100 000	1 en zona residencial con 2 hidrantes y 1 en zona industrial con 3 hidrantes $t_{min} \approx 2$ Hrs

Fuente: (Vierendel, 2009)

Como menciona MAB (2004), se debe calcular el volumen contra incendio con la Ecuación 50, para lo cual menciona un tiempo de duración de incendio entre 2 y 4 horas. Regal (2008) indica considerar un tiempo entre 2 y 6 horas. A esto, ANDA (2014) señala que, este tipo debe ser considerado de 2 horas como mínimo.

$$V_i = 3.6 * Q_i * t \quad \text{Ecuación 50 (MAB, 2004)}$$

Donde:

$V_i$ : volumen para lucha contra incendios ( $m^3$ )

$Q_i$ : caudal para lucha contra incendio ( $l s^{-1}$ )

$t$ : tiempo de duración del incendio (hr)

Méndez (s. f.) señala que, el volumen contra incendio tiene función directa con la población, mediante la Ecuación 51.

$$Q_i = 0.5\sqrt{P} \quad \text{Ecuación 51 (Méndez, s. f.)}$$

Donde:

$Q_i$ : caudal contra incendio ( $l s^{-1}$ )

$P$ : población (miles)

### **Volumen de reserva**

Según Magne (2008), este volumen suministra agua en caso de interrupciones accidentales en el funcionamiento de captación, línea de conducción o planta de tratamiento. Vierendel (2009) propone las siguientes ecuaciones para hallar el volumen de reserva:

$$V_{res} = 25\%(V_{reg} + V_{inc}) \quad \text{Ecuación 52 (Vierendel, 2009)}$$

$$V_{res} = 33\%(V_{reg} + V_{inc}) \quad \text{Ecuación 53 (Vierendel, 2009)}$$

Donde:

$V_{res}$ : volumen de reserva ( $m^3$ ),  $V_{reg}$ : volumen de regulación ( $m^3$ )

$V_{inc}$ : volumen contra incendios ( $m^3$ )

### **2.2.3.6. Red de distribución**

#### **Presiones mínimas y máximas**

Como indican MVCS (2023), SEDAPAL (2010), CEPIS (2005) y ANDA (2014), las presiones de servicio permitidas en la red de distribución, van de una mínima de 10m.c.a. a una máxima de 50m.c.a. MAB (2004) menciona que, la presión máxima en la red no debe ser superior a 70m.c.a. Añade además Arocha (1997) que, se acepta una presión máxima de 75m.c.a. Como menciona el ICAA (2017), la presión mínima deber ser de 15m.c.a.

#### **Velocidades en la red de distribución**

Como mencionan MVCS (2023) y SEDAPAL (2010), las velocidades en la red de distribución, se aceptan como mínimas a  $0.60\text{ms}^{-1}$  y máximas de  $3.00\text{ms}^{-1}$ . Por otra parte, CEPIS (2005) y Magne (2008) toleran velocidades máximas de  $0.30\text{ms}^{-1}$  y máximas de  $2.00\text{ms}^{-1}$ .

#### **Modelación hidráulica**

Según el Programa de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en Pequeñas y Medianas Ciudades de Bolivia (PROAPAC, 2010), una modelación hidráulica viene a ser una construcción digital de una red distribución con el fin de conocer su comportamiento hidráulico. Rossman et al. (2017) mencionan que, EPANET V2.20 es un software que modela tal comportamiento y CONAGUA (2019) señala que, como resultados es posible obtener las velocidades y caudales en los tramos, así como las presiones en los nodos de la red de distribución.

#### **2.2.4. Definición de términos básicos**

##### **a. Agua potable**

Es el agua apta para consumo humano que cumple con normatividad a cerca de su calidad química y bacteriológica (EPS SEDACAJ S.A., 2022).

##### **b. Oferta de agua**

Es la cantidad de agua que puede ofertar una fuente de abastecimiento, siendo favorable que sea mayor al caudal máximo diario (MVCS, 2018).

##### **c. Demanda de agua potable**

Es la cantidad de agua requerida por la población usuaria del suministro por el sistema de agua potable (MVCS, 2023).

##### **d. Empresas prestadoras de servicios de saneamiento**

Son entidades públicas, privadas o mixtas, que brindan los servicios de abastecimiento de agua potable, tratamiento de aguas residuales y disposición de excretas en localidades urbanas (SUNASS, 2023).

##### **e. Población urbana**

Son poblaciones que sobrepasan los 2000 habitantes y para obras de saneamiento de aplica en Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2023).

**f. Conexiones prediales**

Es el conjunto de elementos sanitarios conectados a la red de distribución, con el fin de suministrar con agua potable a los usuarios (Regal, 2008).

**g. Tuberías**

Son conductos de sección circular que permiten el flujo de agua, las unidades de tuberías son empalmadas por nodos o uniones (CONAGUA, 2019)

**h. Válvulas**

Son aparatos mecánicos que permiten el flujo o lo regulan en tramos de la tubería, ciertos tipo de válvulas permiten la expulsión de aire o de sedimentos (CONAGUA, 2019).

**i. Medidores de agua**

Es un aparato que permite contabilizar el volumen de agua que fluye a través de él y se utiliza en conexiones prediales (Magne, 2008).

**j. Topografía**

Es la representación gráfica de la superficie terrestre, de acuerdo a su relieve y accidentes naturales del área en que se ubica un proyecto (Instituto Geográfico Nacional , 2015).

## **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Hipótesis**

#### **3.1.1. Hipótesis general**

El sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel – Cajamarca, según la evaluación hidráulica, funcionaba inadecuadamente.

#### **3.1.2. Hipótesis específicas**

- La ciudad de San Miguel presenta una dinámica de crecimiento urbano y social.
- El sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel se encuentra en estado de deterioro.
- Los componentes del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel, de acuerdo a la evaluación hidráulica, funcionaban inadecuadamente.
- La calidad del agua que produce el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel es inadecuada para el consumo humano.

### **3.2. Variables**

La variable de la presente investigación es única e independiente, el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel - Cajamarca.

### **3.3. Ubicación geográfica**

Según EPS SEDACAJ S.A. (2023), el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel, ver Figura 32, tomando como referencia esta ciudad, con coordenadas UTM zona 17M: 737125 E, 9225740 S, se encuentra en la provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca, a una altura de 2659msnm, ver Figura 31, en la región quechua, en la

cuenca del Río San Miguelino. Limita por el norte con el distrito de Calquis, por el sur con las provincias de Contumazá y San Pablo, por el este con la provincia de San Pablo y por el oeste con los distritos de Unión Agua Blanca y el Prado. Como menciona MPSM (2023), el acceso a la ciudad de San Miguel se realiza por medio de vía asfaltada desde la ciudad de Cajamarca o la ciudad de Pacasmayo.

**Figura 31:** Ubicación geográfica de la zona de estudio



Fuente: (MPSM, 2021)

Como menciona, EPS SEDACAJ S.A. (2023) de acuerdo al Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor aprobado por D.S. N° 017 – 2009/AG, el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel presenta pendientes con superficies empinadas que van desde 25% hasta 50%. Añade que, de acuerdo al Mapa climático del Departamento de Cajamarca realizado por la ZEE del GRC, la zona de estudio presenta dos climas: Cw Templado moderado lluvioso (12%), cuyas temperaturas son desde -3°C a 18°C, y Dwb Frío Boreal (40%), cuyas temperaturas son de -3°C a 22°C.

**Figura 32:** Vista panorámica de la ciudad de San Miguel



Según SUNASS (2019), la zona de estudio tiene precipitaciones muy marcadas de lluvia en los meses de enero a marzo y un período de estiaje que se extiende del mes de junio a setiembre. Como indica E.P.S SEDACAJ S.A. (2022), el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel capta agua del Río El Carrasco, ver Figura 33, en la cuenca del Jequetepeque, en su subcuenca San Miguel. Alvarez (2022) señala que, la subcuenca San Miguel es una cuenca permeable, que ante la presencia de precipitaciones, temperaturas y cobertura vegetal, en sus cauces naturales tendrá la presencia de caudal circulante en todo el año.

**Figura 33:** Río El Carrasco



### **3.4. Metodología**

#### **3.4.1. Tipo de estudio**

El estudio fue de tipo aplicada, ya que implica la recolección de datos y su análisis de estos, así mismo fue de carácter descriptivo propias de los objetivos del estudio.

#### **3.4.2. Diseño**

Para el desarrollo de la investigación, se creyó por conveniente dividir a ésta en tres etapas, inicial, central y final, como se detalla a continuación:

##### **3.4.2.1. Etapa inicial**

En esta etapa, se desarrollaron actividades preliminares de la investigación, tanto en gabinete como en campo, como se indica:

1. Para llevar a cabo la presente investigación se buscó información relacionada a sistemas de agua potable en: Tesis, artículos científicos, revistas científicas, también en bibliografía especializada como libros, manuales, normativa nacional e internacional.
2. Se solicitó información a la EPS SEDACAJ S.A., del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel, ver Figura 60, sobre el número de conexiones activas, volumen de consumo por categoría de unidades de uso, relación de resultados de parámetros de calidad del agua, variación horaria de consumo, presiones de servicio en la red de distribución e información de la calidad del agua del SAP San Miguel.
3. Se solicitó información a la Unidad Ejecutora de Programas Regionales del Gobierno Regional de Cajamarca (PROREGIÓN), ver Figura 61, de los expedientes técnicos de los proyectos “Construcción Captación de Línea de Conducción Santa Rosa, como

meta del proyecto de Inversión Pública: Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de San Miguel, con código SNIP N°58537” del año 2018 y “Ampliación y Mejoramiento de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de San Miguel” del año 2013.

4. Se solicitó información a la Oficina Descentralizada de Servicios (ODS) SUNASS Cajamarca, ver Figura 62, relacionados a temas de fiscalización y supervisión del servicio por parte de la EPS SEDACAJ S.A. en el SAP San Miguel.
5. Ante la Micro Red de Salud San Miguel se solicitó reportes de análisis de calidad del agua para consumo humano del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel, ver Figura 63.
6. Así mismo, se solicitó a DIRESA Cajamarca, información del análisis de calidad de agua del SAP San Miguel de los periodos (2015-2022), ver Figura 64.
7. Se solicitó a la EPS SEDACAJ S.A. Administración San Miguel, acceso para realizar un recorrido general de reconocimiento de los componentes del SAP San Miguel.

#### **3.4.2.2. Etapa central**

En esta etapa, se realizaron actividades, de acuerdo a los objetivos planteados, en base a la información recopilada de las visitas a campo, resultados obtenidos y contrastados con la literatura consultada.

##### **a) Caracterización de la ciudad de San Miguel**

8. Se buscó información de la ciudad de San Miguel, como lo menciona Ayala (2017) sobre la caracterización de ciudades, sobre su ubicación geográfica, datos y

patrimonio histórico de la ciudad, sobre su clima y accesibilidad, según MPSM (2021) y MPSM (2023).

9. De acuerdo con Pértile y Manoiloff (2013), se buscó información sobre su población, del ambiente urbano, como sus zonas y características de sus edificaciones, según INEI (2023), a la Sub Gerencia de Gestión Territorial y Urbano de la MPSM y también información de acceso a servicios públicos por MPSM (2022).
10. Así mismo, según lo indicado Ayala (2017), se buscó información sobre las actividades económicas desarrolladas en esta ciudad, de acuerdo con MPSM (2021) y MPSM (2023).

**b) Caracterización del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel**

11. Se idéntico el tipo del sistema, según lo indicado por gravedad como menciona CEPIS (2003), su fuente de abastecimiento indicadas por Magne (2008), de aguas superficiales, se verificó su vigencia de licencia de uso de agua, indicado por PROREGIÓN (2018).
12. Se analizó la continuidad, como lo indican por CONAGUA (2019) y Regal (2008) de importancia en el servicio de agua potable, mediante información de EPS SEDACAJ S.A. (2023) y SUNASS (2019).
13. Se analizó los expedientes técnicos de proyectos relacionados a la construcción y mejoramiento de los componentes considerados del SAP San Miguel, indicados por EPS SEDACAJ S.A. (2023), de acuerdo con PROREGIÓN (2018) y PROREGIÓN (2010).
14. Se visitó la bocatoma, se verificó las dimensiones, según lo recomendado se verificó el cumplimiento de su función de no permitir el paso de material flotante por la ventana de captación, según Alcas y Lizarzaburu (2023). Se verificó la altura de la

ventana desde el fondo del canal de limpia, recomendado por MVCS (2018) de 0.20 m a 0.60 m, para así evitar el ingreso de material de arrastre como lo indica Mansen (s. f.). Se constató la altura de seguridad por oleaje de 0.15 m a 0.20 m recomendados por Mansen (s. f.) y MVCS (2018). Se verificó el tipo del perfil del barraje, al presentar un perfil de tipo Creager recomendado por ANA (2010) al ser conveniente ya que es sometido a una presión casi nula en todos sus puntos. Se verificó la diferencia de cotas del fondo del río y del colchón disipador de 0.50 m a 1.00 m. recomendados por Mansen (s. f.) y MVCS (2018). En cuanto a los barrotes de la rejilla, se verificó que deben sobresalir de la cara del muro y tener una inclinación vertical como lo indican Mansen (s. f.) y MVCS (2023). En función al canal de limpia, se constató el cumplimiento de su finalidad y que no debe presentar fugas de caudal, indicado por Jáuregui (2019). Respecto a lo indicado el barraje se verificó su función de interrumpir el flujo del cauce del río y el ingreso a la ventana de captación, mencionado por Alcas y Lizarzaburu (2023) y MVCS (2018). Se verificó que, gracias al colchón disipador, el barraje no haya presentado socavamientos o volteamientos a lo largo de la estructura, según Almora (2009). Se verificó el cumplimiento del objetivo de la escollera, según lo indicado por Mansen (s. f.), de reducir el efecto erosivo del flujo en la bocatoma. De acuerdo a la información dada por PROREGIÓN (2018).

15. Se visitó el canal de derivación, para constatar el cumplimiento de su función de conducir agua, como lo señala Toapanta (2023), verificar su estado y dimensiones, se consideró lo indicado por PROREGIÓN (2018).
16. Se visitó el desarenador, para tomar datos de su estado, dimensiones de su estructura, Se verificó su ubicación, como menciona Aguirre et al. (s. f.), lo más cercanamente posible a la bocatoma para evitar la acumulación de materiales. Se verificó su altura

según el parámetro recomendado por ANA (2010), de 1 a 3 m. Por otro lado su ángulo de divergencia, de 12.5°, recomendado por CEPIS (2005) y Sviatoslav (1986). Se verificó la pendiente de caída del fondo, recomendado por ANA (2010), de 2% para facilitar el lavado del fondo del desarenador. De acuerdo a la información dada por PROREGIÓN (2018).

17. Se visitó la línea de conducción, para verificar el estado de la tubería, se verificó lo recomendado por MVCS (2018), al presentar tubería de PVC y en condiciones de exposición de HDPE. Se verificó la ubicación de las válvulas de purga en puntos bajos de la línea, según lo recomendado por MVCS (2023), su diámetro está acorde con MAB (2004), estando en el rango de 1/4 y 1/3 de la tubería principal. Se verificó la ubicación de las válvulas de aire en puntos altos de la línea, según lo señalado por MVCS (2023) y CEPIS (2004) y su diámetro dentro del rango mencionado por MAB (2004), de 1/4 y 1/16 de la tubería principal. Se identificaron tramos de la tubería con pendiente mayor a la recomendada por CEPIS (2004), de 30 %. A su vez, de acuerdo a la información dada por PROREGIÓN (2018).
18. Se visitó el reservorio, para verificar su estado y sus dimensiones, su tipo según lo indicado por SEDAPAL (2010), sobre reservorios apoyados de base circular recomendados con el fin de eliminar puntos muertos o cortocircuitos, con tirantes de agua máximos entre 2.80 a 8.00 m. Se verificó que el reservorio esté dotado de sistema bypass en tuberías de ingreso y salida, tubería de limpia y rebose, dotadas de válvulas compuertas, tapa de ingreso tipo sanitaria y escaleras, como lo indican MVCS (2023) y SEDAPAL (2010). Se verificó el borde libre, como lo recomiendan MVCS (2018), MAB (2004) y Magne (2008) de 0.20 m a 0.30 m, para permitir la renovación del aire al interior del reservorio. Se verificó la pendiente del fondo, a lo que recomiendan MVCS (2018) y MAB (2004), de 1 % que permite la evacuación

completa del agua, como menciona MVCS (2023). Se verificó la pendiente de la cubierta, recomendada por MAB (2004), una mínima de 2 % para permitir el drenaje. Se verificó la disposición de la tubería de ventilación, como lo recomienda MVCS (2023), en forma de “U” no permite la iluminación directa y debe estar protegida, como lo señalan SEDAPAL (2010) y MAB (2004), para impedir el ingreso de insectos, además debe admitir un caudal similar al caudal máximo de entrada o salida del reservorio, como recomienda SEDAPAL (2010). Se verificaron las embocaduras de la tubería de entrada y salida, que como lo recomienda MVCS (2018), debe estar en posición contraria para permitir la circulación del agua dentro del reservorio. Se constató la altura de la tubería de salida al fondo, que acorde a lo recomendado por MVCS (2018), debe estar a una altura mínima de 0.10 m para evitar el ingreso de sedimentos. Se verificaron las ranuras de la canastilla de la tubería de salida, que deben estar espaciadas a 15mm, según recomendaciones dadas por MVCS (2018); así como la distancia horizontal entre el extremo de la canastilla y la pared más próxima de tanque de una mínima de 0.10 m, recomendada por MAB (2004). Se verificó el diámetro de la tubería de limpieza con un mínimo de DN 138 mm, recomendado por MAB (2004). Se verificó que el reservorio tenga una cámara de limpieza, tal como lo recomienda MAB (2004), para reservorios mayores de 20 m<sup>3</sup> y que la tubería de limpieza derivara por el fondo, como lo indica Arocha (1997). Además de la información de PROREGIÓN (2010).

19. Se visitó la red de distribución, para verificar su tipo, según lo indicado por Regal (2008) y MAB (2004), sobre redes mixtas, redes con distribución por gravedad mencionado por Regal (2008) y MAB (2004). Se verificó el material de la tubería, como recomiendan CONAGUA (2019) y CEPIS (2005), PVC de Unión Flexible. Se verificó la disposición de las conexiones prediales, acorde con lo indicado por MVCS

(2023) y Magne (2008), con un diámetro mínimo de 1/2” recomendado por MVCS (2023). Se constató la disposición de las válvulas de aislamiento de la red de distribución, según lo mencionado por SEDAPAL (2010) y CEPIS (2005) para aislar ciertos tramos de la red. Se verificaron los diámetros de la tubería, que recomienda Arocha (1997), igual al diámetro de la tubería principal. Se verificó la disposición de las válvulas reductoras de presión, como señala Arocha (1997), deben ubicarse en puntos estratégicos para reducir la presión la red de distribución. Se verificó que las válvulas de purga estén ubicadas, según SEDAPAL (2010) y ANDA (2014), en los puntos más bajos, que permiten la limpieza de la red de distribución, evitando los “puntos muertos” como indica MVCS (2023). Se verificaron los diámetro de válvulas de purga que estuvieran acorde al diámetro de la tubería, según el criterio indicado por Arocha (1997), de acuerdo a la tubería principal de la red. Se verificó la ubicación de las válvulas de aire, según SEDAPAL (2010), deben están ubicadas en los puntos altos más desfavorables de la red. Se constató la disposición de los hidrantes multivalvulares con boquillas para mangueras de 2 ½”, que como sugiere el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (CBCR, 2020), deben estar instalados en tubería principal de menor diámetro de 100 mm, diámetro mínimo recomendado indicado por MVCS (2023) y distanciados a más de 300 m, distancia máxima según MVCS (2023).

20. Se verificó el caudal de la fuente de abastecimiento, por lo mencionado por MVCS (2018), según criterio de ANA (2015), en temporada de estiaje para garantizar el caudal máximo diario como lo señala CEPIS (2005).
21. Se estimó la población usuaria del SAP San Miguel que de acuerdo con MAB (2004) y Alfaro y Rodríguez (2019), se tomó en cuenta los Censos Nacionales de Población y Vivienda realizados por INEI (2023), para la ciudad de San Miguel. Se calculó bajo

- los criterios de MOP (2019), Magne (2008) y MAB (2004); mediante la Ecuación 1 y Ecuación 2, indicadas por Aguirre (2015).
22. Por lo indicado por MVCS (2023), se identificaron los volúmenes de consumo de agua potable, clasificados por categoría en función a información proporcionada por la EPS SEDACAJ S.A, de acuerdo a la categoría de uso de las conexiones como lo señalan por Márquez y Ortega (2017) y SUNASS (2007).
  23. Se calculó el caudal promedio diario, mediante la Ecuación 10, indicada por MAB (2004). Se consideró un porcentaje por pérdidas en la red de distribución, indicado por EPS SEDACAJ S.A. (2023), aplicado en la Ecuación 9, mencionada por MAB (2004).
  24. Se calcularon los coeficientes de variación diaria (K1) y horaria (K2) de consumo, mediante la Ecuación 7 y Ecuación 8, indicadas por MVCS (2023). Para ello se hallaron el consumo máximo, consumo diario y horario, bajo el criterio de Rodríguez (2001). Luego, tales valores se compararon con los recomendados por MVCS (2023), ANDA (2014) y MAB (2005), que se muestran en la Tabla 4:Tabla 6.
  25. Se calcularon el caudal máximo diario y el caudal máximo horario, mediante la Ecuación 11 y la Ecuación 12, mencionadas por SANNA (2014) y MVCS (2018), se tuvo en cuenta el criterio de MSPAS (2011).
  26. La dotación per cápita se obtuvo por los registros de consumos por la micromedición de conexiones prediales de la red de distribución de la ciudad de San Miguel, y según la indicada por EPS SEDACAJ S.A. (2022), siendo contrastada con la dotación per cápita óptimo de OMS (2003) de  $100\text{hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$ .

**c) Evaluación hidráulica de los diferentes componentes del sistema de agua potable de la ciudad de San miguel**

27. Se consideró el caudal máximo diario como caudal diario de demanda del SAP San Miguel en la bocatoma, como lo mencionan MVCS (2023) y Mansen (s. f.), para estimar la ventana de captación mediante la Ecuación 13, mencionada por Mansen (s. f.).
28. De acuerdo a la visita de campo y por información de PROREGIÓN (2018), se verificó sus dimensiones, incluida la rejilla de protección. Se verificó la carga de agua en la ventana de captación y el tirante de agua en el canal de derivación.
29. Se estimó el caudal de ingreso en la ventana de captación, por medio de aforo con el método del flotador en el tramo recto del canal de derivación, según criterio de ANA (2015).
30. Además, se verificó la profundidad de agua en el barraje, como distancia desde el espejo de agua al punto inicial del perfil de barraje.
31. Respecto al canal de derivación, se tomó en cuenta el caudal máximo diario como caudal a derivar por el canal, según MVCS (2023), Asalde (2020) y ANA (2010).
32. Se calcularon los parámetros detallados en la Tabla 16, el tirante de agua, ancho de base y borde libre, indicados por Morales et al. (2019) y ANA (2010).

**Tabla 16:** Parámetros de cálculo del canal de derivación

Parámetro	Cálculo	Fuente
Tirante de agua en el canal	Ecuación 14 Figura 23	(ANA, 2010) y (Morales et al., 2019)
Ancho de la base	Figura 23	(Morales et al., 2019)
Borde libre	Ecuación 15 (U.S. Bureau of Reclamation) Tabla 8 (SRHM) Tabla 9 (Máximo Villón Béjar)	(ANA, 2010)

33. Se comparó con datos de la visita de campo y por información proporcionada por parte PROREGIÓN (2018).
34. Se verificó el caudal derivado por el canal de derivación, ya indicado por medio de aforo con el método del flotador, según criterio de ANA (2015).
35. Del desarenador, se calcularon la velocidad de flujo horizontal en el tanque y la de sedimentación, por los criterios indicados por MVCS (2023) y ANA (2010), como se detalla en la Tabla 17.

**Tabla 17:** Parámetros de cálculo de velocidades en el desarenador

Parámetro	Cálculo	Fuente
Velocidad de flujo horizontal en el tanque	Ecuación 16	(ANA, 2010)
Velocidad de sedimentación	Tabla 11 (Arkhangelski) Figura 25 (Sellerio) Ecuación 17 (Ownes) Ecuación 18 (Scotti – Foglieni)	

36. Por lo indicado por ANA (2010) y CEPIS (2005), se verificaron el tiempo de sedimentación, las dimensiones, la capacidad del tanque desarenador, ver Tabla 18. Y se compararon con los datos de campo y de PROREGIÓN (2018).

**Tabla 18:** Parámetros de cálculo del tanque desarenador

Parámetro	Cálculo	Fuente
Tiempo de sedimentación	Ecuación 20	(ANA, 2010)
Longitud del desarenador	Ecuación 21	
Ancho del desarenador	Ecuación 22	(CEPIS, 2005)
Volumen del agua conducido	Ecuación 23	(ANA, 2010)
Capacidad del tanque	Ecuación 24	

37. Del vertedero del desarenador, se estimó su longitud mediante la Ecuación 26, señalada por Villón (2007), contrastado con los datos de campo y lo señalado por PROREGIÓN (2018).

38. Se estimó el volumen de sedimentos atrapados en el tanque del desarenador, seccionando su tanque cada 0.50m, se estimó su área de cada sección, y se acumuló el volumen a lo largo del tanque.
39. Respecto a la línea de conducción, como lo indican MVCS (2023) y CEPIS (2004) se consideró al caudal máximo diario ya calculado, para verificar su diámetro.
40. Se determinaron el diámetro máximo y mínimo, a partir de la velocidad mínima y máxima recomendadas por MVCS (2023) y CEPIS (2004), de  $0.60\text{ms}^{-1}$  y  $5.00\text{ms}^{-1}$ , por medio de la Ecuación 27 y Ecuación 29, indicadas por Aguirre (2015) y MAB (2004), respectivamente.
41. En base a estos límites, se eligió el diámetro comercial según la Figura 76, de 144.60mm de diámetro interno (DN 160mm) para tubería PVC UF para alta presión clase 10, indicado por PROREGIÓN (2018), (presión de servicio: 10 bares  $\approx$  102m.c.a., ver Figura 75).
42. Luego se calculó la relación R/D por medio de la Ecuación 45 mencionada por Méndez (2012), tal resultado mayor de 2000, considerada como tubería larga y se tomó en cuenta las pérdidas de carga por fricción más no las pérdidas locales, como lo señala Méndez (2012).
43. Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción, inicialmente, para el diámetro seleccionado se calculó la velocidad, se utilizó la Ecuación 27 y Ecuación 28, indicadas por Aguirre (2015) y MAB (2004), respectivamente.
44. Luego, se calculó el número de Reynolds, con la Ecuación 40 indicada por Aguirre (2015), a partir de la velocidad calculada y la viscosidad cinemática del agua ( $15^{\circ}\text{C}$ ), ver Tabla 46.

45. Según este resultado el escurrimiento fue de tipo turbulento, por lo señalado por MAB (2004) y para el cálculo del factor de fricción por la Ecuación 39 y Ecuación 41 indicadas por MAB (2004) y Aguirre (2015), respectivamente. ver Tabla 14..
46. A partir de este factor, se calculó la pérdida de carga por fricción en la tubería por la Ecuación 35, indicado por Aguirre (2015).
47. Así, se graficó línea piezométrica estática y la línea de gradiente hidráulico.
48. Del reservorio, según lo señalado por Regal (2008) y Arocha (1997), a partir del caudal promedio diario y del caudal máximo diario, se calculó el volumen de almacenamiento (volumen de regulación, volumen contra incendio y volumen de reserva).
49. Parámetros detallados en la Tabla 19, indicados por Bayona (2021), Vierendel (2009), Regal (2008), Magne (2008), MAB (2004), CEPIS (2004) y Arocha (1997); mencionar que, para el volumen contra incendio, se utilizó un tiempo de duración de incendio indicado por ANDA (2014) y Regal (2008), de 2hr. Además, los valores resultantes se contrastaron con la información de PROREGIÓN (2010).

**Tabla 19:** Parámetros de cálculo del reservorio

Parámetro	Cálculo	Fuente
Volumen de almacenamiento	Ecuación 47	(Regal, 2008)
Volumen de regulación	Ecuación 48 Ecuación 49	(Vierendel, 2009) (MAB, 2004)
Volumen contra incendio	Ecuación 50 Ecuación 51	(MAB, 2004)
Volumen de reserva	Ecuación 52 Ecuación 53	(Vierendel, 2009)

50. Con el fin de verificar la capacidad de almacenamiento del reservorio, se registraron los niveles de agua por hora y se graficó el volumen disponible en el reservorio.
51. Respecto a la red de distribución, se modeló la red de distribución mediante el software EPANET V2.20, así se verificó las presiones y velocidades, como lo indica

rangos recomendados por MVCS (2023), ICAA (2017) y Magne, (2008), de 10 m.c.a. y 50 m.c.a. y velocidades de entre  $0.60\text{ms}^{-1}$  y  $3.00\text{ms}^{-1}$ , según MVCS (2023), SEDAPAL (2010) y CEPIS (2005).

52. A partir de la información proporcionada por EPS SEDACAJ S.A. y por presiones de servicio registradas en conexiones prediales, se verificaron las presiones en las conexiones prediales registradas, en referencia a la presión mínima y presiones máximas recomendadas por MVCS (2023), SEDAPAL (2010), CEPIS (2005) y ANDA (2014).

**d) Evaluación de la calidad del agua que produce el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel**

53. Se evaluó la calidad del agua del SAP San Miguel, por lo recomendado por MVCS (2023) y MVCS (2018), para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano del Ministerio de Salud del Perú (MINSa, 2010) y los ECA para cuerpos de agua según el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2017). En base a la información proporcionada por la EPS SEDACAJ S.A., la Micro Red de Salud San Miguel y la DIRESA Cajamarca, estando EPS SEDACAJ S.A., como proveedor del suministro del agua potable, estuvo en la obligación de realizar el control de calidad del cumplimiento de los LMP de acuerdo a los PCO y Parámetros Adicionales de Control Obligatorio (PACO) establecidos por MINSa (2010).

54. A partir de los reportes de calidad del agua cruda del SAP San Miguel, en función a los ECA del agua cruda, indicados por MINAM (2017) para la categoría del cuerpo de agua según PROREGIÓN (2018), se analizaron parámetros físicos-químicos

como cloruros, color, conductividad, dureza, nitratos y sulfatos, y su cumplimiento con los LMP. Del agua tratada, se analizó el cumplimiento con PCO y PACO.

55. En base a la información proporcionada por la EPS SEDACAJ S.A., por el registro a partir de la medición de parámetros en campo y por los resultados de análisis de laboratorio, en función a lo indicado por MINAM (2017) y MINSAL (2010), al respecto.
56. Se midieron parámetros de la calidad del agua, en campo y por los resultados de análisis de laboratorio, en función a lo indicado por MINSAL (2010). Al respecto, se tuvo en cuenta la información de la EPS SEDACAJ S.A. Administración San Miguel.
57. De acuerdo a lo indicado por la Micro Red de Salud San Miguel, se verificó que la medición de parámetros básicos de campo, según el Programa de Vigilancia de la Calidad de Agua para Consumo Humano – PVICA, como pH, turbiedad, conductividad, coliformes, y de residual de desinfectante.
58. Se verificó lo señalado por MINSAL (2010), quien menciona a la DIRESA como la encargada de vigilar y consolidar la información de la calidad de agua en su jurisdicción.

#### **3.4.2.3. Etapa final**

59. Se establecieron las conclusiones, según los objetivos planteados en función a los resultados obtenidos más resaltantes.
60. Se consideraron ciertas recomendaciones, consideradas necesarias en relación al problema de la presente investigación.

### **3.5. Población, muestra y unidad de análisis**

#### **- Población**

La población de la presente investigación fue el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel – Cajamarca.

#### **- Muestra**

Para la investigación, la muestra considerada fue el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel - Cajamarca

#### **- Unidad de análisis**

Sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel - Cajamarca

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron los siguientes instrumentos para poder reunir los datos de campo, que a continuación se detallan:

#### **- Libreta de campo**

En la libreta de campo se registraron los datos necesarios del estado actual de los distintos componentes del SAP, por medio de la observación directa y medición.

#### **- Aforo de caudal**

Con el fin de estimar el caudal en el Río El Carrasco (fuente de abastecimiento) y en el canal de derivación, se realizaron aforos por el método del flotador.

- **Registro de micromedición**

Para evaluar el consumo diario y horario de agua por parte de los usuarios, se registró el volumen de consumo en micromedidores en un total de 20 conexiones prediales.

- **Registro de presiones**

Con el uso de un manómetro, se registro la presión del agua en diferentes puntos de la red de distribución en conexiones prediales, de las cuales se analizaron las presiones máximas, mínimas y promedio de acuerdo a lo registrado.

- **Muestras de agua**

Se tomaron muestras de agua perteneciente a la red de distribución en puntos estratégicos, al inicio, al centro y al final, para posteriormente analizar sus parámetros de control obligatorios.

- **Registro de turbiedad, pH y cloro residual libre**

Se tomaron muestras de agua de la red de distribución, uno a la salida del reservorio, el segundo en la parte intermedia y el tercero en la parte más baja de la red de distribución, haciendo uso de turbidímetro, pH-metro y clorímetro.

- **Modelamiento en EPANET**

Se modeló la red de distribución en EPANET V2.20 para obtener las presiones en la red de distribución del SAP San Miguel.

Para esto a continuación, se detallan los materiales: manómetro, cronómetro, cámara fotográfica, memoria USB, laptop ASUS K501UX.

### **3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

El procesamiento y análisis de la información se realizó utilizando la técnica descriptiva, en lo cual se describen los aspectos relacionados al sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel – Cajamarca, en este sentido, a continuación, se detallan los programas utilizados: Software AutoCAD 2023, MS Office 2023, HCANALES V3.1., EPANET V2.20.

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Presentación de resultados**

Se procedió a presentar los resultados obtenidos de la caracterización de la ciudad de San Miguel, caracterización del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel, evaluación hidráulica de los diferentes componentes del sistema de agua potable y evaluación de la calidad de agua que produce el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel; como se muestra a continuación:

#### **4.1.1. Caracterización de la ciudad de San Miguel**

La ciudad de San Miguel, como señala MPSM (2021), es una ciudad ubicada en la sierra norte del Perú, capital del distrito de San Miguel y a la vez de la provincia homónima en el departamento de Cajamarca. De acuerdo con MPSM (2023), en el año 1871, por Resolución del Congreso Nacional, promulgada por el Presidente de la República, don José Balta y Montero, le concedió el título de ciudad. Esta ciudad se ubica en la parte más baja de la región quechua a orillas del río San Miguel, a 2.665 msnm presenta un clima primaveral con una temperatura media de 14.8°C al año. Según MPSM (2021), con invierno frío y verano intensamente lluvioso en los meses de enero, febrero y marzo, además por encontrarse en plena ladera, presenta intensas neblinas entre los meses de octubre a mayo.

La ciudad de San miguel se encuentra a sólo 116 km de la ciudad de Cajamarca, El acceso a la ciudad de San Miguel, como menciona MPSM (2021), es mediante una vía asfaltada que la conecta a la ciudad capital de Cajamarca, a ciudades como Pacasamayo y Chepén, para esto del distrito de Chilate, del Km90 de la carretera Ciudad de Dios, se toma un desvío hacia la carretera Chilate-San Pablo-San Miguel, y a 56km se encuentra la ciudad

de San Miguel, además otra vía de acceso es la que comunica la ciudad de Cajamarca-San Pablo-San Miguel, de 110Km.

**Figura 34:** Iglesia de San Miguel Arcángel

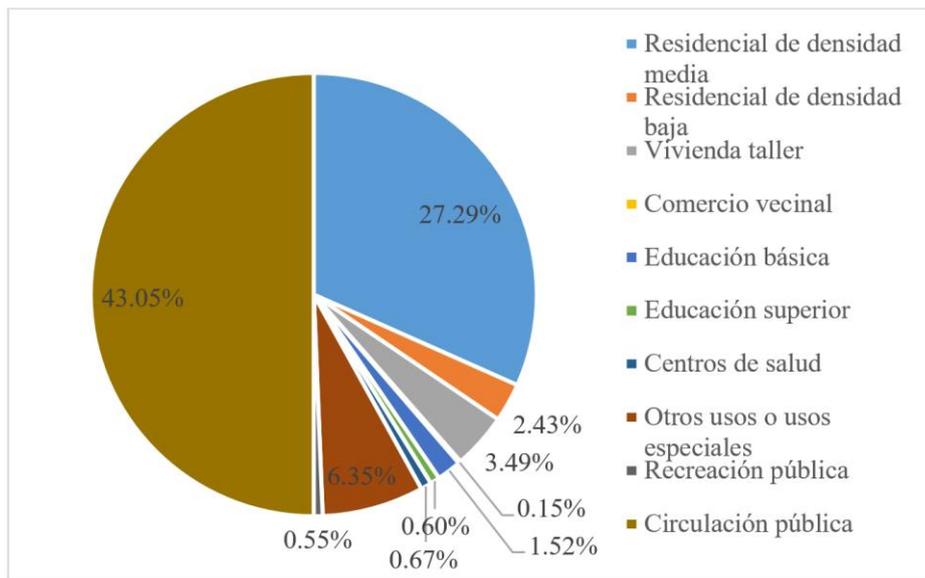


En la ciudad de San Miguel, MPSM (2021) menciona que, a los alrededores de la plaza de armas se encuentran los principales establecimientos gubernamentales y religiosos de San Miguel, incluyendo su Iglesia Matriz, Iglesia de San Miguel Arcángel, ver Figura 34, la iglesia en adobe más alta del país, que cuenta con una torre única elevada a 40 m, netamente de adobe, presenta a la bella imagen del Santo Patrono sobre el demonio clavado por la espada de la redención, de allí que a los habitantes de la ciudad de San Miguel se los conoce como "los pisadiablos". Otro atractivo de San Miguel es su Plaza de Toros, que tiene una capacidad para cerca de 2,500 personas.

La ciudad de San Miguel, según la Sub Gerencia de Gestión Territorial y Urbano, cubre una superficie de 74.50ha, con zonas, como la zona residencial de densidad media de 20.33ha (27.29%), una zona residencial de densidad baja de 1.81ha (2.43%) , zona de vivienda taller de 2.60ha (3.49%), zona de comercio vecinal de 0.11ha (0.15%), zona de educación básica de 1.13ha (1.52%), zona de educación superior de 0.45ha (0.60%), zona

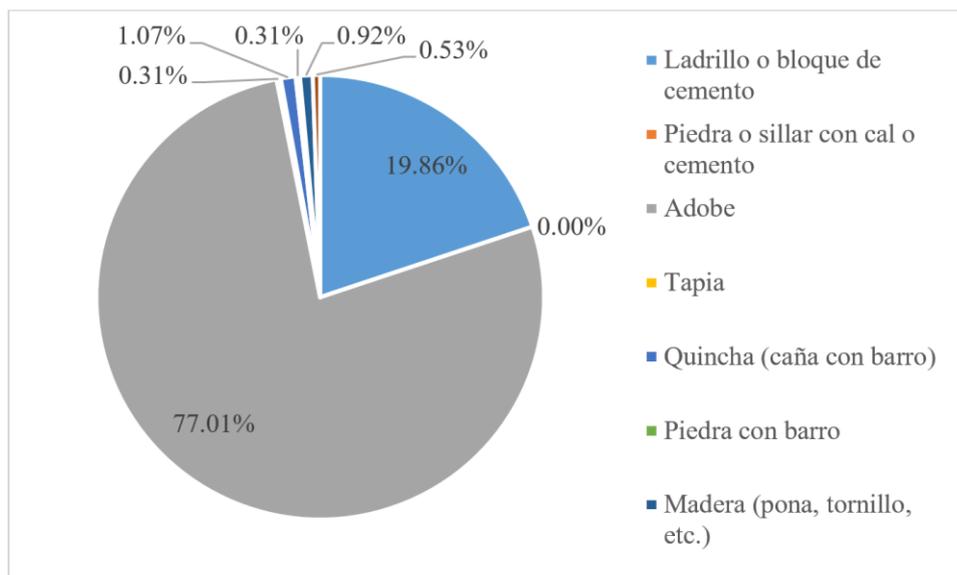
de centros de salud de 0.50ha (0.67%), zona de otros usos o usos especiales de 4.73ha (6.35%), zona de recreación pública de 0.41ha (0.55%) y un área de circulación pública de 42.43ha (43.05%).

**Figura 35:** Zonas del territorio de la ciudad de San Miguel



Fuente: Sub Gerencia de Gestión Territorial y Urbano

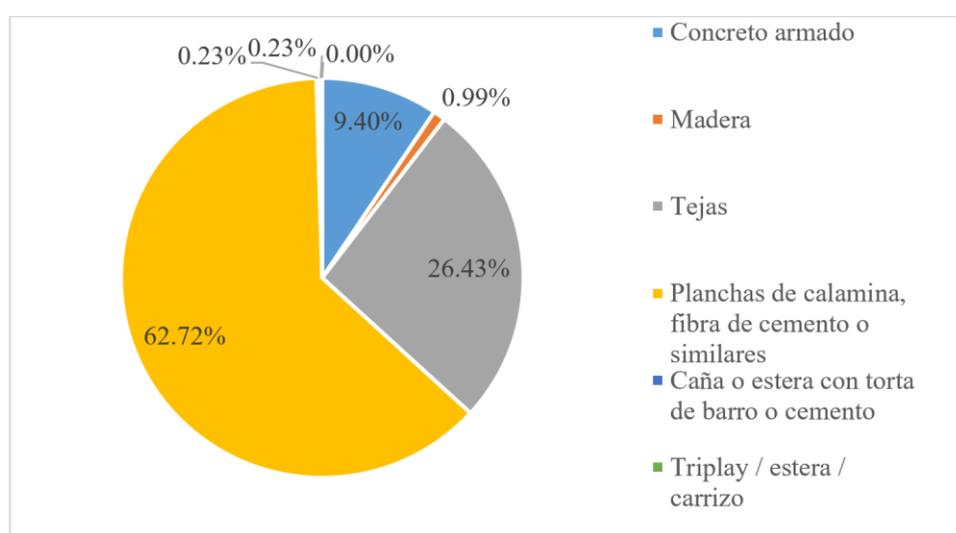
**Figura 36:** Material de construcción predominante en las paredes exteriores de la vivienda de la ciudad de San Miguel



Fuente: (INEI, 2023)

Como señala MPSM (2021), las edificaciones en la ciudad de San Miguel, por lo general son de dos niveles, que en gran parte, presentan balcones y techadas con calamina o tejas de color ocre o calamina, como señala INEI (2023). Además, en su mayoría, las construcciones son de material rústico, como el adobe de acuerdo con el Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 de acuerdo con INEI (2023).

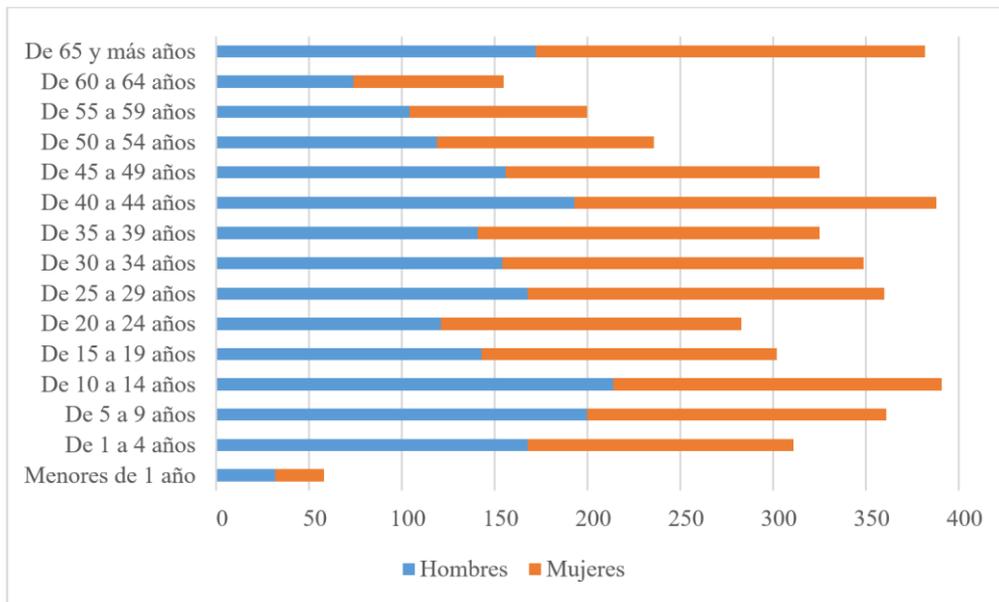
**Figura 37:** Material de construcción predominante en los techos de la vivienda de la ciudad de San Miguel



Fuente: (INEI, 2023)

De acuerdo a los Censos Nacionales de Población y Vivienda realizados por INEI (2023), en los años 1993, 2005, 2007, 2017; la ciudad de San Miguel experimentó una tendencia de incremento de 2264 a 4426 habitantes. Según MPSM (2023), la población de San Miguel también está sufriendo corrientes migratorias internas hacia la ciudad de San Miguel y otros lugares como Lima, La Libertad, Lambayeque y San Martín.

**Figura 38:** Población por edades simples y sexo de la ciudad de San Miguel, 2017



Fuente: (INEI, 2023)

De servicios públicos, según MPSM (2022) la ciudad de San Miguel cuenta con suministro de agua potable y alcantarillado, limpieza pública y gestión de residuos sólidos, electricidad y telecomunicaciones. Como señala MPSM (2022), el sistema de agua potable y el sistema de alcantarillado que prestan servicio a la población de la ciudad de San Miguel, lo administra, opera y mantiene la EPS SEDACAJ S.A.

Indica además, la MPSM (2022) que, de los servicios como el barrido y limpieza de espacios públicos, el servicios de recolección y transporte de residuos sólidos municipales, su gestión están a cargo de por parte de la Municipalidad Provincial de San Miguel, que segrega los residuos sólidos para una disposición final en relleno sanitario en un área aledaña a la ciudad de San Miguel. En cuanto a las telecomunicaciones, MPSM (2021) indica que, la ciudad de San Miguel cuenta con servicio eléctrico suministrado por la EPS HIDRANDINA S.A., ciudad que está conectada vía microondas con la red departamental de telecomunicaciones mediante transmisión satelital, la cobertura comprende servicios de telefonía, internet y cable satelital.

**Figura 39:** Actividades comerciales en la ciudad de San Miguel



La economía en la ciudad de San Miguel, según la MPSM (2021), se caracteriza por estar dedicada a actividades económicas terciarias, en servicios y comercio, como el comercio familiar, bodegas, boticas, carpinterías, panaderías, artesanía textil, etc., ver Figura 39.

**Figura 40:** Actividades agropecuarias próximas a la ciudad de San Miguel



Como indica MPSM (2023), las principales actividades económicas son la producción agrícola y pecuaria en pequeña escala, la producción agrícola en San Miguel se basa al cultivo de maíz, trigo, papa blanca y olluco, y la actividad pecuaria predominante es la crianza de ganado vacuno, producción de derivados lácteos, venta de carne como actividades familiares destinadas a generar ingresos económicos, ver Figura 40.

#### 4.1.2. Caracterización del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel

El SAP San Miguel, como lo indica SUNASS (2019), es un sistema de agua potable por gravedad, con el Río El Carrasco, como fuente de abastecimiento. Según EPS SEDACAJ S.A. (2023) y SUNASS (2019), la continuidad del servicio del SAP San Miguel es de 24 horas al día, ver Figura 65. EPS SEDACAJ S.A., según PROREGIÓN (2018), es la entidad prestadora de servicios de saneamiento encargada de la administración del SAP San Miguel desde el año 2013, mediante su órgano desconcentrado de Administración de Servicios Locales San Miguel, ver Figura 41, Figura 68.

**Figura 41:** EPS SECACAJ S.A. Administración San Miguel



El SAP San Miguel, como indica PROREGIÓN (2018), cuenta con Acreditación de Disponibilidad Hídrica mediante Resolución Administrativa N° 085-2018 ANA-AAA JZ.V.ALA.J por parte de ANA del 01 de marzo de 2018 por un periodo de dos años, ver Figura 67, con licencia de uso de agua de  $346896 \text{ m}^3\text{año}^{-1}$  ( $11 \text{ ls}^{-1}$ ) del Río El Carrasco. EPS SEDACAJ S.A. indica que, ésta es la acreditación de disponibilidad hídrica más reciente con la que cuenta el SAP San Miguel.

Como señala EPS SEDACAJ S.A. (2023), la bocatoma, canal de derivación, desarenador y línea de conducción fueron construidos en el año 2018, en el proyecto realizado por PROREGIÓN del Gobierno Regional de Cajamarca (PROREGION): “Construcción Captación de Línea de Conducción Santa Rosa, como meta del proyecto de Inversión Pública: Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de San Miguel, con código SNIP N°58537”, tales componentes entraron en funcionamiento en el año 2020.

**Figura 42:** Bocatoma del SAP San Miguel



La bocatoma, estructura de captación del SAP San Miguel, ubicada en las Coordenadas UTM 17M: Este 737833.26, Norte 9229950.71, altitud 2811.14m. En el caserío Riopampa, distrito de Calquis, provincia de San Miguel. En contraste con la visita realizada a campo y además por información de PROREGIÓN (2018), la bocatoma del SAP San Miguel presenta las siguientes características:

**Tabla 20:** Características de la bocatoma del SAP San Miguel

Parte	Descripción
Ventana de captación	Sección (0.40m x 0.40m) Desnivel desde el fondo del canal de limpia (0.50m) Altura de seguridad por oleaje (0.50m) Ver Figura 52, Figura 98b, Plano CC-01
Rejilla	Barrotes de acero corrugado no revestido de 3/8", espaciados a 4.45cm (8 verticales y 8 horizontales) Ver Figura 52, Figura 98b, Plano CC-01
Canal de limpia	Perpendicular al eje del barraje Flujo paralelo al río Cota final coincide con la del colchón disipador Ancho (1.00m) Pendiente longitudinal (1.4 %) Ver Figura 99b, Plano CC-01
Barraje	Perfil tipo Creager Longitud (2.82m) Ancho de encauzamineto (5m) Altura del fondo (1.40m) Altura total (1.60m) Ver Figura 98a, Figura 99b, Plano CC-01
Colchón disipador	Longitud (3.40m) Ver Figura 99c, Plano CC-01
Escollera	Longitud (2.00m) Ver Figura 99b, Plano CC-01

Así mismo, el encauzamiento aguas arriba presentaba sedimentación de material en el fondo del río, a lo largo de 15m, alcanzando una altura de 0.30m por debajo del punto inicial del perfil del barraje, ver Figura 42, Figura 98a, Figura 99a; se observó la presencia de material flotante interceptado en los barrotes de la rejilla, ver Figura 52, Figura 113, Figura 115; la cual no sobresale de la cara del muro; la compuerta del canal limpia presentó fugas del flujo de agua por la parte superior, ver Figura 99b, la superficie superior del barraje al igual que la del colchón disipador, presentaban materiales extraños, ver Figura 99a, presenta un desnivel aproximado de 1.10m entre la cota final de la escollera y el fondo del río aguas abajo de la bocatoma, ver Figura 99a; los muros laterales de la bocatoma estuvieron libres de fisuras, desplazamientos y/o asentamientos, sin embargo, la parte final del muro del margen derecho (en dirección al flujo del río), presentaba destrucción en la parte inferior del concreto armado, estando expuesto el acero

de refuerzo al contacto con el agua, a lo largo de 1.00m y una profundidad aproximada de 0.35m, cabe mencionar que también se observó grasa lubricante en el eje de elevación de las compuertas tanto del canal de limpia como del de la ventana de captación, éstas estuvieron cubiertas por pintura anticorrosiva deteriorada, ver Figura 99c.

**Figura 43:** Canal de derivación del SAP San Miguel



Respecto al canal de derivación, de acuerdo a PROREGIÓN (2018) y a la visita realizada a campo, este tiene una sección rectangular, de concreto de superficie pulida tanto en el fondo como en las paredes, el cual tiene un ancho de base de 0.40m, una altura uniforme de 0.50m, presenta un tramo inicial curvo de 2.60m y un tramo final recto de 1.90m, ver Figura 43, Figura 100; con una pendiente longitudinal de 2.31%, ver Plano DC-01; mencionar que, éste no presentaba fisuras, agrietamientos o desplazamiento en sus paredes laterales, ni erosión o sedimentación en el fondo, sin embargo tuvo restos de vegetación en su corona, ver Figura 100, Figura 114.

El desarenador, de acuerdo a lo observado en la visita a campo y como señala PROREGIÓN (2018) presenta las características mostradas en la Tabla 21, además en las paredes laterales no se observaron fisuras o agrietamientos, se presenció humedecimiento localizado, se observó fuga de agua por la parte inferior y superior de la compuerta de

lavado, ver Figura 101c, y también rebosamiento por la parte superior de su estructura, además su eje de elevación presentaba grasa lubricante.

**Tabla 21:** Características del desarenador del SAP San Miguel

Parte	Descripción
Transición	Longitud de transición (1.53m) Ángulo de divergencia (12.5°) Ver Figura 44, Plano DC-01
Tanque	Largo (12.00m) Ancho (1.00m) Profundidad inicial (1.90m) y final (1.92m) Pendiente de caída del fondo (0.2%) Ver Figura 44, Figura 56, Figura 101a, Plano DC-01
Vertedero de salida	Longitud (0.30m) Altura (0.60m) Espesor de pared (0.10m) Ver Figura 84b, Figura 101b, Plano DC-01
Aliviadero lateral	Longitud (0.60m) Altura (0.30m) Ver Figura 44, Plano DC-01
Compuerta de lavado	Sección (0.40m x 0.40m) Profundidad inferior (1.92m) Ver Figura 101c, Plano DC-01

**Figura 44:** Desarenador del SAP San Miguel



La línea de conducción del SAP San Miguel, de acuerdo a la visita de campo y por información de PROREGIÓN (2018) inicia a la salida del desarenador, ver Figura 101a, con las Coordenadas UTM 17M: Este 737858.44, Norte 9229952.19, altitud 2810.44m y

finaliza al ingreso de la PTAP, con las Coordenadas UTM 17M: Este 737006.51, Norte 9225914.15, altitud 2696.17m, con un diámetro uniforme DN 160mm, ver Figura 45, Figura 103a, con una longitud total de 6590.012m, compuesta de 6535.012m por PVC C-10 UF y 55.00m de HDPE C-10 (3 pases aéreos), cuenta con 4 válvulas de purga de 2” de diámetro, ubicadas en los puntos bajos de la línea de conducción, éstas no mostraron signos de haber sido lubricadas, de las cuales una de las cámaras se encontraba oculta bajo el material de la vía terrestre por la que pasa la línea de conducción, ver Figura 103b, y 5 válvulas de aire de polipropileno de 1” de diámetro, ubicadas en los puntos altos de la línea, ver Figura 103c, éstas no presentaron signos de fugas de agua, de acuerdo al perfil de la línea de conducción esta presenta dos tramos con pendiente de 42.61% (Km:1+563.564-Km:1+612.589) y 57.44% (Km:1+659.999-Km:1+677.106), ver Figura 102b.

**Figura 45:** Línea de conducción del SAP San Miguel



El reservorio del SAP San Miguel fue construido por PROREGION en el año 2013, según PROREGIÓN (2010) y la visita de campo, el cual está ubicado al noreste de la ciudad de San Miguel, en las Coordenadas UTM 17M: Este 737082.91m, Norte 9225866.48m, altitud 2660.46m, tiene un volumen de almacenamiento de 210m<sup>3</sup> al respecto es

importante mencionar que es un reservorio circular apoyado, ver Figura 46, Figura 104; tiene un diámetro interno de 8.80m, una altura interna de 3.87m, una altura útil de 3.50m y un borde libre de 0.37m antes de su cúpula, ver Plano RP-01, Plano RP-02. En su pared lateral exterior presentó una fisura longitudinal en su diámetro a una altura de 1.50m desde su vereda, que no tenía filtraciones de agua, ver Figura 104a. El reservorio tiene una pendiente de fondo de 1% hacia el punto de limpieza, así mismo cuenta con una tapa de ingreso sanitaria de 0.60m de lado, ver Figura 104c, y una escalera marinera, la cual presentaba oxidación en su superficie, ver Figura 105a. Como indica PROREGIÓN (2010) y por la visita de campo, el reservorio tiene dos tuberías de ventilación en forma de “U” invertida de HFD 100mm (4”), ver Figura 104b, su salida se encuentra a una altura de 0.25m de la pared superior de la cubierta, pintura de la cual estuvo deteriorada.

**Figura 46:** Reservorio del SAP San Miguel



Así mismo, la tubería de ventilación no presentaba ninguna protección contra el acceso y presentaba signos de deterioro por corrosión; en la caseta de válvulas, ver Figura 104b; se tiene la tubería de entrada, salida, by-pass, rebose y de limpieza de HFD de 100mm (4”); con sus válvulas correspondientes tipo compuerta de HFD de 100 mm (4”) las cuales no presentaban signos de lubricación o aceitado, la embocadura de la tubería de entrada

y salida están orientados en la misma posición al interior del reservorio, ver Plano RP-01, la tubería de salida se encuentra a una altura de 0.38m del fondo del reservorio, tiene una canastilla la cual está a 45mm de distancia de la pared interna del reservorio, la canastilla de la tubería de salida tiene una longitud de 150mm, con ranuras de 14.4mm espaciadas a 24.5 mm. Así mismo, el reservorio tiene una cámara de limpieza con un desnivel de 0.45 m desde el fondo del reservorio y desde su superficie, dispuesta la tubería de limpieza, la cual no contaba con alguna protección en su descarga, ver Figura 105c, conectada a una cámara la cual deriva el agua a la red de alcantarillado mediante una tubería de 110 mm, ver Plano RP-02.

Por otro lado, respecto a la red de distribución, EPS SEDACAJ S.A. (2023), menciona que la red de distribución del SAP San Miguel, es una red mixta con una forma de distribución por gravedad; rehabilitada y ampliada en el año 2012. SUNASS (2019) indica que, la red matriz presentaba una antigüedad de hasta 10 años y en redes secundarias de 4", de hasta 25 años, ver Tabla 22.

**Tabla 22:** Tubería de la red de distribución del SAP San Miguel

Diámetro plg (mm)	Longitud acumulada de tubería PVC UF por rango de años de antigüedad (m)							Total por diámetro
	0 -5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30	31 a más	
6 (160)	0	562 1082.20	0	0	0	0	0	562.00
4 (110)	0	4238.10	0	1210.80	889.90	0	0	3182.80
3 (90)	0	6914.10	0	0	0	0	0	4238.10
2 (63)	1446.60	12796.4	0	0	27.50	0	0	8388.10
Total	1446.60	0	0	1210.80	917.40	0	0	16371

Fuente: (SUNASS, 2019)

De acuerdo a la visita a campo realizada y según información de PROREGIÓN (2010), la red de distribución presenta 43 válvulas de aislamiento en tuberías principales de DN 63mm, DN 90mm, DN 110mm y DN160 mm, ubicadas en la red matriz y en redes

secundarias, ver Figura 106a. Cada unidad de uso consta de su conexión predial, constando de un sistema de tubería de conexión, válvulas de interrupción del flujo, medidor de consumo, accesorios para la instalación y caja de protección del medidor. El diámetro de la tubería en las conexiones prediales es de DN 12.50mm en su totalidad, ver Figura 109. Las válvulas de purga, están ubicadas en los puntos más bajos, en los extremos finales de redes secundarias de DN 63 mm y DN 90 mm, y son un total de 16 unidades, ver Figura 106b,c; una de las cuales presentaba fugas de agua, dos cámaras de válvulas de purga estuvieron cubiertas. La red de distribución cuenta con 03 válvulas reductoras de presión, una de 6" (DN 160 mm) ubicada a una cota de 2610.00m, otra de 4" (DN 110mm) a una cota de 2617.40m, y una tercera de 4" (110mm), a una cota de 2571.50m, todas contaron con una línea auxiliar, ver Figura 107a,b; que según PROREGIÓN (2010), operaban a una presión de ingreso de 50 m.c.a. y 15 m.c.a. de salida. Se tienen 06 hidrantes de la red de distribución, ver Figura 107c, todos con tubería de subida de 100mm, multivalvulares con boquillas para mangueras de 2 ½", ubicadas en tuberías principales de DN 90mm y DN 110mm, mencionar que, las superficies móviles estuvieron lubricadas, y una de las tapas de boquilla de un hidrante estuvo inoperativa por ser imposible su apertura. La red de distribución está dotada con 02 válvulas de aire, ambas de 1", en tuberías principales DN 63 mm, en las cotas 2653.20m y 2651.90m, ver Figura 108, las cuales no presentaron fugas de agua. Así mismo, EPS SEDACAJ S.A. (2023) menciona que, en la parte baja de la red de distribución se tienen antecedentes de roturas ocasionales de tubería, ver Figura 84d. Por otro lado, SUNASS (2019) indica que, las presiones en la red eran mayores a 5 m.c.a. Según PROREGIÓN (2010), estas presiones estuvieron entre 10 m.c.a. y 50 m.c.a., la red de distribución tuvo una presión de servicio promedio de 33.35 m.c.a., ver Figura 66, según EPS SEDACAJ S.A. (2023).

Al realizar el aforo de la fuente de abastecimiento del SAP San Miguel, el Río El Carrasco, con la finalidad de conocer la garantía de derivar el caudal máximo diario en temporada de estiaje, como indica CEPIS (2004). A lo cual, según indica E.P.S SEDACAJ S.A. (2022), el período de estiaje se extiende del mes de junio a setiembre. En este sentido, se aforó el caudal del Río El Carrasco, en el mes de agosto, en días que se muestran en la Figura 47, del punto de estudio ubicado en las Coordenadas UTM 17M: Este 737694, Norte 9229987, a unos 150m aguas arriba de la bocatoma del SAP San Miguel, ver Figura 47. Se aforó mediante el método del flotador, aforo realizado en un tramo recto del río de 4.50m de longitud, como señala ANA (2015), de este modo para el cálculo del caudal se estimó con un factor de corrección de 0.65 para arroyos pequeños, según ANA (2015), ver Figura 96, Figura 97. De este modo, se obtuvo un caudal promedio de  $0.0933 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ( $93.32 \text{ ls}^{-1}$ ).

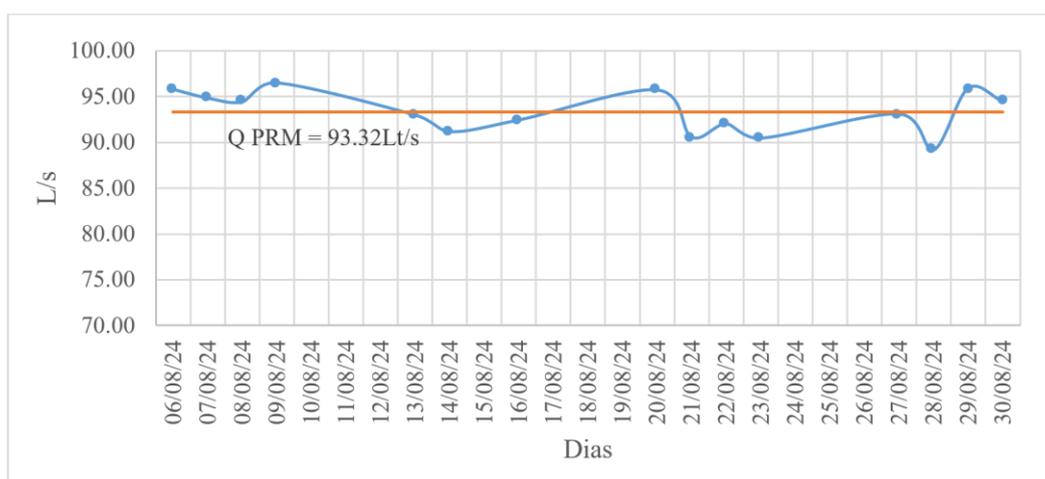
**Figura 47:** Aforo de caudal del Río El Carrasco



**Tabla 23:** Aforo de caudal del Río El Carrasco

Fecha	Ar (A-A') m <sup>2</sup>	Ar (B-B') m <sup>2</sup>	Ar (PRM) m <sup>2</sup>	Tiempo						Vel. ms <sup>-1</sup>	Caudal		
				Intentos							PRM	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	ls <sup>-1</sup>
				12.52	12.24	11.92	12.38	11.84	12.18				
06/08/24	0.3955	0.4023	0.3989	12.52	12.24	11.92	12.38	11.84	12.18	0.37	0.0958	95.79	
07/08/24	0.3955	0.4023	0.3989	11.49	13.37	12.74	11.73	12.18	12.30	0.37	0.0948	94.84	
08/08/24	0.3846	0.3901	0.3874	11.34	12.75	11.96	12.75	11.20	12.00	0.38	0.0944	94.42	
09/08/24	0.3955	0.4023	0.3989	12.73	11.78	12.20	11.14	12.61	12.09	0.37	0.0965	96.49	
13/08/24	0.3742	0.3780	0.3761	12.23	12.36	11.38	11.20	11.97	11.83	0.38	0.0930	93.00	
14/08/24	0.3742	0.3780	0.3761	11.87	11.77	11.90	12.00	12.78	12.06	0.37	0.0912	91.19	
16/08/24	0.3742	0.3780	0.3761	11.45	12.23	11.15	12.57	12.09	11.90	0.38	0.0925	92.46	
20/08/24	0.3846	0.3901	0.3874	12.92	11.52	11.65	11.67	11.42	11.84	0.38	0.0957	95.73	
21/08/24	0.3846	0.3901	0.3874	12.21	12.08	12.54	12.62	13.08	12.51	0.36	0.0906	90.60	
22/08/24	0.3742	0.3780	0.3761	11.53	12.48	11.24	12.19	12.31	11.95	0.38	0.0921	92.05	
23/08/24	0.3846	0.3901	0.3874	11.53	13.15	12.45	12.24	13.24	12.52	0.36	0.0905	90.48	
27/08/24	0.3742	0.3780	0.3761	12.36	11.31	11.28	11.37	12.75	11.81	0.38	0.0931	93.11	
28/08/24	0.3742	0.3780	0.3761	12.22	12.45	13.07	11.76	12.17	12.33	0.36	0.0892	89.19	
29/08/24	0.3955	0.4023	0.3989	11.41	12.81	11.94	11.73	12.94	12.17	0.37	0.0959	95.91	
30/08/24	0.3846	0.3901	0.3874	11.87	11.77	11.90	13.22	11.20	11.99	0.38	0.0945	94.48	
PROMEDIO											0.0933	93.32	

**Figura 48:** Aforo de caudal del Río El Carrasco



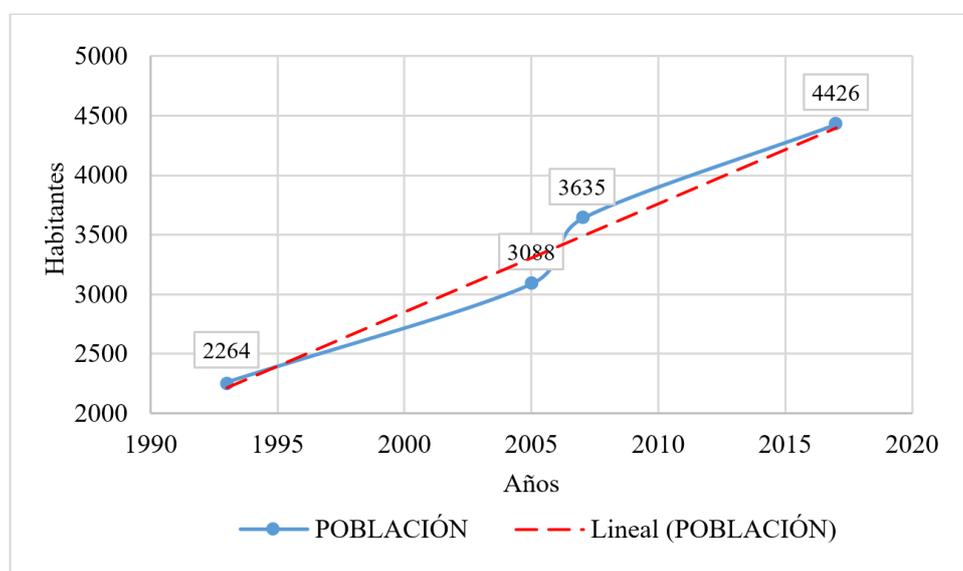
Por otro lado, con el fin de estimar la población usuaria del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel, a partir de los Censos de Población y Vivienda realizados por INEI (2023), en los años 1993, 2005, 2007, 2017, organizados en la Tabla 24.

**Tabla 24:** Número de habitantes de la ciudad de San Miguel, INEI

Censo	Número de habitantes
1993	2264
2005	3088
2007	3635
2017	4426

Fuente: (INEI, 2023)

**Figura 49:** Número de habitantes de la ciudad de San Miguel, INEI



En contraste con Vierendel (2009), el comportamiento del crecimiento poblacional mostrado en la Figura 49, la ciudad presentaba un franco crecimiento poblacional, por lo cual, en base a lo indicado por Espinel et al. (2014) para la estimación de la población, se aplicó el método aritmético. Así, en función al número de habitantes, se consideró lo mencionado por MAB (2004) en la Tabla 1. Se aplicó la Ecuación 2, según los datos de la Tabla 24, para cada periodo de tiempo intercensal, ver Tabla 25.

**Tabla 25:** Tasa de crecimiento por el método aritmético

Censo	Población	Pf-Pi	Tf-Ti	r
1993	2264			
2005	3088	824	12	68.67
2007	3635	547	2	273.50
2017	4426	791	10	79.10

Y según lo señalado por Vierendel (2009), se halló el promedio al calcular la tasa de crecimiento y se obtuvo el valor final de 140.12. Se estimó la población, para ello se aplicó la Ecuación 1, respecto al año 2022. A partir de la Tabla 26, se calculó una población para el año 2022 de 5128 habitantes en la ciudad de San Miguel.

**Tabla 26:** Población para el año 2022

Año	Población	Habitantes
2017	Pi	4426
2022	Pa	5128

Para la determinación de los volúmenes de consumo, de acuerdo a lo indicado por SUNASS (2007) y por la información proporcionada por EPS SEDACAJ S.A. El sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel, presenta los siguientes datos sobre el volumen de consumo anual del año 2022, de lo que se calculó el volumen de consumo por categoría de uso en  $ls^{-1}$ .

**Tabla 27:** Volumen de consumos del SAP San Miguel

Categoría	Consumos	
	$m^3año^{-1}$	$ls^{-1}$
Doméstico	145329	4.61
Social	0	0
Comercial	43854	1.39
Industrial	2504	0.08
Estatal	12975	0.41

Fuente: EPS SEDACAJ S.A.

Así mismo, en el 2022, el SAP San Miguel presentó un total de 1615 conexiones activas, mostradas de acuerdo a su categoría de uso en la Tabla 28.

**Tabla 28:** Conexiones activas por categoría del SAP San Miguel

Categoría	Conexiones activas
Doméstico	1340
Social	0
Comercial	233
Industrial	11
Estatal	31

Fuente: EPS SEDACAJ S.A.

Por otro lado, en función a la Tabla 27, de acuerdo a lo mencionado por MAB (2004) para estimar el caudal promedio diario, se utilizó la Ecuación 10. A lo cual, EPS SEDACAJ S.A. (2022) contemplaba un porcentaje por pérdidas en la red de distribución del sistema de agua potable de 20%, considerado en la Ecuación 9.

$$Q_{subtotal} = Q_{dom} + Q_{soc} + Q_{com} + Q_{ind} + Q_{est} = 4.61 + 0.00 + 1.39 + 0.08 + 0.41$$

$$Q_{subtotal} = 6.49 \text{ ls}^{-1}$$

$$Q_p = Q_{subtotal} * (1 + \%p\u00e9rdidas) = 6.49 * \left(1 + \frac{20}{100}\right)$$

$$\Rightarrow Q_p = 7.79 \text{ ls}^{-1} \approx 0.00779 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$$

Así mismo, se calcularon el coeficiente de variación diaria (K1) y el coeficiente de variación horaria (K2), mencionados por MVCS (2023), mediante la Ecuación 7 y la Ecuación 8. Para esto, teniendo en cuenta lo señalado por Rodríguez (2001), se tuvo en cuenta de acuerdo al registro de consumos diarios y horarios realizados en 20 conexiones de la red de distribución del SAP San Miguel. El registro de consumo diario realizado en el periodo 01/07/24 – 31/08/2024, ver Figura 109, Figura 110, Tabla 47. El registro

horario de consumo horario realizado los días lunes, sábado y domingo del mismo periodo, ver Figura 111, Figura 112, Tabla 48.

**Figura 50:** Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel



**Figura 51:** Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel



Se determinó el consumo máximo diario y el consumo medio diario, ver Figura 91, bajo el mismo criterio se determinó el consumo máximo horario y el consumo medio horario, ver Figura 92.

$$K1 = \frac{\text{Consumo máximo diario}}{\text{Consumo medio diario}} = \frac{12888.40}{10113.51} \Rightarrow K1 = 1.27$$

$$K2 = \frac{\text{Consumo máximo horario}}{\text{Consumo medio horario}} = \frac{839.80}{421.40} \Rightarrow K2 = 1.99$$

Como señala, SANNA (2014) se calcularon el caudal máximo diario y el caudal máximo horario, mediante la Ecuación 11 y la Ecuación 12, respectivamente; mencionadas por MVCS (2023).

$$Q_{md} = K1 * Q_p = 1.27 * 7.79 \Rightarrow Q_{md} = 9.90 \text{ ls}^{-1} \approx 0.0099 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$Q_{mh} = K2 * Q_p = 1.99 * 7.79 \Rightarrow Q_{mh} = 15.50 \text{ ls}^{-1} \approx 0.0155 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

La dotación per cápita promedio obtenida por los registros de consumo fue de 121.02 lhab<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>, ver Figura 93 y según EPS SEDACAJ S.A. (2022) de 132.25 lhab<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>.

#### **4.1.3. Evaluación hidráulica de los diferentes componentes del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel**

Se procedió a evaluar la bocatoma, canal de derivación, desarenador, línea de conducción, reservorio y red de distribución; que se detalla como sigue:

##### **A. Bocatoma**

Según MVCS (2023), MVCS (2018) y Mansen (s. f.), se tomó en cuenta el caudal máximo diario, como caudal a derivar por la obra de captación. En base a lo mencionado por Mansen (s. f.) y MVCS (2018), en base al caudal máximo diario se dimensionó la ventana de captación, utilizando la Ecuación 13, para determinar el largo de la ventana de captación, asumiendo una altura de la ventana de captación de 0.12m, valor dentro del parámetro recomendado por MVCS (2018).

$$L = \frac{Q_{md}}{c h^{3/2}} = \frac{0.0099}{1.84 * 0.12^{3/2}} \Rightarrow L = 0.13 \text{ m}$$

De acuerdo a lo calculado, para conducir el caudal máximo diario, 9.90ls<sup>-1</sup> (0.0099m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), la ventana de captación debe tener una sección de (0.13mx0.12m). Según la visita de campo y de información por PROREGIÓN (2018), la ventana de captación de la

bocatoma del SAP San Miguel, tiene una sección de  $0.16\text{m}^2$  ( $0.40\text{m}\times 0.40\text{m}$ ), ver Figura 52.

**Figura 52:** Ventana de captación, bocatoma del SAP San Miguel



Como se muestra en la Figura 52, esta sección está ocupada además por la rejilla, como ya fue descrito, presenta barrotes de acero corrugado no revestido de  $3/8''$ , espaciados a  $4.45\text{cm}$  (8 verticales y 8 horizontales), elementos que ocupan un área de  $0.055024\text{m}^2$ , contando la ventana de captación con una sección útil de  $0.104976\text{m}^2$  ( $0.40\text{m}\times 0.26\text{m}$ ) para el ingreso del agua.

Seguidamente, se verificó el tirante de agua derivado por la ventana de captación al canal de derivación, así como la carga de agua en la ventana de captación, sujeto a variación por la presencia de la rejilla y por material atrapado en la misma, ver Figura 113. Estos datos se muestran en la Tabla 29 y se tuvo un promedio de la altura total de  $0.347\text{m}$  y  $0.176\text{m}$  del tirante de agua.

**Tabla 29:** Tirante de agua en la ventana de captación

Fecha	Carga de agua en la ventana de captación (m)	Tirante de agua en el canal de derivación (m)
06/08/24	0.35	0.19
07/08/24	0.33	0.17
08/08/24	0.36	0.16
09/08/24	0.35	0.18
13/08/24	0.36	0.19
14/08/24	0.35	0.15
16/08/24	0.34	0.17
20/08/24	0.35	0.18
21/08/24	0.36	0.16
22/08/24	0.35	0.21
23/08/24	0.35	0.15
27/08/24	0.34	0.20
28/08/24	0.34	0.17
29/08/24	0.35	0.19
30/08/24	0.33	0.17
Promedio	0.347	0.176

Además, se estimó el caudal de ingreso en la ventana de captación, en días que se muestran en la Figura 53, por medio de aforo con el método del flotador en el tramo recto del canal de derivación, ver Figura 53, Figura 114, en una longitud de 1.90m, para el cálculo como se muestra en la Tabla 30, se consideró un factor de corrección de 0.85, para canales rectangulares por lo señalado por ANA (2015). De este modo se obtuvo un caudal de ingreso promedio de  $27.58\text{ls}^{-1}$  ( $0.028\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), como se muestra en la Tabla 30.

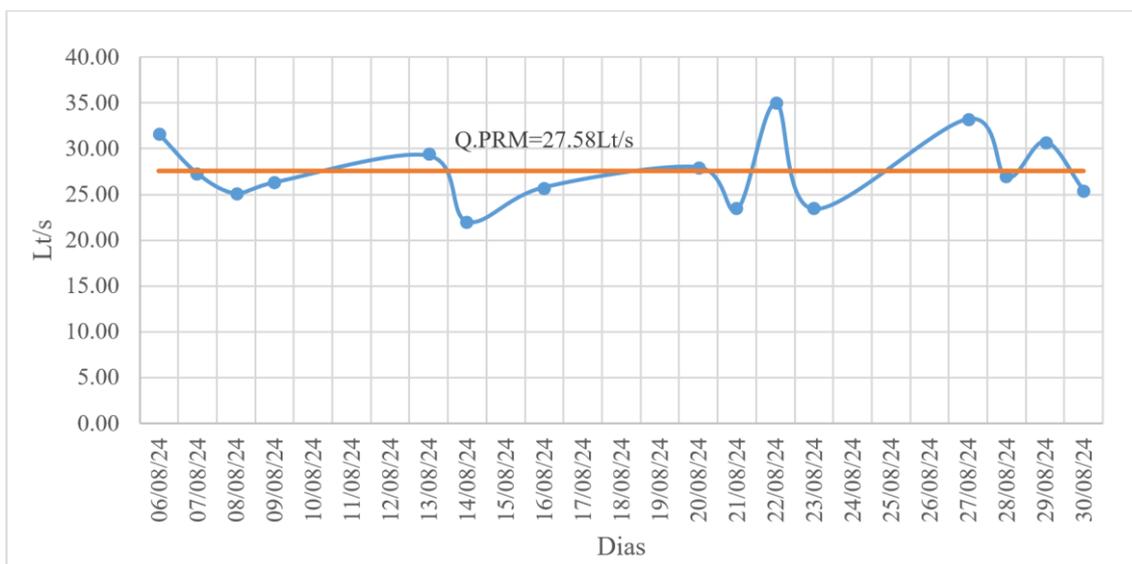
**Figura 53:** Aforo del caudal de ingreso en la ventana de captación del SAP San Miguel



**Tabla 30:** Cálculo del caudal de ingreso en la ventana de captación

Fecha	Tirante (m)	A (m <sup>2</sup> )	Tiempo (s)						V (m/s)	Qingreso	
			Intentos			PRM	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Lts <sup>-1</sup>			
06/08/24	0.19	0.0760	3.51	3.79	3.83	4.09	4.19	3.88	0.49	0.032	31.62
07/08/24	0.17	0.0680	3.79	4.12	4.27	3.92	4.02	4.02	0.47	0.027	27.29
08/08/24	0.16	0.0640	3.92	4.19	4.13	4.06	4.27	4.11	0.46	0.025	25.12
09/08/24	0.18	0.0720	4.18	4.76	4.33	4.26	4.53	4.41	0.43	0.026	26.36
13/08/24	0.19	0.0760	3.84	4.88	4.09	3.97	4.19	4.19	0.45	0.029	29.27
14/08/24	0.15	0.0600	3.89	4.51	4.38	4.87	4.31	4.39	0.43	0.022	22.06
16/08/24	0.17	0.0680	4.67	3.92	4.37	4.22	4.08	4.25	0.45	0.026	25.83
20/08/24	0.18	0.0720	3.76	4.04	4.17	4.54	4.25	4.15	0.46	0.028	28.01
21/08/24	0.16	0.0640	4.13	4.47	4.31	4.69	4.53	4.43	0.43	0.023	23.35
22/08/24	0.21	0.0840	3.86	4.39	3.91	3.42	3.81	3.88	0.49	0.035	34.98
23/08/24	0.15	0.0600	3.75	4.14	4.37	4.12	4.29	4.13	0.46	0.023	23.44
27/08/24	0.20	0.0800	4.04	4.31	3.86	3.29	3.92	3.88	0.49	0.033	33.26
28/08/24	0.17	0.0680	4.18	3.96	4.03	4.19	4.09	4.09	0.46	0.027	26.85
29/08/24	0.19	0.0760	3.67	4.24	3.75	4.09	4.17	3.98	0.48	0.031	30.81
30/08/24	0.17	0.0680	4.19	4.29	4.81	4.34	3.93	4.31	0.44	0.025	25.47
Promedio										0.028	27.58

**Figura 54:** Caudal de ingreso en la ventana de captación



Así mismo, se verificó la profundidad de agua en el barraje, desde el punto inicial del perfil de barraje, hasta la altura del espejo de agua, como se muestra en la Figura 55, Figura 115, estos datos se muestran en la Tabla 31, de los cuales se obtuvo una profundidad promedio de 0.40m.

**Figura 55:** Profundidad de agua en el barraje, bocatoma del SAP San Miguel



**Tabla 31:** Profundidad de agua en el barraje de la bocatoma

Fecha	Profundidad (m)
06/08/24	0.40
07/08/24	0.42
08/08/24	0.39
09/08/24	0.40
13/08/24	0.39
14/08/24	0.40
16/08/24	0.41
20/08/24	0.40
21/08/24	0.39
22/08/24	0.40
23/08/24	0.40
27/08/24	0.41
28/08/24	0.41
29/08/24	0.40
30/08/24	0.42
Promedio	0.40

## **B. Canal de derivación**

De acuerdo a lo indicado por MVCS (2023), Asalde (2020), ANA (2010), (Villón, 2007) y Chow (1994), se tomó en cuenta el caudal máximo diario, como caudal a derivar por el canal y se calcularon los parámetros que se muestran en la Tabla 32, por medio de la Ecuación 14, Ecuación 15, Tabla 8,

Tabla 9.

**Tabla 32:** Cálculo de parámetros del canal de derivación

Parámetro	Cálculo	
Tirante de agua	$y = \left( \frac{Qmd * n * 4^{2/3}}{s^{1/2} * 2^{5/3}} \right)^{3/8} = \left( \frac{0.0099 * 0.015 * 4^{2/3}}{0.0231^{1/2} * 2^{5/3}} \right)^{3/8}$ $\Rightarrow y = \mathbf{0.068\ m}$	
Ancho de la base	$b = 2y = 2 * 0.068 \Rightarrow \mathbf{b = 0.136\ m}$	
Borde libre	Según U.S. BUREAU OF RECLAMATION	$Bl = \sqrt{cy} = \sqrt{1.5 * 0.068 * 3.281}$ $\Rightarrow \mathbf{B = 0.578\ pie \approx 0.176\ m}$
	Según SRHM	$\mathbf{Bl = 0.075\ m}$
	Según Máximo Villón Béjar	$\mathbf{Bl = 0.40\ m}$ (más desfavorable)

De acuerdo a estos parámetros en función del caudal máximo diario, el canal tendría un ancho de base de 0.14m y una altura del canal de 0.47m. Según la visita de campo y de información por PROREGIÓN (2018), el canal de derivación tiene un ancho de base de 0.40m y una altura de 0.50m. De este modo se verificó el caudal derivado por esta estructura, como se muestra en la Tabla 33, el cálculo se muestra en la Tabla 30, siendo así se obtuvo un caudal promedio de 27.58ls<sup>-1</sup>.

**Tabla 33:** Caudal derivado por el canal

Fecha	Caudal	
	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	ls <sup>-1</sup>
06/08/24	0.032	31.62
07/08/24	0.027	27.29
08/08/24	0.025	25.12
09/08/24	0.026	26.36
13/08/24	0.029	29.27
14/08/24	0.022	22.06
16/08/24	0.026	25.83
20/08/24	0.028	28.01
21/08/24	0.023	23.35
22/08/24	0.035	34.98
23/08/24	0.023	23.44
27/08/24	0.033	33.26
28/08/24	0.027	26.85
29/08/24	0.031	30.81
30/08/24	0.025	25.47
Promedio	0.028	27.58

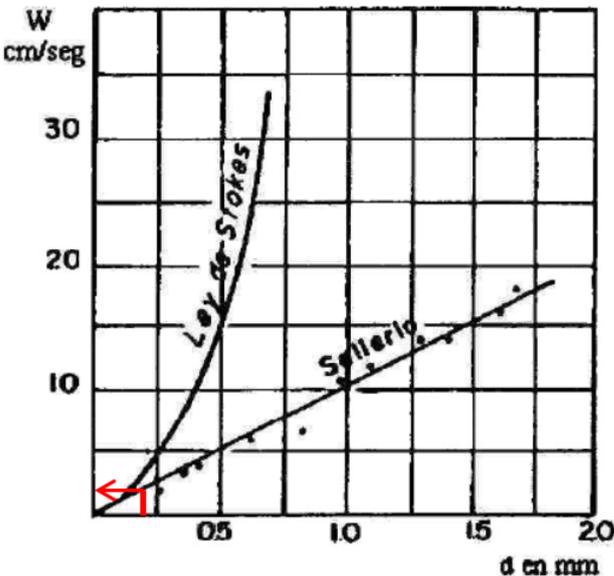
### C. Desarenador

Respecto al desarenador, se verificó la longitud de sedimentación del tanque, como indican MVCS (2023) y CEPIS (2005), para una partícula de 0.2mm. Inicialmente, se determinó la velocidad horizontal del flujo en el tanque, como lo indica ANA (2010) para tal partícula, utilizando la Ecuación 16.

$$v = a\sqrt{d} = 44 * \sqrt{0.20} \Rightarrow v = 19.68 \text{ cms}^{-1} \approx 0.1968 \text{ ms}^{-1}$$

Se calculó la velocidad de sedimentación, de acuerdo con lo indicado por ANA (2010), según Arkhangelski, Sellerio, Ownes, Scotti – Foglieni, haciendo uso de la Tabla 11, Figura 25, Ecuación 17 y Ecuación 18 como se muestra en la Tabla 34.

**Tabla 34:** Cálculo de la velocidad de sedimentación

Criterio	Cálculo
Según Arkhangelski	$w = 2.16 \text{ cms}^{-1} \approx 0.0216 \text{ ms}^{-1}$ , ver Tabla 11
Según Sellerio	 <p><math>w = 2.10 \text{ cms}^{-1} \approx 0.021 \text{ ms}^{-1}</math></p>
Según Ownes	$w = k\sqrt{d(\rho_s - 1)} = 1.28\sqrt{0.0002 * (2.716 - 1)}$ $\Rightarrow w = 0.0237 \text{ ms}^{-1}$
Según Scotti – Foglieni	$w = 3.8\sqrt{d} + 8.3d = 3.8\sqrt{0.0002} + 8.3 * 0.0002$ $\Rightarrow w = 0.0554 \text{ ms}^{-1}$
Promedio	$w = 0.0335 \text{ ms}^{-1}$

A partir de la velocidad del flujo y la velocidad de sedimentación promedio, según MVCS (2023), se determinó la razón existente entre ambas velocidades, por la Ecuación 19.

$$R = \frac{v}{w} = \frac{0.1968}{0.0335} \Rightarrow R = 5.86$$

Los siguientes parámetros mostrados en la Tabla 35, se realizaron de acuerdo con ANA (2010), en base a la Ecuación 20: Ecuación 24, para una partícula de 0.2mm ( $\rho_s=2.716\text{gcm}^{-3}$ ), ver Figura 74, y una altura de caída del desarenador de 1.60m.

**Tabla 35:** Cálculos de los parámetros del tanque del desarenador

Parámetro	Cálculo
Tiempo de sedimentación	$t = \frac{h}{w} = \frac{1.60}{0.0335} \Rightarrow t = 47.76 \text{ s} \approx 0.80 \text{ min}$
Longitud del desarenador	$L = \frac{h * v}{w} = \frac{1.60 * 0.1968}{0.0335} \Rightarrow L = 9.40 \text{ m} \approx 10.00 \text{ m}$
Ancho del desarenador	$b = \frac{L}{10 - 20} = \frac{10}{10} \Rightarrow b = 1.00 \text{ m}$
Volumen del agua conducido	$Va = Qmd * t = 0.0099 * 47.76 \Rightarrow Va = 0.4728 \text{ m}^3$
Capacidad del tanque	$Vt = b * h * L = 1 * 1.60 * 10.00 \Rightarrow Vt = 16.00 \text{ m}^3$

Según la visita de campo y por información de PROREGIÓN (2018), el tanque del desarenador tiene una longitud de 12m, una altura, como ya se mencionó una altura de caída de 1.60m, un ancho de 1m, teniendo una capacidad de 19.20m<sup>3</sup>.

Se calculó la longitud del vertedero de salida del desarenador con la Ecuación 26, de acuerdo al caudal máximo diario, según Villón (2007), teniendo en cuenta lo señalado por López (2004), para un vertedero de salida de pared delgada ( $e \leq 3h$ ), ver Figura 101b, Plano DC-01. De acuerdo a la visita de campo y por información de PROREGIÓN (2018), la longitud del vertedero es de 0.30m.

$$L = 0.1 * n * hv + \frac{Qmd}{1.84 * hv^{3/2}} \Rightarrow 0.1 * 1 * 0.14 + \frac{0.0099}{1.84 * 0.14^{3/2}} \Rightarrow L = 0.10 \text{ m}$$

**Figura 56:** Desarenador del SAP San Miguel



Por otro lado, se estimó el volumen de sedimentos atrapados en el tanque del desarenador, ver Figura 116, seccionando cada 0.50m, distancia (D), por su área de cada sección (A), se acumuló el volumen de los sedimentos atrapados a lo largo del tanque (12m) y se obtuvo un volumen total de  $0.1377\text{m}^3$ , acumulados en un mes (entre julio y agosto de 2024).

**Tabla 36:** Cálculos del volumen de sedimentos atrapados en el desarenador

D (m)	A (m <sup>2</sup> )	Volumen parcial (m <sup>3</sup> )	Volumen acumulado (m <sup>3</sup> )
0.00	0		0
0.50	0	0	0
1.00	0	0	0
1.50	0	0	0
2.00	0	0	0
2.50	0	0	0.0004
3.00	0.0017	0.0004	0.0014
3.50	0.0021	0.0009	0.0025
4.00	0.0024	0.0011	0.0039
4.50	0.0030	0.0014	0.0055
5.00	0.0033	0.0016	0.0074
5.50	0.0043	0.0019	0.0130
6.00	0.0183	0.0057	0.0225
6.50	0.0196	0.0095	0.0326
7.00	0.0210	0.0101	0.0430
7.50	0.0204	0.0104	0.0564
8.00	0.0332	0.0134	0.0723
8.50	0.0306	0.0159	0.0845
9.00	0.0180	0.0122	0.0941
9.50	0.0204	0.0096	0.1057
10.00	0.0262	0.0116	0.1178
10.50	0.0221	0.0121	0.1286
11.00	0.0210	0.0108	0.1352
11.50	0.0055	0.0066	0.1377
12.00	0.0047	0.0026	
Volumen total (m <sup>3</sup> )			0.1377

#### D. Línea de conducción

Inicialmente, como lo indican MVCS (2023) y CEPIS (2004) se consideró al caudal máximo diario ya calculado, para verificar su diámetro. Se determinaron el diámetro máximo y mínimo, a partir de la velocidad mínima y máxima recomendadas por MVCS (2023) y CEPIS (2004), de  $0.60\text{ms}^{-1}$  y  $5.00\text{ms}^{-1}$ , por medio de la Ecuación 27 y Ecuación 29.

$$D_{max} = \left( \frac{4 * Q_{md}}{\pi * V_{min}} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 * 0.0099}{\pi * 0.60} \right)^{1/2} \Rightarrow \mathbf{D_{max} = 0.1449\ m \approx 144.94\ mm}$$

$$D_{min} = \left( \frac{4 * Q_{md}}{\pi * V_{max}} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 * 0.0099}{\pi * 5.00} \right)^{1/2} \Rightarrow \mathbf{D_{min} = 0.0502\ m \approx 50.21\ mm}$$

En base a estos límites, se tuvo un diámetro comercial según la Figura 76, de 144.60mm de diámetro interno (DN 160mm) para tubería PVC UF de alta presión clase 10, indicado por PROREGIÓN (2018), (presión de servicio: 10 bares  $\approx$  102m.c.a., ver Figura 75. Luego se calculó la relación R/D por medio de la Ecuación 45, tal resultado mayor de 2000, considerada como tubería larga y por lo indicado por Méndez (2012), se tomó en cuenta las pérdidas de carga por fricción más no las pérdidas locales.

$$\frac{L}{D} = \frac{6590.012}{0.1446} \Rightarrow \frac{L}{D} = \mathbf{45574.08 > 2000}$$

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción, inicialmente, para el diámetro seleccionado se calculó la velocidad, se utilizó la Ecuación 27 y Ecuación 28.

$$V = \frac{4Q_{md}}{\pi D^2} = \frac{4 * 0.0099}{\pi * 0.1446^2} \Rightarrow \mathbf{V = 0.6028\ ms^{-1}}$$

Luego, se calculó el número de Reynolds, con la Ecuación 40, a partir de la velocidad calculada y la viscosidad cinemática del agua ( $15^{\circ}\text{C}$ ), ver Tabla 46.

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0.6028 * 0.1446}{1.139 * 10^{-6}} \Rightarrow \mathbf{Re = 76527.55 > 5000}$$

Según este resultado el escurrimiento fue de tipo turbulento, por lo señalado por MAB (2004) y para el cálculo del factor de fricción por la Ecuación 39 y Ecuación 41, ver Tabla 14.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{k}{3.71} + \frac{5.74}{R^{0.9}}\right)\right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{5.74}{R^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 * 10^{-3}}{3.71 * 0.1446} + \frac{5.74}{76527.55^{0.9}}\right)\right]^2} \Rightarrow f = \mathbf{0.01895904}$$

A partir de este factor, se calculó la pérdida de carga por fricción en la tubería, por lo indicado por Aguirre (2015) y la Ecuación 35.

$$hf = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} = \frac{8 * 0.01895904 * 6590.012 * 0.0099^2}{\pi^2 * 9.81 * 0.1446^5} \Rightarrow hf = \mathbf{16.00m}$$

Así, se graficó línea piezométrica estática y la línea de gradiente hidráulico, ver Planos LC-01 y LC-02.

## E. Reservorio

A partir del caudal promedio diario, del caudal máximo diario, según lo señalado por Regal (2008) y Arocha (1997), se calculó el volumen de almacenamiento (volumen de regulación, volumen contra incendio y volumen de reserva). Según MAB (2004) y Vierendel (2009), se calculó el volumen de regulación mediante la Ecuación 48 y Ecuación 49.

$$Vr = 25\%Qp = 25\%(673.06m^3día^{-1}) \Rightarrow Vr = \mathbf{168.27m^3}$$

$$Vr = 20\%Qmd = 20\%(855.36m^3día^{-1}) \Rightarrow Vr = \mathbf{171.07m^3}$$

Se consideró el volumen de regulación estimado como 171.07m<sup>3</sup>. Por otro lado, Se calculó el volumen contra incendio, por lo mencionado por ANDA (2014), Vierendel

(2009), Regal (2008) y Méndez (s. f.) con la Ecuación 50 y Ecuación 51, se consideró un tiempo de 2 horas indicado por ANDA (2014) y Regal (2008).

$$Q_i = 0.5\sqrt{P} = 0.5\sqrt{5.128} \Rightarrow Q_i = 1.13 \text{ ls}^{-1}$$

$$V_i = 3.6 * Q_i * t = 3.6 * 1.13 * 2 \Rightarrow V_i = 8.14 \text{ m}^3$$

Se calculó el volumen de reserva, de acuerdo con Vierendel (2009) y (Regal, 2008), en este sentido se utilizó la Ecuación 52 y Ecuación 53.

$$V_{res} = 25\%(V_{reg} + V_{inc}) = 0.25 * (171.07 + 8.14) \Rightarrow V_{res} = 44.80 \text{ m}^3$$

$$V_{res} = 33\%(V_{reg} + V_{inc}) = 0.33 * (171.07 + 8.14) \Rightarrow V_{res} = 59.14 \text{ m}^3$$

Finalmente, el volumen de almacenamiento se calculó según Regal (2008) y Arocha (1997), como se muestra a continuación y se obtuvo un volumen de 233.03 m<sup>3</sup>.

$$V_{alm} = V_{reg} + V_{inc} + V_{res} = 171.07 + 8.14 + 59.14 \Rightarrow V_r = 238.35 \text{ m}^3$$

**Figura 57:** Nivel de agua en el reservorio del SAP San Miguel



Para verificar la capacidad de almacenamiento del reservorio, se registraron los niveles de agua por hora, los días lunes, sábado y domingo en el periodo 01/07/24 – 31/08/2024, ver Figura 57, Figura 117, en la Figura 94 se muestran los niveles de agua y de acuerdo a

esto se graficó el volumen disponible en el reservorio, desde su volumen máximo de 210.00m<sup>3</sup> y hasta un volumen mínimo de 50.48m<sup>3</sup>, como se muestra en la Figura 95.

## F. Red de distribución

Por medio del Software EPANET V2.20, se realizaron dos modelamientos hidráulicos de la red de distribución para un caudal máximo horario de 15.50 ls<sup>-1</sup>, (0.0150 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), diferenciados respecto a la regulación de la presión por la válvulas reductoras de presión, uno para el caso de que según PROREGIÓN (2010), permitían una presión de salida de 15 m.c.a. A esto, según el reporte de presiones en los nodos, ver Plano RD-01, se tuvo una presión mínima de 2.58m.c.a. (N-174) y una presión máxima de 77.40m.c.a. (N-173). Según el reporte de las velocidades en las tuberías, se tuvo una velocidad mínima de 0.003ms<sup>-1</sup> y una velocidad máxima de 0.90ms<sup>-1</sup>, ver Plano RD-01.

**Figura 58:** Registro de presiones en la red de distribución del SAP San Miguel



De lo indicado por EPS SEDACAJ S.A. Administración San Miguel, respecto a las presiones en la red de distribución del SAP San Miguel en el periodo 2022-2023, ver Figura 78, Figura 79, y por el registro realizado de presiones en la red de distribución, ver

Figura 118, se ha mostrado en el Plano PR-01, Plano PR-02, tales presiones que en resumen de obtuvieron los siguientes resultados, ver Tabla 37.

**Tabla 37:** Presiones en la red de distribución del SAP San Miguel

Zonas de presión	Presión (m.c.a.)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Zona de presión I	53.47	10.55	29.18
Zona de presión II	87.94	26.73	49.07
Zona de presión III	126.70	38.70	84.76
General	126.70	10.55	52.35

Así mismo, se realizó otro modelamiento hidráulico de la red de distribución del SAP San Miguel, con presiones de salida en las válvulas reductoras de presión distintas a 15m.c.a. Como sigue, VRP-01(40m.c.a.), VRP-02(80m.c.a.) y VRP-03 (20m.c.a.), de este modo, según el reporte de presiones en los nodos, ver Plano RD-02, se tuvo una presión mínima de 2.58m.c.a. (N-174) y una presión máxima de 121.92m.c.a. (N-175). Según el reporte de las velocidades en las tuberías, se tuvo una velocidad mínima de  $0.003\text{ms}^{-1}$  y una velocidad máxima de  $0.90\text{ms}^{-1}$ , ver Plano RD-02.

#### **4.1.4. Evaluación de la calidad del agua que produce el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel**

A partir de la información proporcionada por la EPS SEDACAJ S.A., a cerca de Resultados de los Parámetros de Calidad del SAP San Miguel, del Sistema de Captura y Transferencia de Datos (SICAP) de SUNASS. Tanto de agua cruda del ingreso a la PTAP así como del agua tratada a la salida del reservorio, datos del periodo (01/2022 hasta 09/2023); a partir de los cuales se analizaron los parámetros monitoreados en función a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del agua, indicados por MINAM (2017), que de acuerdo al diagnóstico el agua cruda del SAP San Miguel pertenecería a la categoría A2. El agua tratada fue analizada en función a los Límites Máximos Permisibles

indicados por el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, según MINSA (2010). Del agua cruda, se tuvo información de los parámetros físicos-químicos tales como: cloruros, color, conductividad, dureza, nitratos, pH, turbiedad, ver Tabla 38, Figura 86 y Figura 87.

**Tabla 38:** Parámetros físicos-químicos del agua cruda del SAP San Miguel

Parámetros físicos-químicos	Unidad de medida	Fecha (Año 2022)		LMP (A2) DS° 004-2017- MINAM
		20/03	26/07	
Cloruros	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	7.00	6.00	250
Color	UCV	56.00	19.00	100
Conductividad	μscm <sup>-1</sup>	92.30	59.24	1600
Dureza	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	28.00	104.00	-
Nitratos	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	1.33	1.32	50
Sulfatos	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	12.50	15.90	500

Así mismo, dentro de los parámetros orgánicos considerados por los Resultados de los Parámetros de Calidad se constituyeron por coliformes totales y coliformes termotolerantes, ver Tabla 39.

**Tabla 39:** Parámetros orgánicos del agua cruda del SAP San Miguel

Parámetros orgánicos	Unidad de medida	Fecha (año 2023)						LMP (A2) DS° 004- 2017- MINAM
		30/01	15/02	29/03	26/04	25/05	22/06	
Coliformes totales	NMP100 ml <sup>-1</sup>	490	1100	1700	1300	2200	1100	-
Coliformes termo tolerantes	NMP100 ml <sup>-1</sup>	110	110	1700	130	1100	230	2000

Por otra parte, del agua tratada del SAP San Miguel se tuvo información acerca de los PCO, ver Tabla 40; Figura 88, Figura 89, Figura 90 y los PACO, ver Tabla 41; en base a los Resultados de los Parámetros de Calidad.

**Tabla 40:** PCO del agua tratada del SAP San Miguel

Parámetros de Control Obligatorio	Unidad de medida	Fecha (Año 2022)				LMP DS N°031-2010-SA
		27/01	20/03	14/05	26/07	
Coliformes totales	NMP100 ml <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0
Coliformes termo tolerantes	NMP100 ml <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0
Color	UCV	4	4	2	7	15

**Tabla 41:** PACO del agua tratada del SAP San Miguel

Parámetros Adicionales de Control Obligatorio	Unidad de medida	Fecha (Año 2022)				LMP DS N°031-2010-SA
		27/01	20/03	14/05	26/07	
Cloruros	mg l <sup>-1</sup>	18.00	9.00	11.00	6.00	250.00
Conductividad	µscm <sup>-1</sup>	50.50	63.20	40.70	52.33	1500.00
Dureza	mg l <sup>-1</sup>	15.00	12.00	18.00	104.00	500.00
Nitratos	mg l <sup>-1</sup>	0.00	0.89	0.89	0.00	50.00
Sulfatos	mg l <sup>-1</sup>	18.90	20.70	15.40	15.00	250.00

**Figura 59:** Medición de parámetros de calidad de agua del SAP San Miguel



En este sentido, se verificaron parámetros de calidad del agua cruda y tratada del SAP San Miguel, ver Figura 59, Figura 119, Figura 120. Se analizaron análisis de parámetros físicos-químicos y orgánicos como la turbiedad, pH, color, coliformes totales y termotolerantes; medidos directamente en campo y también por medio de análisis de laboratorio, del agua cruda. Del agua tratada, se analizaron los PCO mencionados en el

Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano por MINSA (2010) como: coliformes totales, coliformes termotolerantes, color, turbiedad, cloro residual libre y pH, del mismo modo, medidos directamente en campo y por medio de análisis de laboratorio, ver Figura 70, Figura 71, Figura 72, Figura 85. Además, de la información proporcionada por parte de EPS SEDACAJ S.A. Administración San Miguel, se obtuvieron datos de monitoreo de los parámetros turbiedad, cloro residual libre y pH en la red de distribución del SAP San Miguel. De este modo se organizó la información en Plano CL-01, Plano CL-02, correspondiente al monitoreo de los parámetros: turbiedad, cloro residual libre y pH en la red de distribución del SAP San Miguel, de lo que se obtuvo el siguiente resumen, ver Tabla 42, Tabla 43, Tabla 44.

**Tabla 42:** Turbiedad del agua en la red de distribución SAP San Miguel

Zonas de presión	Turbiedad (UNT)			LMP DS N°031- 2010-SA
	Máximo	Mínimo	Promedio	
Zona de presión I	2.15	0.68	1.01	5 UNT (Máx.)
Zona de presión II	4.05	0.61	0.97	
Zona de presión III	3.66	0.68	0.99	
General	4.05	0.61	0.98	

**Tabla 43:** Potencial de hidrógeno (pH) del agua en la red de distribución SAP San Miguel

Zonas de presión	Potencial de hidrógeno (pH)			LMP DS N°031- 2010-SA
	Máximo	Mínimo	Promedio	
Zona de presión I	7.12	6.52	6.88	6.5-8.5 pH
Zona de presión II	7.25	6.13	6.89	
Zona de presión III	7.57	6.71	6.89	
General	7.57	6.13	6.89	

**Tabla 44:** Cloro residual libre del agua en la red de distribución SAP San Miguel

Zonas de presión	Cloro residual libre (mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup> )			LMP DS N°031- 2010-SA
	Máximo	Mínimo	Promedio	
Zona de presión I	1.03	0.58	0.78	0.5 mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup> (Mín)
Zona de presión II	1.02	0.55	0.79	
Zona de presión III	1.00	0.53	0.74	
General	1.03	0.53	0.78	

En este sentido, la Micro Red de Salud San Miguel, a través de la Unidad de Saneamiento Básico, menciona que el agua suministrada por el SAP San Miguel es un agua segura basada por la medición de cloro residual libre de 0.7 mg<sup>l</sup><sup>-1</sup> según el Programa de Vigilancia de la Calidad de Agua para Consumo Humano – PVICA, ver Figura 80. Por otra parte, la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) de la Dirección Regional de Salud (DIRESA) de Cajamarca, menciona que no cuenta con resultados de análisis de calidad de agua cruda y agua tratada del SAP San Miguel, ver Figura 64.

#### **4.2. Análisis e interpretación y discusión de resultados**

En este apartado, en función a los resultados obtenidos de la caracterización de la ciudad de San Miguel, caracterización del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel, evaluación hidráulica de los diferentes componentes del sistema de agua potable y evaluación de la calidad de agua que produce el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel; se realizó el análisis e interpretación y discusión de resultados, como se muestra a continuación:

##### **4.2.1. Caracterización de la ciudad de San Miguel**

De acuerdo a los resultados, la ciudad de San Miguel, ciudad ubicada en la sierra norte del Perú a 2.665 m.s.n.m., presenta características geográficas y climáticas que influyen tanto en la calidad de vida de sus habitantes como en su desarrollo. La ciudad se encuentra

rodeada por una geografía montañosa que representa desafíos para la infraestructura y el acceso. Las condiciones climáticas, como señala Henríquez y Vila (2023), son un factor relevante, ya que las lluvias intensas de la temporada pueden generar riesgos al normal de las actividades de la población, mientras que la sequía durante la estación seca afecta la disponibilidad de agua, un recurso crucial para la población.

El acceso a San Miguel se facilita por una red vial interprovincial que conecta la ciudad con Cajamarca y otras localidades cercanas. La carretera asfaltada Chilete-San Pablo-San Miguel es uno de los principales corredores que vincula a la ciudad con puntos clave de la región. Sin embargo, la geografía montañosa puede representar un reto para el transporte y la conectividad, especialmente en épocas de lluvias intensas, lo que complica el traslado de personas y productos. En términos de infraestructura, San Miguel cuenta con servicios básicos como agua potable, alcantarillado, electricidad y telecomunicaciones, que según Metzger et al. (2016) que mejora la calidad de vida permitiendo un desarrollo urbano en proceso.

La organización territorial de la ciudad se distribuye en áreas de uso específico, como residenciales, comerciales, educativas y recreativas. Esta distribución refleja una estructura urbana orientada hacia una ocupación tradicional, con predominancia de viviendas de dos niveles construidas con materiales locales como adobe y calamina. La creciente población, que ha aumentado de 2.264 habitantes en 1993 a 4.426 en 2017, está impulsada por una migración interna desde áreas rurales en busca de mejores oportunidades económicas y acceso a servicios. Sin embargo, según Carrión y Dammert (2019), la expansión poblacional no acompañada de un cambio significativo en el modelo urbano, sigue siendo de baja densidad y con limitaciones para el desarrollo de actividades productivas en zonas adecuadas de la ciudad.

Respecto a las actividades económicas en San Miguel, tienen una estructura económica que refleja una dependencia de la economía informal y la autosuficiencia, lo que podría dificultar el crecimiento económico y la incorporación de nuevas actividades productivas, que fortalezcan la economía local a largo plazo. Que además, en la periferie de la ciudad, se tiene una predominancia de la agricultura de subsistencia y actividades pecuarias en pequeña escala. A pesar de la presencia de comercio, que como menciona Seminario (2016), al centrarse en actividades informales y familiares, la ciudad enfrenta limitaciones en cuanto a diversificación económica.

#### **4.2.2. Caracterización del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel**

De los resultados obtenidos, se menciona que, el SAP San Miguel es un sistema de agua potable por gravedad, al conducir el agua por gravedad desde su fuente de abastecimiento, como lo indica CEPIS (2003). Este sistema cuenta con una fuente de abastecimiento superficial, según lo indicado por Magne (2008), siendo ésta el Río El Carrasco. Así mismo, el SAP San Miguel suministra el servicio de agua potable con la continuidad necesaria, como lo sugieren CONAGUA (2019) y Regal (2008), para brindar un adecuado servicio de suministro de agua potable.

La acreditación de disponibilidad hídrica con la que cuenta el SAP San Miguel, de acuerdo con PROREGIÓN (2018), mediante la Resolución Administrativa N° 085-2018 ANA-AAA JZ.V.ALA.J con licencia de uso de agua de  $346896 \text{ m}^3\text{año}^{-1}$  ( $11 \text{ ls}^{-1}$ ) del Río El Carrasco, en relación a lo mencionado por el Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAGRI, 2016), tal acreditación de disponibilidad hídrica ya no se encuentra vigente por superar el periodo de dos años.

Respecto a la bocatoma, de acuerdo a lo mencionado por Alcas y Lizarzaburu (2023) no estaría cumpliendo adecuadamente su función ya que permitía el paso de material flotante por la ventana de captación. Indicar que, esta ventana está a una altura de 0.50 m, desde el fondo del canal de limpia, dentro de lo recomendado por MVCS (2018) de 0.20 m a 0.60 m, para así evitar el ingreso de material de arrastre como lo indica Mansen (s. f.). Se ha considerado una altura de seguridad por oleaje de 0.50m, siendo superior a los 0.15 m a 0.20 m recomendados por Mansen (s. f.) y MVCS (2018). Respecto al canal de limpia, este está ubicado perpendicularmente al eje del barraje y su flujo es paralelo al río y cuya cota final se aproxima a la del colchón disipador, de acuerdo a lo indicado por Mansen (s. f.). El barraje, al tener un perfil tipo Creager, el cual es conveniente ya que es sometido a una presión casi nula en todos sus puntos, según lo señala ANA (2010). Indicar que, aguas arriba del barraje se presenció sedimentación de material en el fondo del río. Por otro lado, al presentar una diferencia de cotas del fondo del río y del colchón disipador de 0.20 m, está por debajo de lo recomendado por Mansen (s. f.) y MVCS (2018), de una altura de 0.50 m a 1.00 m. En cuanto a los barrotes de la rejilla, estos no son de material anticorrosivo o cubiertas, como lo mencionó MVCS (2018), que al no sobresalir de la cara del muro y al no tener una inclinación vertical como lo indican Mansen (s. f.) y MVCS (2023), esto dificulta su limpieza como lo indica ANA (2010), por la presencia de material flotante interceptado. En función al canal de limpia, este no está cumpliendo su finalidad respecto a lo indicado por Jáuregui (2019), ya que presentaba fugas de caudal. Respecto a lo indicado por Alcas y Lizarzaburu (2023) y MVCS (2018), el barraje cumple con su función de interrumpir el flujo del cauce del río y su ingreso a la ventana de captación. De acuerdo con Almora (2009), gracias al colchón disipador el barraje no ha sido afectado por socavamientos o volteamientos a lo largo de su estructura. Por otro lado, la escollera no cumple con su objetivo, según lo indicado por Mansen (s. f.), ya que no

reduce el efecto erosivo del flujo en la bocatoma por la socavación existente y por el deterioro en uno de los muros laterales. Se observó grasa lubricante en el eje de elevación de las compuertas tanto del canal de limpia como de la ventana de captación, protegidos por pintura anticorrosiva la cual se encuentra deteriorada.

El canal de derivación, según lo mencionado por Toapanta (2023), cumple adecuadamente su función al conducir el caudal desde la ventana de captación hasta el desarenador. El cual, no presentó fisuras, agrietamientos o desplazamiento en sus paredes laterales, sin embargo presentaba restos de vegetación en su corona.

El desarenador, según el criterio de Aguirre et al. (s. f.), está ubicado adecuadamente, lo más cercanamente posible a la bocatoma para evitar la acumulación de materiales que puede deteriorar el canal de derivación. Al tener una altura de 1.90 m, dentro del parámetro recomendado por ANA (2010), de 1 a 3 m. Según lo recomiendan CEPIS (2005) y Sviatoslav (1986), el ángulo de divergencia es de  $12.5^\circ$ . El fondo con pendiente de caída de 0.2 %, está por debajo de lo recomendado por ANA (2010), de 2% para facilitar el lavado del fondo del desarenador. Además, las paredes laterales presentaban deterioro por humedecimiento, se verificó el engrasado llevado a cabo en las partes móviles de la compuerta de lavado, la cual presenta rebosamiento y fugas por su estructura.

Línea de conducción, cumple con lo recomendado por MVCS (2018), al presentar tubería de PVC y en condiciones de exposición de HDPE, siendo este material más resistente. Las válvulas de purga están ubicadas en los puntos bajos de la línea, según lo recomendado por MVCS (2023), su diámetro está acorde con MAB (2004), estando en el rango de  $1/4$  y  $1/3$  de la tubería principal. Las válvulas de aire están ubicadas según lo señalado por MVCS (2023) y CEPIS (2004) y su diámetro está dentro del rango

mencionado por MAB (2004), de 1/4 y 1/16 de la tubería principal. Se identificaron dos tramos de la tubería con pendiente mayor a la recomendada por CEPIS (2004), de 30 %.

El reservorio del SAP San Miguel, según los resultados es un reservorio apoyado de cabecera de 210 m<sup>3</sup>, de base circular que según SEDAPAL (2010), son recomendados con el fin de eliminar puntos muertos o cortocircuitos, con tirantes de agua máximos entre 2.80 a 8.00 m, estando en tal rango, con una altura útil de 3.50 m. En su pared lateral tenía una fisura que no presentaba filtraciones de agua. De acuerdo a lo indicado por SEDAPAL (2010), el reservorio está dotado de sistema bypass en tuberías de ingreso y salida, tubería de limpia y rebose, dotadas de válvulas compuertas que no se encontraban lubricadas o aceitadas. El borde libre es de 0.37 m, longitud que supera lo mínimo recomendado por MVCS (2018), MAB (2004) y Magne (2008) de 0.20 m a 0.30 m, para permitir la renovación del aire al interior del reservorio. Como lo mencionan MVCS (2023) y SEDAPAL (2010), el reservorio tenía una tapa de ingreso tipo sanitaria y escaleras, la cual no es de acero inoxidable, ya que presentaba oxidación. Con su pendiente del fondo al ser de 1 %, está acorde a lo indicado por MVCS (2018) y MAB (2004), que permite la evacuación completa del agua, como menciona MVCS (2023). La pendiente de la cubierta es mayor a la mínima recomendada por MAB (2004), de 2 % para permitir el drenaje; pintura de la cual se encontraba deteriorada. La tubería de ventilación es en forma de “U” y no permite la iluminación directa, como lo recomienda MVCS (2023), sin embargo, su salida no se encuentra protegida, contrario a lo contemplado por SEDAPAL (2010) y MAB (2004), para impedir el ingreso de insectos; además esta presentó corrosión, situación distinta a lo recomendado; así mismo, admite un caudal similar al caudal máximo de entrada o salida del reservorio, como recomienda SEDAPAL (2010), su entrada está separada de la pared superior de la cubierta del reservorio, por 0.25 m, estando por debajo de lo mencionado por Arocha (1997), de por

lo menos 0.30 m. Las embocaduras de la tubería de entrada y salida no están en posición opuesta, como lo recomienda MVCS (2018), para permitir la circulación del agua dentro del reservorio. La tubería de salida está ubicada a 0.38 m del fondo, acorde a lo recomendado por MVCS (2018), quien establece una altura mínima de 0.10 m para evitar el ingreso de sedimentos. La canastilla de la tubería de salida no tiene una longitud de 3 veces el diámetro, las ranuras tuvieron un diámetro aproximado a 14 mm, sin embargo están espaciadas a 15mm, según recomendaciones dadas por MVCS (2018); la distancia horizontal entre el extremo de la canastilla y la pared más próxima de tanque es mayor a la mínima de 0.10 m, recomendada por MAB (2004). El diámetro de la tubería de limpieza es menor a la recomendada MAB (2004) de DN 138 mm. El reservorio tiene una cámara de limpieza, tal como lo recomienda MAB (2004), para reservorios mayores de 20 m<sup>3</sup>, sin embargo, la tubería de limpieza no se derivaba del fondo, como lo indica Arocha (1997) y su descarga no estuvo protegida por alguna rejilla, además de no ser derivada al drenaje fluvial, sino a la red de alcantarillado.

La red de distribución del SAP San Miguel, de acuerdo con MAB (2004), es una red mixta al presentar redes abiertas y redes cerradas, con distribución por gravedad como lo mencionan Regal (2008) y MAB (2004), al estar su reservorio en un cota superior a las de la red de distribución. Respecto al material de la tubería, según CONAGUA (2019), CEPIS (2005), este es de PVC de Unión Flexible, además, la tubería de la red matriz presenta una antigüedad de hasta 10 años y en redes secundarias de 4", de hasta 25 años. Respecto a las conexiones prediales, éstas estuvieron acorde con lo indicado por MVCS (2023) y Magne (2008), cuyo diámetro es el mínimo recomendado por MVCS (2023). Las válvulas de aislamiento de la red de distribución están ubicadas según lo mencionado por SEDAPAL (2010) y CEPIS (2005) y los diámetros de la tubería concuerda con lo mencionado por Arocha (1997), el cual es igual al diámetro de la tubería principal. Las

válvulas reductoras de presión, están dispuestas según lo indicado por Arocha (1997). La válvulas de purga con las que cuenta la red de distribución están ubicadas, según SEDAPAL (2010) y ANDA (2014), en los puntos más bajos, que permiten la limpieza de la red de distribución, evitando los “puntos muertos” como indica MVCS (2023). Sin embargo, una de las cuales presentó fugas y dos cámaras de válvulas estuvieron cubiertas. Los diámetro de válvulas de purga estuvieron acorde al diámetro de la tubería, según el criterio indicado por Arocha (1997). Las válvulas de aire presentes, según SEDAPAL (2010), si están ubicadas en los puntos altos más desfavorables de la red de distribución, las cuales no presentan fugas de agua. Los hidrantes multivalvulares con boquillas para mangueras de 2 ½”, como lo sugiere CBCR (2020), están instalados en tubería principal de menor diámetro de 100 mm, diámetro mínimo recomendado indicado por MVCS (2023) y distanciados a más de 300 m, distancia máxima según MVCS (2023); cuyas superficies móviles estuvieron lubricadas pero una de las tapas de boquilla de un hidrante estuvo inoperativa.

Respecto a la fuente de abastecimiento, que al obtener un caudal promedio de  $0.0933\text{m}^3\text{s}^{-1}$  ( $93.32\text{ls}^{-1}$ ) y siendo necesarios tan solo  $0.0099\text{m}^3\text{s}^{-1}$  ( $9.90\text{ls}^{-1}$ ), se garantiza la derivación de este caudal máximo diario en temporada de estiaje, como sugiere CEPIS (2004), que además era el suficiente, y mayor con respecto al caudal a derivar, acorde con el criterio de MVCS (2018), similar resultado al obtenido en la investigación de Albarrán (2019).

La población usuaria del SAP San Miguel fue de 5128 habitantes, de acuerdo con Aguirre (2015) y Magne (2008). La dotación per cápita obtenida por los registros de micromedición y según EPS SEDACAJ S.A. (2022) se aproximan a la dotación per cápita óptimo, según OMS (2003) de  $100\text{ lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ , coincidiendo a la dotación per cápita obtenida en la investigación por Tapia (2019), de  $121\text{ lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$ . El valor del coeficiente

de variación diaria obtenido de 1.27, cercano al valor recomendado por MVCS (2023) y dentro del rango recomendado por ANDA (2014), mayor a lo obtenido en la investigación por Cieza (2021), de 1.62. Por otro lado, el valor del coeficiente de variación horario de 1.99 estuvo dentro de lo recomendado por MVCS (2023) y MAB (2004), aproximada a lo obtenido por Tapia (2019) de 1.9. Respecto a los caudales para el SAP San Miguel, de acuerdo a MVCS (2018), se obtuvo un caudal promedio de  $7.79\text{ls}^{-1}$  ( $0.00779\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), un caudal máximo diario de  $9.90\text{ls}^{-1}$  ( $0.0099\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) y un caudal máximo horario de  $15.50\text{ls}^{-1}$  ( $0.0155\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ). Caudales que, por lo señalado por MSPAS (2011), fueron considerados en la evaluación hidráulica de los componentes del SAP San Miguel.

#### **4.2.3. Evaluación hidráulica de los diferentes componentes del sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel**

Respecto a la bocatoma, de los resultados, al tener en cuenta el caudal máximo diario de  $9.90\text{ls}^{-1}$  ( $0.0099\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), se obtuvo, de la ventana de captación, las dimensiones resultantes de  $0.12\text{m} \times 0.13\text{m}$ , de acuerdo con lo indicado por Mansen (s. f.), dimensiones distintas a las de la ventana de captación, de  $0.40\text{m} \times 0.40\text{m}$ , con una sección útil de  $0.40\text{m} \times 0.26\text{m}$  por la presencia de la rejilla de protección. Al verificar el tirante de agua derivado de la ventana de captación se obtuvo un promedio de carga de agua en la ventana de captación de  $0.347\text{m}$  y  $0.176\text{m}$  del tirante de agua en el canal. Y al estimar, el caudal de ingreso en la ventana de captación, se obtuvo un caudal promedio de  $27.58\text{ls}^{-1}$  ( $0.028\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ). De este modo cabe mencionar que al tener una mayor sección de la ventana de captación a la necesaria, se admite un caudal mayor a  $9.90\text{ls}^{-1}$  ( $0.0099\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), de igual modo, mayor al permitido por la licencia de uso de agua de  $346896\text{m}^3\text{año}^{-1}$  ( $11\text{ls}^{-1}$ ) del Río El Carrasco acreditado mediante la Resolución Administrativa N° 085-2018 ANA-AAA JZ.V.ALA.J.

Por otro lado, la profundidad de agua en el barraje obtenida desde el punto inicial del perfil de barraje, hasta la altura del espejo de agua, fue en promedio de 0.40m.

De acuerdo a los resultados, en cuanto al canal de derivación, se obtuvo un tirante de agua de 0.068 m, un borde libre de 0.40m, con un ancho de la base de 0.14m y una altura del canal de 0.47m. Distinto a las dimensiones del canal con el que cuenta el SAP San Miguel que tiene un ancho de base de 0.40m y una altura de 0.50m. Así al verificar el caudal derivado por esta estructura, se obtuvo un caudal promedio de  $27.58\text{ls}^{-1}$  ( $0.028\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), siendo éste mayor al caudal necesario de  $9.90\text{ls}^{-1}$  ( $0.0099\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), como lo recomiendan por MVCS (2023), Asalde (2020) y ANA (2010), al ser el caudal máximo diario.

Respecto al desarenador, de los resultados obtenidos, al tener una longitud de sedimentación de 12m y por los resultados obtenidos fueron necesarios 10m, además su capacidad del tanque de  $16.00\text{m}^3$  mayor al volumen de agua conducido, favorable como lo recomienda ANA (2010). Por otro lado, una longitud del vertedero del desarenador obtenido fue de 0.15m menor al existente de 0.30m. Del cálculo del volumen de sedimentos atrapados se obtuvo un volumen de  $0.1377\text{m}^3$ , que a lo largo de todo el fondo del tanque ( $L=12\text{m}$  y un ancho de 0.50m de su parte inferior) representa una altura de 0.022m.

Para la línea de conducción, a partir del caudal máximo diario de  $9.90\text{ls}^{-1}$  ( $0.0099\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), de los resultados se obtuvo un DN 160mm, el cual coincidía con el diámetro de la tubería existente siendo tubería PVC UF para alta presión clase 10, (presión de servicio: 10 bares  $\approx 102$  m.c.a., ver Figura 75. Respecto a lo cual, en el tramo a partir del Km 2+530.344 hasta la progresiva Km 6+590.012, la carga que excedía la presión de servicio, así mismo, en la progresiva Km 4+6800 se presentó la carga máxima de 158.33m.c.a, en la cota 2640.45 m la cota más baja de la línea de conducción. En el punto de salida, a la entrada

de la PTAP, presentó una carga disponible de 98.26 m.c.a., la cual fue mayor a la carga mínima recomendada por MAB (2004), de 2 m.c.a.

En cuanto a los resultados obtenidos respecto al reservorio, se obtuvo un volumen de almacenamiento de 238.35m<sup>3</sup>, con un volumen de regulación de 171.07m<sup>3</sup>, un volumen contra incendios de 8.14m<sup>3</sup> y un volumen de reserva de 52.14m<sup>3</sup>. Este volumen de almacenamiento estimado difería de la capacidad del reservorio que es de 210.00m<sup>3</sup>. Además por niveles de agua registrados, se presentó un volumen mínimo disponible en reservorio de 50.48m<sup>3</sup>, que fue menor volumen de reserva, por lo que se estaría comprometiendo el volumen contra incendio y el volumen de reserva que hacen un total de 59.14m<sup>3</sup>.

Así mismo, respecto a la red de distribución, del modelamiento hidráulico realizado, la presión mínima y la máxima estuvieron fuera de los rangos recomendados por MVCS (2023), ICAA (2017), Magne (2008), de 10 m.c.a. y 50 m.c.a., condición que coincidía con lo obtenido en las investigaciones de Calle y Pauta (2021), Cieza (2021), Albarrán (2019) y Vera (2018). Así mismo, las velocidades mínimas estuvieron por debajo de lo recomendado por MVCS (2023) y CEPIS (2005), de 0.60 ms<sup>-1</sup>, similar a los resultados obtenidos en las investigaciones de Ortiz y Pérez (2023), Calle y Pauta (2021), y Vera (2018). Como parte de los resultados, de las presiones registradas en la red de distribución del SAP San Miguel, estas superaron la máxima indicada por MVCS (2023), SEDAPAL (2010), Magne (2008), CEPIS (2005) y ANDA (2014), de 50 m.c.a. o la máxima indicada por MAB (2004) y Arocha (1997), de 70 m.c.a. y 75 m.c.a. respectivamente. Que, las válvulas reductoras de presión, al presentar presiones de salida mayores a 15m.c.a, las presiones en los puntos más desfavorables de la red se incrementan, como se muestra en el Plano PR-02, similares a las presiones registradas en la red.

#### **4.2.4. Evaluación de la calidad del agua que produce el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel**

A partir de los resultados, el agua cruda del SAP San Miguel, en función a los ECA del agua, indicados por MINAM (2017) para la categoría A2; para lo cual, los parámetros físicos-químicos como cloruros, color, conductividad, dureza, nitratos y sulfatos, cumplieron con los LMP, ver Tabla 38, mientras que el parámetro de turbiedad y pH, los excedieron, ver Figura 87 y Figura 88.

El agua tratada, en función a los resultados obtenidos, de acuerdo a lo establecido por MINSA (2010) en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, cumplía con los PCO como coliformes totales, coliformes termotolerantes, color, turbiedad, residual de desinfectante, ver Tabla 40, Figura 88 y Figura 90, no siendo el caso del pH que ciertos días del periodo analizado, excedía el LMP, ver Figura 89. Por otro lado, de los PACO como cloruros, color, conductividad, dureza, nitratos y sulfatos, todos estuvieron por debajo del LMP, ver Tabla 41.

Por los resultados obtenidos, del análisis de parámetros físicos-químicos y orgánicos del agua cruda como el pH, color, coliformes totales y termotolerantes; medidos estuvieron por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP) indicados por MINAM (2017), para la categoría A2, ver Figura 70, Figura 72, Figura 85, no siendo el caso de una lectura de turbiedad realizada (LMP 100 UNT). Para el agua tratada, de los PCO analizados, todos los valores cumplieron los LMP establecidos en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, según MINSA (2010), ver Figura 85, Figura 71 y Figura 72. Respecto a los parámetros de turbiedad, cloro residual libre y pH en la red de distribución del SAP San Miguel, por el monitoreo realizado y por información de EPS SEDACAJ S.A. Administración San Miguel, los datos de turbiedad y de cloro residual libre estuvieron

dentro del rango permitido por MINSA (2010), las tres zonas de presión de la red, mientras que para el potencial de hidrógeno, se tuvo una lectura de 6.13 pH valor que estuvo por debajo del LMP 6.5-8.5 pH.

De acuerdo a lo indicado por la Micro Red de Salud San Miguel, se verificó que no se medían parámetros básicos de campo, según el PVICA; como el pH, turbiedad, conductividad y coliformes, según lo cual, la calidad del agua suministrada del SAP San Miguel, tan solo estuvo definida por el parámetro físico-químico de residual de desinfectante, definida como agua segura, que como se establece, para definir como tal debía de cumplir con los requisitos de calidad, en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano según MINSA (2010). De lo indicado por la DIRESA Cajamarca, mencionar que, como lo señala MINSA (2010) ésta era considerada como la autoridad competente para la gestión de la calidad del agua para consumo humano que entre otras actividades, al respecto, era la encargada de vigilar y consolidar la información de la calidad de agua en su jurisdicción, actividad realizada con cierta deficiencia, por lo indicado en la Figura 64.

#### **4.3. Contrastación de hipótesis**

La hipótesis general de que el sistema de agua potable de la ciudad de San Miguel – Cajamarca funcionaba inadecuadamente, según la evaluación hidráulica, se ve respaldada por los resultados de la investigación. A pesar de que el sistema presenta ciertos componentes en funcionamiento, la evaluación muestra varios problemas significativos. La bocatoma, por ejemplo, presenta un exceso de caudal, lo que podría generar un uso ineficiente del recurso hídrico. El canal de derivación y la línea de conducción también muestran inconsistencias en sus dimensiones y fallos hidráulicos, afectando la eficiencia del sistema. Además, la presión en la red de distribución se encuentra fuera de los rangos

recomendados, lo que compromete tanto la eficiencia como la seguridad del servicio. El deterioro de algunos componentes clave, como la escollera, y las fugas en el desarenador las válvulas de purga en la red de distribución. Si bien la calidad del agua, en términos de parámetros físico-químicos y microbiológicos, cumple en general con los estándares, ciertos parámetros como el pH y la turbiedad a veces exceden los límites permitidos. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que el sistema de agua potable enfrenta serias deficiencias que afectan su funcionamiento y sostenibilidad.

La hipótesis específica planteada sobre la dinámica de crecimiento urbano y social de la ciudad de San Miguel es consistente con las evidencias del texto, que reflejan un crecimiento poblacional significativo y un desarrollo urbano limitado. A pesar de la expansión de la población, que pasó de 2,264 habitantes en 1993 a 4,426 en 2017, la ciudad aún enfrenta desafíos en términos de infraestructura y servicios adecuados para su crecimiento. Las actividades económicas, centradas en la agricultura de subsistencia y el comercio informal, limitan el potencial de desarrollo económico y la diversificación productiva. Además, las condiciones geográficas y climáticas, como las intensas lluvias y la sequía, impactan la calidad de vida y la planificación urbana. Si bien la ciudad de San Miguel ha mejorado en términos de conectividad y servicios básicos, la falta de un modelo urbano más denso y adaptado a las necesidades actuales podría frenar su desarrollo social y económico sostenido.

La hipótesis específica de que el sistema de agua potable (SAP) de la ciudad de San Miguel se encuentra en estado de deterioro se ve parcialmente respaldada por diversos hallazgos en los componentes constatados. Si bien el sistema es adecuado en términos generales en algunos aspectos, como la fuente de abastecimiento, el desarenador y la red de distribución, varios elementos muestran signos de deterioro que afectan su

funcionalidad y eficiencia. Uno de los principales problemas identificados es el estado de la bocatoma y el canal de limpia, que no cumplen adecuadamente con su función debido a la presencia de material flotante, lo que compromete la captación del agua. Además, la escollera no está reduciendo efectivamente el impacto erosivo del flujo de aguas debajo de la bocatoma. El desarenador y la línea de conducción presentan problemas menores, como vegetación en la corona del canal y fugas en la estructura del desarenador, lo que también significa deterioro para la estructura. Aunque algunos aspectos del reservorio y las válvulas de distribución cumplen con los requisitos técnicos, también se observan problemas como la corrosión en componentes críticos, como la tapa de ingreso y la tubería de ventilación del reservorio. De este modo, aunque el sistema sigue funcionando en muchos aspectos, el deterioro de ciertos componentes y la falta de mantenimiento adecuado generan preocupaciones sobre la sostenibilidad y eficiencia del SAP San Miguel, respaldando parcialmente la hipótesis de que se encuentra en un estado de deterioro.

La hipótesis planteada sobre el funcionamiento inadecuado de los componentes del sistema de agua potable de San Miguel, basado en la evaluación hidráulica, se ve respaldada por los resultados obtenidos en la investigación. En primer lugar, la bocatoma presenta una capacidad de captación superior a la necesaria, con un caudal de ingreso mucho mayor al requerido. Este exceso de caudal podría generar un uso ineficiente de los recursos hídricos y un riesgo potencial para la conservación de las estructuras de captación del sistema. En el caso del canal de derivación, se observa que las dimensiones del canal no coinciden con las necesarias, lo que resulta en un caudal derivado mayor al necesario, y esto podría estar afectando la capacidad de conducción de agua de manera eficiente. Por otro lado, el desarenador, aunque tiene una capacidad de sedimentación adecuada, presenta también una longitud de vertedero necesaria. La línea de conducción

muestra fallos, como la presión excesiva en ciertas secciones que excede la capacidad de servicio de la tubería, lo que podría estar generando sobrecargas en la tubería. Además, la presión de la red de distribución está fuera de los rangos recomendados, lo que genera problemas tanto en la eficiencia como en la seguridad del sistema. En conjunto, estos resultados confirman que el sistema de agua potable presenta fallos hidráulicos significativos que afectan su funcionamiento adecuado.

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, la hipótesis de que la calidad del agua producida por el sistema de agua potable de San Miguel es inadecuada para el consumo humano presenta una evaluación respecto a varios aspectos. Los resultados del análisis de parámetros físicos-químicos y microbiológicos en el agua cruda y tratada indican que, en general, la calidad del agua cumple con los estándares establecidos por las autoridades competentes, como MINAM (2017) y MINSA (2010). En particular, los parámetros de cloruros, color, conductividad, dureza, nitratos y sulfatos estuvieron dentro de los Límites Máximos Permitidos (LMP). Sin embargo, algunos parámetros, como el pH y la turbiedad, excedieron los límites en ciertas mediciones, tanto en el agua cruda como tratada. Aunque la mayoría de los parámetros físicos y microbiológicos cumplen con los estándares, el pH en ocasiones estuvo fuera del rango recomendado, lo que podría generar preocupaciones en la potabilidad del agua. Además, la falta de medición constante de ciertos parámetros como el pH, turbiedad y coliformes por parte de la Micro Red de Salud San Miguel indica una deficiencia en el monitoreo regular, lo cual podría afectar la gestión de la calidad del agua. Por lo tanto, la calidad del agua no siempre es completamente adecuada para el consumo humano, a pesar de que cumple con los estándares en muchos aspectos.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- La ciudad de San Miguel es una ciudad ubicada en la sierra norte del Perú a 2.665 m.s.n.m. San Miguel presenta una infraestructura básica, con servicios como agua potable, alcantarillado y electricidad, estos servicios son cruciales para brindar la calidad de vida adecuada a la población. Las condiciones climáticas en la ciudad de San Miguel, con lluvias intensas y sequías prolongadas, afectan la calidad de vida y el acceso a recursos hídricos. La escasez de agua durante la estación seca es una preocupación central para la población, ya que puede comprometer el abastecimiento de agua potable.
- El SAP San Miguel suministraba el servicio de agua potable con la continuidad necesaria, la población usuaria estimada en la ciudad de San Miguel fue de 5128 habitantes y la dotación per cápita se aproximaba a  $100 \text{ lhab}^{-1}\text{día}^{-1}$  considerada como la dotación per cápita óptimo.
- El valor obtenido del coeficiente de variación diaria fue de 1.27, el valor del coeficiente de variación horario de 1.99, valores que estuvieron dentro de lo recomendado. El caudal promedio obtenido fue de  $7.79 \text{ ls}^{-1}$  ( $0.00779 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), el caudal máximo diario de  $9.90 \text{ ls}^{-1}$  ( $0.0099 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) y un caudal máximo horario de  $15.50 \text{ ls}^{-1}$  ( $0.0155 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).
- El SAP San Miguel es un sistema de agua potable por gravedad, que ha demostrado ser eficiente en términos de continuidad, con su fuente superficial de abastecimiento, el Río El Carrasco, el sistema enfrenta desafíos debido a la falta de actualización en la acreditación de la disponibilidad hídrica. Es crucial que se gestionen adecuadamente los recursos hídricos para evitar la sobreexplotación y garantizar la disponibilidad a largo plazo de agua para la población.

- La bocatoma de San Miguel presenta deficiencias, como el ingreso de material flotante a través de la ventana de captación. Las dimensiones de la ventana de captación permiten el ingreso de caudal innecesario, Así al verificar el caudal derivando un caudal promedio de  $27.58\text{ls}^{-1}$  ( $0.028\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), siendo este mayor al caudal necesario de  $9.90\text{ls}^{-1}$  ( $0.0099\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) y mayor al permitido por la licencia de uso de agua de  $346896\text{ m}^3\text{año}^{-1}$  ( $11\text{ ls}^{-1}$ ) del Río El Carrasco.
- El canal de derivación del SAP San Miguel cumple con su función de transportar el caudal desde la bocatoma hasta el desarenador, pero presenta una capacidad de caudal mayor al necesario. Es importante ajustar el ingreso de caudal para asegurar que se utilicen eficientemente los recursos disponibles, sin exceder la capacidad necesaria para el consumo de la población.
- El desarenador del SAP San Miguel tiene una capacidad adecuada para sedimentar los materiales arrastrados por el agua. La acumulación de sedimentos en el fondo del tanque es baja, lo que es positivo. Pero que su estructura se estaba viendo afectada por la presencia de fugas por compuerta de lavado, que significa deterioro para la estructura.
- La tubería de conducción del SAP San Miguel presenta tramos con presiones superiores a la recomendada, lo que podría causar daños a largo plazo en la infraestructura. Es importante que se revisen y ajusten los tramos de la tubería que presentan cargas excesivas para evitar problemas estructurales, que presentó una carga máxima de  $158.33\text{m.c.a}$ , excedía de esta manera lo permisible de  $102\text{m.c.a}$ ., y asegurar una conducción de agua eficiente y segura para la línea de conducción y para el suministro de agua potable a la población usuaria.
- El reservorio del SAP San Miguel presentaba fisuras y desgaste en su estructura, lo que en el tiempo podría generar pérdidas de agua. Además, por la evaluación

hidráulica presentó un volumen de almacenamiento de  $238.35\text{m}^3$ , que al contar con una capacidad de  $210.00\text{m}^3$ , puede comprometer el volumen necesario para abastecer a la población, especialmente en situaciones de emergencia, como incendios. Es crucial asegurar que el volumen de reserva y el volumen para incendios sean suficientes para cubrir las necesidades de la población en todo momento.

- A pesar de que la red de distribución de agua en San Miguel cumple con ciertos estándares, aún presenta deficiencias, como fugas en válvulas. Esto puede generar pérdidas de agua, que es un recurso escaso y esencial para la población que además afecta la calidad del servicio. Sumado a que, por la evaluación hidráulica la red presentaba presiones por debajo de  $10\text{m.c.a.}$  y excedían de los  $120\text{m.c.a.}$ , que claramente estuvieron fuera de los rangos recomendados.
- Aunque la calidad del agua en San Miguel cumple en su mayoría con los estándares establecidos por las autoridades, algunos parámetros como el pH y la turbiedad exceden los límites en ciertas mediciones. Además, la falta de monitoreo constante puede comprometer la gestión adecuada de la calidad del agua.
- Los resultados de la evaluación hidráulica del SAP San Miguel muestran que el caudal disponible es suficiente para cubrir la demanda de la población durante la temporada de estiaje. Sin embargo, la capacidad del sistema podría verse comprometida por un aumento en la población o la demanda. Es necesario monitorear constantemente los niveles de agua y la capacidad del sistema para anticipar y mitigar posibles deficiencias en el futuro.

## **Recomendaciones**

- Se recomienda hacer un modelamiento hidráulico de la bocatoma del SAP San Miguel.
- Se recomienda realizar un análisis de riesgos de desastres en relación al SAP San Miguel.
- Se recomienda evaluar el impacto de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos de la cuenca de aporte del SAP San Miguel.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, F. 2015. Abastecimiento de Agua para Comunidades Rurales. 1 ed. Ecuador, Universidad Técnica de Machala. 150 p.
- Aguirre, F. S., Castro, D. G., Ramirez, L. A. s. f. Canales y desarenadores como tratamiento preliminar en el agua para consumo humano. EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión :20.
- Almora, J. L. 2009. Programa para diseño de bocatomas. 1 ed. Perú, Arcángel. 66 p.
- ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados de El Salvador). 2014. Normas Técnicas para abastecimiento de agua potable y alcantarillados de aguas negras. El Salvador, s.e. 79 p.
- Arocha, S. 1997. Abastecimientos de Agua: Teoría y diseño. 3 ed. Caracas, Venezuela, Innovación Tecnológica. 400 p.
- Azevedo. 2005. Manual de Hidráulica. 8 ed. Sao Paulo, Brasil, Edgard Blücher. 669 p.
- Carrión, F., Dammert, M. 2019. Derecho a la ciudad: una evocación de las transformaciones urbanas en América Latina. 1 ed. Lima, Perú, Asociación Grafica Educativa. 35 p.
- CBCR (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica). 2020. Manual de Diseño de Hidrantes y Tanques de Reserva. Costa Rica, s.e. 54 p.
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2004. Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural. Lima, Perú, s.e. 19 p.
- \_\_\_\_\_. 2005. Guía para el diseño de redes de distribución en sistemas rurales de abastecimiento de agua. Lima, Perú, s.e. 13 p.
- \_\_\_\_\_. 2003. Algoritmo para la selección de tecnología para el abastecimiento rural de agua. Lima, Perú, s.e. 8 p.
- \_\_\_\_\_. 2004. Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales. Lima, Perú, s.e. 25 p.
- \_\_\_\_\_. 2004. Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyados. Lima, Perú, s.e. 35 p.
- \_\_\_\_\_. 2005. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima, Perú, s.e. 34 p.
- Chow, V. T. 1994. Hidráulica de canales abiertos. 1 ed. Colombia, McGraw-Hill. 667 p.
- Córdova, F. D. 2018. Diseño de la línea de aducción y red de distribución para el sistema de abastecimiento de agua potable en el caserío de Barro Blanco, distrito de Uchiza, provincia de Tocache, departamento San Martín – 2018. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote :68.

- EPS SEDACAJ S.A. (Empresa Prestadora de Servicios Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Cajamarca Sociedad Anónima). 2019. Diagnóstico Hídrico Rápido de las cuencas de aporte que abastecen de agua a la EPS SEDACAJ S.A. s.l., s.e.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2014. Estructura de conducción del agua.
- Figueroa, J. R., Rentería, R., Martín, P. 2023. La gestión de los recursos hídricos en el municipio de Culiacán, Sinaloa, México. *Economía, Población y Desarrollo* :52.
- GRC (Gobierno Regional de Cajamarca). 2017. Estudio de Diagnóstico y Zonificación para Fines de Demarcación Territorial de la Provincia de San Miguel. Cajamarca, Perú, s.e. 219 p.
- Henríquez, N., Vila, G. 2023. Pensando la Región Andina: Diálogos interdisciplinarios sobre desigualdades y desarrollo. 1 ed. Lima, Perú, s.e. 581 p.
- ICAA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). 2017. Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de de Saneamiento y Pluvial. s.l., s.e. 204. p.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional del Perú). 2015. Norma Técnica Geodésica: Especificaciones técnicas para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global. Lima, Perú, s.e. 50 p.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú). 2022. Nota de prensa N°115: Población peruana alcanzó los 33 millones 396 mil personas en el año 2022. :3.
- López, L. 2004. Manual de Hidráulica. 1 ed. Alicante, España, Universidad de Alicante. 414 p.
- MAB (Ministerio del Agua de Bolivia). 2004. Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable. s.l., s.e. 353. p.
- Magne, F. M. 2008. Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable. 1 ed. Cochabamba, Bolivia, Universidad Mayor de San Simón. 401 p.
- Mansen, A. s. f. Diseño de bocatomas. 1 ed. Perú, Univesridad Nacional de Ingeniería. 47 p.
- Márquez, O., Ortega, M. 2017. Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz. :19.
- Méndez, G. 2012. Línea de conducción. s.l., s.e.
- \_\_\_\_\_. s. f. Agua Potable: Almacenamiento. s.l., s.e.
- Metzger, P., Rebotier, J., Robert, J., Urquieta, P., Vega, P. 2016. Cuestión urbana en la región andina: Miradas sobre la investigación y la formación. 1 ed. Quito, Ecuador, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 297 p.

- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego del Perú). 2016. Decreto Supremo N°022-2016-MINAGRI. s.l., s.e. 5. p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú). 2017. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. s.l., s.e. 10. p.
- Montero, C. V. 2022. Impacto de los servicios de agua y saneamiento sobre las enfermedades diarreicas en los niños de la sierra del Perú. Análisis Económico y Financiero :8.
- MOP (Ministerio de Obras Públicas de Chile). 2019. Manual de Proyectos de Agua Potable Rural. Chile, s.e. 57 p.
- Morales, M. A., Romero, K. K., Garzón, R.E. 2019. Aplicación del software educativo Cefficiency para el diseño de canales de máxima eficiencia hidráulica. Universidad Autónoma de Sinaloa :6.
- Morales, C., Teutli, E. A., Martínez, V., Castillo, L. A., Linares, I. 2023. El estrés hídrico en México: retos, estrategias y tendencias futuras de cómo enfrentar el Día Cero. Estudios Transdisciplinaria :9.
- MPSM (Municipalidad provincial de San Miguel). 2022. Plan anual de evaluación y fiscalización ambinetal - PLANEFA 2023. s.l., s.e.
- \_\_\_\_\_. 2022. Plan Operativo Institucional 2022 para la Gestión de los Servicios de Agua y Saneamiento - Área Técnica Municipal (ATM). s.l., s.e.
- MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala). 2011. Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano. Guatemala, s.e. 64 p.
- MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú). 2018. Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento rural. s.l., s.e. 189. p.
- \_\_\_\_\_. 2023. Norma OS.050 Redes de distribución de agua para consumo humano. s.l., s.e. 7. p.
- \_\_\_\_\_. 2023. Norma OS.100 Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria. s.l., s.e. 3. p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2003. Cantidad de agua doméstica, nivel de servicio y salud. OMS :39.
- OTASS (Organismo Técnico de Administración de los Servicios de Saneamiento). 2022. Guía de capacitación Estándar de Competencia (EC1). Lima, Perú, s.e. 84 p.
- Pedroza, E. 2018. Hidráulica Básica Historia, conceptos previos y ecuaciones. 1 ed. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 94 p.
- Pértile, V., Manoiloff, R. 2013. La ciudad / Elemento Especial. :11.
- Poder Legislativo. 2009. Ley de recursos hídricos. s.l., s.e. p. 14.

- \_\_\_\_\_. 2016. Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento. s.l., s.e. p. 50.
- Ponce, A. E., Martínez, E., Ríos, R. 2023. Análisis del desempeño de la red de agua potable en Salina Cruz, México. Ingeniería Industrial :28.
- PROAPAC (Programa de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en Pequeñas y Medianas Ciudades de Bolivia). 2010. Modelación Hidráulica. s.l., s.e.
- PROREGIÓN (Unidad Ejecutora de Programas Regionales del Gobierno Regional de Cajamarca). 2010. Expediente técnico: “Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de San Miguel”. s.l., s.e.
- \_\_\_\_\_. 2018. Expediente técnico: “Construcción Captación de Línea de Conducción Santa Rosa, como meta del proyecto de Inversión Pública: Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de San Miguel , con código SNIP N°58537”. s.l., s.e.
- Ramos, C. L. 2014. Diseño de estructuras hidráulicas. 1 ed. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 294 p.
- Regal, A. 2008. Abastecimiento de agua y alcantarillado. 1 ed. Perú, Ciencias. 204 p.
- Rodríguez, P. 2001. Abastecimiento de agua. 1 ed. Oaxaca, México, s.e. 499 p.
- Rossmann, L. A., Water Supply and Water Resources Division; National Risk Management Research Laboratory; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2017. Manual del Usuario EPANET 2.0 en Español. España, s.e. 296 p.
- SANAA (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillas de Honduras). 2014. Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable para Poblaciones Rurales. Honduras, s.e. 118 p.
- Sanchez, J. P., Jerez, L. K. 2018. Estudio del porcentaje de eficiencia de la remoción de arenas en desarenadores de flujo horizontal construidos respecto a teorías diseño de diseño. Ciencia Unisalle :203.
- SEDAPAL (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima). 2010. Reglamento de elaboración de proyectos de agua potable y alcantarillado para habilitaciones urbanas de Lima Metropolitana y Callao. Lima, Perú, s.e. 100 p.
- Seminario, B. 2016. El desarrollo de la economía peruana en la era moderna. Primera edición. Lima, Perú, Universidad del Pacífico. 1300 p.
- SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento) ODS Cajamarca. 2022. Informe de Fiscalización de campo respecto al cumplimiento normativo en aspectos operacionales de la empresa prestadora EPS SEDACAJ S.A. s.l., s.e.
- Sviatoslav, K. 1986. Diseño hidráulico. 3 ed. Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional. 445 p.
- TIGRE PERU. 2023. Ficha Técnica Unión Flexible Tigre. s.l., s.e.

- Tzatchkov, V. G., Alcocer, V. H. 2016. Modelación de la variación del consumo de agua potable con métodos estocásticos. :19.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. París, Francia, Lucart. 215 p.
- Vierendel. 2009. Abastecimiento de agua y alcantarillado. 4 ed. Lima, Perú, Univerisdad Nacional de Ingeniería. 150 p.
- Villón, M. 2007. Hidráulica de canales. 2 ed. Lima, Perú, Villón. 508 p.

## LINKOGRAFÍA

- AEGRA (Agua y Energía de Granada). 2020. ¿Cómo funciona una red de abastecimiento de agua? Disponible en <https://www.aegra.es>.
- Albarrán, L. E. 2019. Evaluación de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable de la localidad de Shirac, San Marcos – Cajamarca. Propuesta de Mejora (en línea). Tesis Ing. Cajamarca - Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 136 p. Disponible en <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3115>.
- Alcas, A. A., Lizaraburu, C. G. 2023. Diseño y modelamiento hidráulico de una bocatoma para mejorar el sistema de riego en el Centro Poblado - Buena Vista, Distrito de Chao, Virú 2021 (en línea). Tesis Ing. Trujillo, Perú, Universidad Privada Antenor Orrego. 136 p. Disponible en <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/10978>.
- Alfaro, J. C., Rodríguez, O. D. 2019. Propuesta de diseño de un sistema de agua potable y alcantarillado para el caserío el Progreso, aplicando fórmulas matemáticas y el uso del software WaterGEMS y SewerGEMS (en línea). Tesis Ing. Trujillo, Perú, Universidad Privada Antenor Orrego. 257 p. Disponible en <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7385>.
- Alvarez, J. I. 2022. Modelo Hidrológico para pronosticar Caudales Recesivos y estimar el Coeficiente de Agotamiento: Caso Río Jequetepeque aguas arriba de la presa “Gallito Ciego” - Contumazá, 2020 (en línea). Tesis Dr. Ing. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 182 p. Disponible en <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5261>.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua del Perú). 2018. Reglamento de operadores de infraestructura hidráulica (en línea). s.l., s.e. 59. p. Disponible en <https://www.ana.gob.pe>.
- \_\_\_\_\_. 2015. Guía para realizar inventarios de fuentes naturales de agua superficial (en línea). Lima, Perú, s.e. 39 p. Disponible en [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.\\_319-2015-ana\\_3.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._319-2015-ana_3.pdf).
- Arellano, A., Bayas, A., Meneses, A., Castillo, A. 2021. Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes (en línea). NOVA Sinergia . Disponible en <https://novasinergia.unach.edu.ec/index.php/novasinergia/article/view/22>.
- Arnao, N. H., Paricahua, J. P., Mamani, V. M. 2022. Diseño del Mejoramiento del Sistema de Riego del distrito de Santa Rosa provincia de el Collao Región Puno (en línea). Tesis Ing. Trujillo, Perú, Universidad Privada de Trujillo. 175 p. Disponible en <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/724>.

- Asalde, J. W. 2020. Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, del tramo Km 0+000 al Km 3+085, en el distrito de Salas, región Lambayeque (en línea). Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad de San Martín de Porres. 99 p. Disponible en <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6942>.
- Ayala, E. T. 2017. La ciudad como espacio habitado y fuente de socialización. :28p. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357851475008>.
- Bayona, B. J. 2021. Optimización del proceso de la planta de tratamiento de agua potable de la U.N.P. (en línea). Tesis Ing. Piura, Perú, Universidad Nacional de Piura. 238 p. Disponible en <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2960>.
- Calero, C. M. 2019. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en el distrito de Santa Rosa de Alto Yanajanca, provincia de Marañón, departamento de Huánuco – Perú, 2019 (en línea). Tesis Ing. Piura, Universidad Nacional de Piura. 243 p. Disponible en <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2203>.
- Calle, D. A., Pauta, J. M. 2021. Evaluación y plan de mejoramiento para el sistema de agua potable de la comunidad de Santa Teresita, Parroquia Chiquintad (en línea). Tesis Ing. Cuenca – Ecuador, Universidad del Azuay. 72 p. Disponible en <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11368>.
- Chávez, J. J., Salazar, L. A. 2022. Diseño de la Bocatoma y línea de conducción del sistema de riego Sausal en el sector La Barranca, La Libertad (en línea). Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 543 p. Disponible en <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18840>.
- Cieza, J. M. 2021. Evaluación de Los Sistemas de Agua Potable de Las Localidades que conforman El Centro Poblado Chilimpampa Baja – Cajamarca, 2018 (en línea). Tesis Ing. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 77 p. Disponible en <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4137>.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua de México). 2019. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable (en línea). México, Comisión Nacional de Agua. 134 p. Disponible en <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>.
- \_\_\_\_\_. 2019. Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución (en línea). México, s.e. 192 p. Disponible en <https://www.gob.mx/conagua>.
- Contreras, L. S., Villegas, A. R. 2019. Diseño Hidráulico y Estudio de Rentabilidad del Proyecto de la Bocatoma San Pedro para abastecer las zonas agrícolas de San Pedro y Santa Cruz en la región Ayacucho (en línea). Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 175 p. Disponible en <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/628226>.
- Cruz, H., Ramos, F. 2009. Análisis hidráulico del sistema de bombeo a través de tanques hidroneumáticos para el abastecimiento de agua potable de un edificio

habitacional (en línea). Tesis Ing. Distrito Federal, México, Universidad Profesional Azcapotzalco. 115 p. Disponible en <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2768>.

De Castro. (2016). El papel de la infraestructura hídrica en América Latina. 2. Disponible en <https://www.caf.com/es/blog/el-papel-de-la-infraestructura-hidrica-en-america-latina/>.

Espinel, A. A., Castiblanco, G. A., Guerrero, Á. D., Prada, G. A. 2014. Estudio de prefactibilidad para el sistema de acueducto complementario de la cabecera municipal de la Vega, Cundinamarca (en línea). Tesis Ing. Bogotá, Colombia, Universidad Militar de Nueva Granada. 375 p. Disponible en <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10837>.

EPS SEDACAJ S.A. (Empresa Prestadora de Servicios Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Cajamarca Sociedad Anónima). 2019. Plan Maestro Optimizado Quinquenio 2019-2023 (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.sedacaj.com.pe/>.

\_\_\_\_\_. 2022. Estructura Organizacional de la EPS SEDACAJ S.A. (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.sedacaj.com.pe/>.

\_\_\_\_\_. 2022. Memoria Anual 2022 (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.sedacaj.com.pe/>.

\_\_\_\_\_. 2022. Plan de Contingencia de la Localidad de San Miguel - EPS SEDACAJ S.A. ante el Escenario de lluvias Intensas - 2023 (en línea). Cajamarca, Perú, s.e. 56 p. Disponible en <https://www.sedacaj.com.pe/>.

\_\_\_\_\_. 2023. Memoria Anual 2023 (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.sedacaj.com.pe/>.

\_\_\_\_\_. 2023. Plan Integral de Gestión de Riesgos de Desastres del sistema San Miguel (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.sedacaj.com.pe/>.

Gaviria, L., Pino, M., Soto, S. 2016. Evaluación del Saneamiento Ambiental Sostenible en las Zonas Atendidas por ASADAs en el Cantón Central (en línea). Costa Rica, s.e. 54 p. Disponible en <https://hdl.handle.net/2238/7018>.

Gonzales, S. S. 2020. Verificación del comportamiento hidráulico del Desarenador de la Central Hidroeléctrica Quiroz mediante Ansys CFX (en línea). Tesis Ing. Piura, Perú, Universidad de Piura. 148 p. Disponible en <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4697>.

Gonzales, A. A. 2019. Evaluación de la Línea de Conducción de la Red de Agua Potable de la ciudad de Jaén (en línea). Tesis Ing. Jaén, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 102 p. Disponible en <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2922>.



- Nasimba, J. A. 2017. Evaluación y rediseño del sistema de agua potable entre el Parque Central de Cotogchoa y la Cooperativa Eloy Alfaro, Cantón Rumiñahui (en línea). Tesis Ing. Sangolquí, Ecuador, s.e. 182 p. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13281>.
- Oblitas, L. (2010). Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú: Beneficios potenciales y determinantes de éxito. CEPAL. Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3819-servicios-agua-potable-saneamiento-peru-beneficios-potenciales-determinantes>.
- Ortiz, M. L., Pérez, R. M. 2023. Mejoramiento y optimización del sistema de distribución de agua potable del Casco Central de la Parroquia San Antonio de Pasa, Cantón Ambato, Provincia Tungurahua (en línea). Tesis Ing. Ambato-Ecuador, Universidad Técnica de Ambato. 423 p. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37082>.
- Pavesi, L. (2022). Estudio de vulnerabilidad en sistemas de agua potable rural en torno a la disponibilidad de recursos hídricos y medidas de mitigación (en línea). Santiago de Chile, Universidad de Chile. 153 p. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/188783>.
- Salazar, K. D. 2019. Estimación de pérdidas de caudal y coeficiente de rugosidad del tramo comprendido entre el óvalo 12 al 19 del canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua (en línea). Tesis Ing. Ambato, Ecuador, Universidad Técnica de Ambato. 131 p. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30174>.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2010. Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030 (en línea). Lima, Perú, s.e. 26 p. Disponible en <https://idesepe.senamhi.gob.pe/portaledesepe/>.
- \_\_\_\_\_. 2023. Condiciones secas en el Perú durante el periodo hidrológico 2022-2023 (en línea). Lima, Perú, s.e. 42 p. Disponible en <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/4193547-condiciones-secas-en-el-peru-durante-el-periodo-hidrologico-2022-2023>.
- \_\_\_\_\_. 2023. Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático (en línea). Lima, Perú, s.e. 39 p. Disponible en <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/2710>.
- SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento del Perú). 2007. Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento (en línea). s.l., s.e. 122. p. Disponible en <https://www.gob.pe/sunass>.
- \_\_\_\_\_. (2016). Exposición de motivos: Modificación del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento Resolución N°0.16-2016-SUNASS-CD (en línea). Lima, Perú, Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. 14 p. Disponible en <https://www.gob.pe/sunass>.

- \_\_\_\_\_. 2016. Modificación del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento (en línea). s.l., s.e. 14. p. Disponible en <https://www.gob.pe/sunass>.
- \_\_\_\_\_. 2019. Estudio Tarifario 2019-2024 Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Cajamarca Sociedad Anónima (EPS SEDACAJ S.A.) (en línea). Lima, Perú, s.e. Disponible en <https://www.gob.pe/sunass>.
- \_\_\_\_\_. 2023. Empresas prestadoras de servicios de saneamiento. SUNASS (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.gob.pe/sunass>.
- Tapia, M. H. 2019. Evaluación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de la Zona Operacional XII de la Ciudad Del Cusco (en línea). Tesis Ing. Cusco, Perú, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. 144 p. Disponible en <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/3746>.
- Teichmann, M., Kuta, D., Endel, S., Szeligova, N. 2020. Modelado y optimización de la red de suministro de agua potable: un estudio de caso del sistema de la República Checa (en línea). MDPI . Disponible en <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/23/9984>.
- Timaná, J. (2020). Crisis de la infraestructura de saneamiento. Disponible en <https://www.udep.edu.pe/hoy/2020/07/crisis-de-la-infraestructura-de-saneamiento/>.
- Toapanta, C. E. 2023. Diseño hidráulico de la conducción y descarga de los remanentes del óvalo frutillar de la junta de aguas Chacón Sevilla, sector Izamba, Cantón Ambato, provincia Tungurahua (en línea). Tesis Ing. Ambato, Ecuador, Universidad Técnica de Ambato. 116 p. Disponible en <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/38170>.
- Usua, E. L. 2020. Determinación de los coeficientes de variación de consumo diario y horario de agua potable en la ciudad de Huaraz 2018 (en línea). Tesis Ing. Ancash, Perú, Universidad Santiago Antúnez de Mayolo. 222 p. Disponible en <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4487>.
- Vargas, A. M. 2022. Evaluación del Sistema Hidráulico para el mejoramiento de agua potable de la localidad 23 de Mayo - Buenos Aires- San Martín (en línea). Tesis Ing. Tarapoto, Perú, Universidad Nacional de San Martín. 77 p. Disponible en <http://hdl.handle.net/11458/4476>.
- Vera, D. M. 2018. Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el Distrito de Chupaca (en línea). Tesis Ing. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú. 204 p. Disponible en <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5690>.

Zurita, A. J. 2020. Diseño del sistema de agua potable para el barrio Señor de los Milagros, Canoas de Punta Sal-Tumbes (en línea). Tesis Ing. Piura, Universidad de Piura. 114 p. Disponible en <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4627>.

# **ANEXOS**

**Tabla 45:** Valores del coeficiente de rugosidad de Manning

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosolada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.020	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o riprap	0.020	0.030	0.035
b. Fondo de gravas con lados de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sin mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o riprap	0.023	0.033	0.036
c. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
d. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
e. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
f. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
g. Revestimiento vegetal	0.030	.....	0.500

Fuente: (Chow, 1994)

**Tabla 46:** Viscosidad cinemática del agua

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Viscosidad cinemática del agua (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)</b>
0	1.785x10 <sup>-6</sup>
5	1.519x10 <sup>-6</sup>
10	1.306x10 <sup>-6</sup>
15	1.139x10 <sup>-6</sup>
20	1.003x10 <sup>-6</sup>
25	0.893x10 <sup>-6</sup>
30	0.800x10 <sup>-6</sup>
40	0.658x10 <sup>-6</sup>

Fuente: (Aguirre, 2015)

**Figura 60:** Documento por acceso a información solicitada ante EPS SEDACAJ S.A.

EPS SEDACAJ S.A.  
 Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento  
 De Cajamarca Sociedad Anónima  
 Jr. Cruz de Piedra Nº 150 - Cajamarca  
 Tlf: 36 2120 - 36 3660 - 36 7952

3142

22 DICIEMBRE DEL 2022

BECERRA COTRINA, JOSE VICTOR

REMITENTE

ASUNTO:

SOLICITA INFORMACION

PARA ENTREGAR A:	ACCION	FIRMA	FOLIOS	FECHA
GERENCIA GENERAL	02		01	22 DICIEMBRE DEL 2022
<i>ASST. G.G.</i>	<i>(22)</i>	<i>[Signature]</i>	<i>01</i>	<i>22 Dic 2022</i>

OBSERVACIONES: *(22) Comunicar al sistema para que coordine con las áreas pertinentes*

**CODIFICACION DE ACCIONES**

<ul style="list-style-type: none"> <li>1.- Conocimiento y Fines.</li> <li>2.- Por Corresponderle</li> <li>3.- Acción Inmediata</li> <li>4.- Visar</li> <li>5.- Estudiar y Recomendar</li> <li>6.- Archivar</li> <li>7.- Coordinar con</li> <li>8.- Dar su Conformidad</li> <li>9.- Devolver al Interesado</li> <li>10.- Agréguese al Expediente</li> <li>11.- Revisar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>12.- Tomar Nota, Devolver</li> <li>13.- Preparar Respuestas</li> <li>14.- Hacer Inspección</li> <li>15.- Informar por Escrito</li> <li>16.- Cancelar</li> <li>17.- Adjuntar Antecedentes</li> <li>18.- Expedir Constancia</li> <li>19.- Expedir Certificado</li> <li>20.- Transcribir</li> <li>21.- Proyectar Resolución</li> <li>22.- Ver Observaciones</li> </ul>
--	--

Fuente: EPS SEDACAJ S.A.

**Figura 61:** Carta de respuesta por información solicitada ante PROREGIÓN

	<b>GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA</b> UNIDAD EJECUTORA DE PROGRAMAS REGIONALES-PROREGIÓN DIRECCIÓN EJECUTIVA	
<i>"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"</i>		
Cajamarca, 21 de setiembre de 2023		
<b>CARTA N° 68 -2023-GR-CAJ/PROREGIÓN/DE</b>		
<b>Señor</b> <b>Bach. José Víctor BECERRA COTRINA</b> <b>Bach. Ingeniería Civil</b>  <b><u>Josevictorbv13@gmail.com</u></b>		
<u>Celendín</u>		
<b>Asunto</b>	<b>: Remite Información Solicitada</b>	
<b>Ref.</b>	<b>: a) Informe N° 045-2023-GR.CAJ-PROREGION/OA/LAFY</b> <b>b) Solicitud de fecha 12 de setiembre de 2023</b>	
<p>Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, así mismo en virtud a la <b>Solicitud de fecha 12 de setiembre de 2023</b>; referente al PIP <b>"Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de San Miguel"</b>, se remite la información solicitada en formato digital (01 CD), para su conocimiento y fines pertinentes.</p>		
<p>Sin otro particular, quedo de usted.</p>		
<p>Atentamente,</p>		
		
<p>Ing. César Augusto Plasencia Fernández Director Ejecutivo PROREGION GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA</p>		
C.c. Archivo CAPF/zmba		
Jr. Angamos N° 934-Cajamarca		tramiteproregion@regioncajamarca.gob.pe

Fuente: PROREGIÓN

**Figura 62:** Carta por información solicitada ante la ODS SUNASS Cajamarca

	<b>PERÚ</b>	Presidencia del Consejo de Ministros	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento	Responsable de Acceso a la Información Pública
---	-------------	--------------------------------------	---	--

*"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"*

Cajamarca, 23 de agosto de 2023.

**CARTA N° 03-2023-SUNASS-RT-ODS CAJAMARCA.**

**Señor:**  
JOSÉ VICTOR BECERRA COTRINA  
Ciudad de Cajamarca  
Presente.-

**Referencia:** Solicitud de acceso información pública registrada el 15.08.2023  
(Registro N° 2023-E06-003121)

Estimado Sr:

Me dirijo a usted con relación al documento de la referencia mediante el cual solicité:

*"Informe sobre Fiscalización de aspectos operacionales de la EPS Sedacaj San Miguel y Cajamarca (2021-2022)"  
Informe de Monitoreo de continuidad del servicio de la EPS Sedacaj San Miguel (2021 – 2022)"*

Respecto a la documentación solicitada, se adjunta al presente 4 archivos PDF los cuales contienen los siguientes informes:

**INFORME INICIAL DE SUPERVISIÓN N° 220-2021-SUNASS-ODS-CAJ-ESP.  
INFORME N° 272-2021-SUNASS-ODS-CAJ-ESP.  
INFORME FINAL DE SUPERVISIÓN N° 304-2021-SUNASS-ODS-CAJ-ESP.  
INFORME DE FISCALIZACIÓN N° 0289-2022-SUNASS-ODS-CAJ-ESP.**

Procedo a entregar dicha información dentro del plazo legal establecido en el literal b) del artículo 11 del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública<sup>1</sup>.

Atentamente,

Documento firmado digitalmente  
**KAREN ELIZABETH SÁNCHEZ SÁNCHEZ**  
**Responsable de Atención de Solicitudes de Acceso a la Información Pública**  
**ODS SUNASS CAJAMARCA**



Firmado digitalmente por:  
SANCHEZ SANCHEZ Karen  
Elizabeth FAU 20158219655 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 23/08/2023 16:17:40-0500

<sup>1</sup> Decreto Supremo N° 021-2019-JUS que aprueba el Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública  
Artículo 11.- Procedimiento  
El acceso a la información pública se sujeta al siguiente procedimiento:  
(...)  
b) La entidad de la Administración Pública a la cual se haya presentado la solicitud de información debe otorgarla en un plazo no mayor de diez (10) días hábiles, sin perjuicio de lo establecido en el literal g).  
(...)  
**Oficina Desconcentrada de Servicios Cajamarca**  
Dirección: Jr. Santa Teresa de Jourmet N° 161- Cajamarca - Perú  
Fono Sunass: 076 – 291053  
www.sunass.gob.pe

Fuente: ODS SUNASS Cajamarca

**Figura 63:** Carta de respuesta por información solicitada ante la Micro Red de Salud

San Miguel

	<b>GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>DIRECCION REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA</b> <b>RED DE SALUD SAN MIGUEL</b> <b>MICRO RED SAN MIGUEL</b>	
---	--	---

---

San Miguel, 16 de octubre del 2023.

**Carta N° 014-2023-C.S.S.M.**

**Sr. (a) : JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA**

**Asunto : ENTREGA DE INFORMACIÓN SOLICITADA**

De mi consideración

Por medio del presente le hago llegar mi cordial saludo y a la vez en atención a su solicitud, se le hace llegar la información solicitada con la que se cuenta, para uso en la Tesis “Evaluación hidráulica del Sistema de Agua Potable de la Ciudad de San Miguel – Cajamarca”, la cual fue adjunta en archivo digital.

Atentamente,



DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD  
JEFATURA  
MICRO RED SAN MIGUEL



DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA  
RED DE SALUD SAN MIGUEL  
MICRORED SAN MIGUEL

-----  
Dr. Teofilo Carlos Ramos Manayay  
JEFE DE MICRORED

Fuente: Micro Red de Salud San Miguel

**Figura 64:** Oficio de respuesta por información solicitada ante DIRESA Cajamarca

	<p><b>GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA</b> <b>DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA</b> <b>DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL</b></p> <p><i>"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"</i></p>	
		<p>MAD N°: <b>8778820</b></p>
		<p>Cajamarca, 22 de noviembre del 2023.</p>
	<p><u>OFICIO N° 5771 - 2023- GR.CAJ - DRSC/DESA - USB.</u></p>	
	<p><b>SEÑOR:</b></p>	
	<p><b>JOSÉ VICTOR BECERRA COTRINA</b> Bachiller en Ingeniería Civil Prolongación Av. Perú S/N</p>	
	<p><u>Cajamarca</u></p>	
	<p><b>ASUNTO : SE ATIENDE INFORMACIÓN SOLICITADA</b> <b>REFERENCIA : EXPEDIENTE MAD: 8524972</b></p>	
	<p>De mi mayor consideración:</p>	
	<p>Mediante la presente expreso mi cordial saludo y en merito al documento de la referencia, se le informa que no se cuenta con la información solicitada referente a los resultados de análisis de la calidad de agua cruda y agua tratada, del sistema de agua potable, en la ciudad de San Miguel, Distrito y Provincia de San Miguel.</p>	
	<p>Sin otro particular, hago propicia la ocasión, para expresarle mi cordial saludo, agradeciendo de antemano la atención brindada al presente.</p>	
	<p>Atentamente,</p>	
	<p>GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD</p> <p> MC-MSP Victor Julio Zavaleta Gavidia DIRECTOR GENERAL</p>	
		
<hr/> <p>Av. Mario Urteaga 500 - Cajamarca 076-363864 www.diresacajamarca.gob.pe</p>		

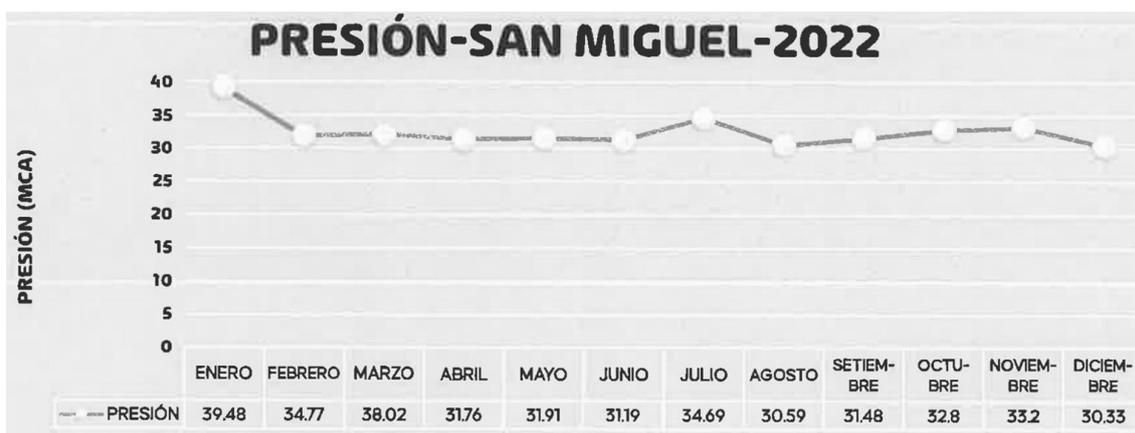
Fuente: DIRESA Cajamarca

**Figura 65:** Continuidad del servicio del SAP San Miguel, 2022



Fuente: (EPS SEDACAJ S.A., 2023)

**Figura 66:** Presión en la red de distribución del SAP San Miguel, 2022



Fuente: (EPS SEDACAJ S.A., 2023)

**Figura 67: Acreditación de disponibilidad hídrica del SAP San Miguel**



**Resolución Administrativa**  
**N° 085-2018 ANA-AAA JZ.V.ALA.J**

ACREDITACIÓN DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL  
Decreto Supremo N° 022-2016-MINAGRI

TRAMITE DOCUMENTARIO  
EPS CARRASCO S.A.  
11 MAR. 2018  
HORA: 12:01  
FOLIO: 053  
N° DOC: 702

**San Pedro de Lloc, 01 de marzo de 2018**

CUT	24395-2018	Fecha Solicitud	13/02/2018
Solicitante	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL SAN MIGUEL.		

De conformidad con el Informe Técnico N°050-2018 ANA-AAA.JZ-ALA.J-SUB SEDE JEQUETEPEQUE/GYV. y de lo establecido en el artículo 2° del Decreto Supremo N° 022-2016-MINAGRI y del expediente que queda registrado con CUT 24395-2018

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.-** Acreditar la disponibilidad hídrica Superficial anual hasta: 346896.000 (m³/año) para el desarrollo del proyecto Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de San Miguel- Cajamarca., por un periodo de dos (02) años, conforme al detalle siguiente:

Fuente de Agua	Río Riopampa y/o Qda El Carrasco					
Ubicación Geográfica del Punto de Captación (WGS84 UTM)	ZONA:17 / Este 737738.0000 / Norte: 9229968.0000 Altitud: 2798.0000 (msnm)					
Localización de la Captación (margen)	Derecha,					
Acreditación para Proyecto (m³)						
Ene :29462.000	Feb :26614.000	Mar :29462.000	Abr :28512.000	May :29462.000	Jun :28512.000	Jul :29462.000
Ago :29462.000	Set :28512.000	Oct :29462.000	Nov :28512.000	Dic :29462.000	Total :346896.000	

**Artículo 2°.-** Los datos del objeto de la acreditación de disponibilidad hídrica, corresponde al detalle siguiente.

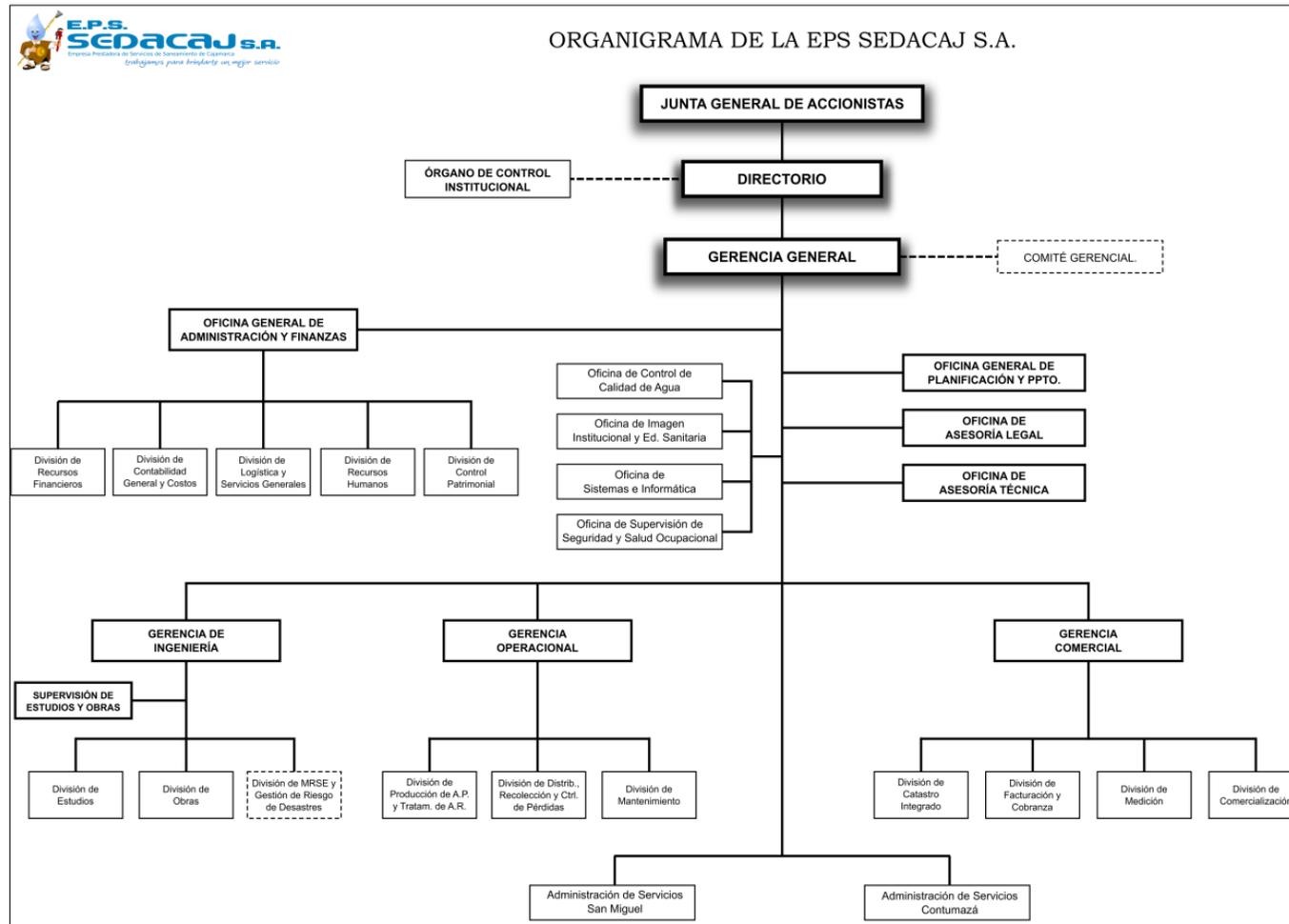
Titular	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL SAN MIGUEL.
Tipo de Uso	<b>Poblacional</b>
Nombre del Proyecto	Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Pctable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de San Miguel- Cajamarca.
Tipo de Proyecto	Mejoramiento de Servicio de saneamiento, ámbito urbano
Ubicación Política del Proyecto	Dpto: Cajamarca, Prov: San Miguel, Dist: San Miguel Jr. Bolognesi 407- Plaza de Armas- distrito San Miguel.
Ubicación Administrativa	AAA: Jequetepeque Zarumilla, ALA: JEQUETEPEQUE



**Ing. Carlos G. Albitz Albitz**  
ADMINISTRADOR LOCAL DE AGUA  
C.I.P. 16886

Fuente: (PROREGIÓN, 2018)

**Figura 68:** Organigrama de EPS SEDACAJ S.A.



Fuente: (EPS SEDACAJ S.A., 2022)

**Figura 69:** Resultados de ensayos de calidad de agua de la fuente de abastecimiento del  
SAP San Miguel

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS									
INFORME DE ENSAYO					IE 0218051				
Cliente:		MUNICIPALIDAD PROVINCIAL SAN MIGUEL							
Localización:		Jr. Bolognesi N° 407							
Atención:		Felipe Hernández Jauregui							
ENSAYOS			Río Riopampa	-	-	-	-	-	ECA A1 (D.S-004)
Parámetro	Unidad	LCM							
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	0.088	-	-	-	-	-	0.9
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-	0.02
Arsénico (As)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-	0.01
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.012	-	-	-	-	-	0.7
Berilio (Be)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-	0.012
Boro (B)	mg/L	0.021	0.082	-	-	-	-	-	2.4
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-	0.003
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	<LCM	-	-	-	-	-	2
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-	0.05
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	0.173	-	-	-	-	-	0.3
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	0.010	-	-	-	-	-	0.4
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0002	<LCM	-	-	-	-	-	0.001
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-	0.07
Níquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-	0.07
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-	0.01
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	-	-	-	-	-	0.04
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-	0.02
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	<LCM	-	-	-	-	-	3
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.064	0.264	-	-	-	-	-	50
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.050	<LCM	-	-	-	-	-	3
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.065	0.303	-	-	-	-	-	250
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0.070	6.539	-	-	-	-	-	250
Turbidez	NTU	0.09	1.83	-	-	-	-	-	5.0
pH a 25°C	pH	NA	7.31	-	-	-	-	-	6.5 - 8.5
Conductividad a 25°C	us/cm	NA	37.3	-	-	-	-	-	1500
Sólidos Disueltos Total	mg/L	2.5	23.2	-	-	-	-	-	1000
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0.5	14.7	-	-	-	-	-	500
Cianuro Total	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-	0.07
Color Verdadero	UC	4.0	6.0	-	-	-	-	-	15
Coliformes Totales	NMP/100mL	1.8	54x10 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	50
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	23	-	-	-	-	-	20
Escherichia coli	NMP/100mL	1.8	23	-	-	-	-	-	0
Organismos de Vida Libre	N° Org/L	1.0	<1	-	-	-	-	-	0

**INTERPRETACIÓN**  
1. Los resultados de la muestra Riopampa, no cumple el parámetro de Coliformes totales, termotolerantes y E. coli, según la Categoría A1. (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección); sin embargo estos valores sí cumpliría para la Categoría A2 (aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional) del D.S. N° 004-2017-MINAM.

**RECOMENDACIONES**  
Para la muestra analizada, pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección.

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA  
LABORATORIO REGIONAL DE AGUA  
  
Bigo, Ronald A. Cáceda-Cuba  
RESPONSABLE DE LA CALIDAD  
GBP: 4995

Cajamarca, 14 de Febrero de 2018.

Página: 1 de 1

Fuente: (PROREGIÓN, 2018)

**Figura 70: Resultados de análisis microbiológico de agua cruda del SAP San Miguel**

 <p>GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL</p> <p>"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"</p> <p><b>LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL</b> ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° 11854 -2023</p>	 <p>GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL</p> <p>"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"</p> <p><b>LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL</b> ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° 11967 -2023</p>	 <p>GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL</p> <p>"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"</p> <p><b>LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL</b> ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° 12194 -2023</p>																																																
<p>Solicitante: José Víctor Becerra Cotrina Dirección: Prolongación Av. Perú # 194 - Cajamarca</p>	<p>Solicitante: José Víctor Becerra Cotrina Dirección: Prolongación Av. Perú # 194 - Cajamarca</p>	<p>Solicitante: José Víctor Becerra Cotrina Dirección: Prolongación Av. Perú # 194 - Cajamarca</p>																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)</th> <th style="width: 50%;">CONTROL DE LABORATORIO</th> </tr> <tr> <td>Procedencia de la muestra: Agua Superficial</td> <td>Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35</td> </tr> <tr> <td>Fecha/hora de muestreo: 15/10/23 16:56</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 16/10/23</td> </tr> <tr> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> </tr> <tr> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> </tr> <tr> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12009</td> </tr> <tr> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 01</td> </tr> <tr> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Ingreso a PTAP</td> </tr> </table>	DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)	CONTROL DE LABORATORIO	Procedencia de la muestra: Agua Superficial	Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35	Fecha/hora de muestreo: 15/10/23 16:56	Fecha de inicio del ensayo: 16/10/23	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12009	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 01	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Ingreso a PTAP	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)</th> <th style="width: 50%;">CONTROL DE LABORATORIO</th> </tr> <tr> <td>Procedencia de la muestra: Agua Superficial</td> <td>Fecha/hora de recepción: 17/10/23 11:15</td> </tr> <tr> <td>Fecha/hora de muestreo: 17/10/23 06:09</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 17/10/23</td> </tr> <tr> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> </tr> <tr> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> </tr> <tr> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12122</td> </tr> <tr> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 04</td> </tr> <tr> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Ingreso a PTAP</td> </tr> </table>	DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)	CONTROL DE LABORATORIO	Procedencia de la muestra: Agua Superficial	Fecha/hora de recepción: 17/10/23 11:15	Fecha/hora de muestreo: 17/10/23 06:09	Fecha de inicio del ensayo: 17/10/23	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12122	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 04	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Ingreso a PTAP	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)</th> <th style="width: 50%;">CONTROL DE LABORATORIO</th> </tr> <tr> <td>Procedencia de la muestra: Agua Superficial</td> <td>Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05</td> </tr> <tr> <td>Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:16</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23</td> </tr> <tr> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> </tr> <tr> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> </tr> <tr> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12349</td> </tr> <tr> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 07</td> </tr> <tr> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Ingreso a PTAP</td> </tr> </table>	DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)	CONTROL DE LABORATORIO	Procedencia de la muestra: Agua Superficial	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:16	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12349	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 07	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Ingreso a PTAP
DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)	CONTROL DE LABORATORIO																																																	
Procedencia de la muestra: Agua Superficial	Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35																																																	
Fecha/hora de muestreo: 15/10/23 16:56	Fecha de inicio del ensayo: 16/10/23																																																	
Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847																																																	
Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																	
Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12009																																																	
Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 01																																																	
Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Ingreso a PTAP																																																	
DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)	CONTROL DE LABORATORIO																																																	
Procedencia de la muestra: Agua Superficial	Fecha/hora de recepción: 17/10/23 11:15																																																	
Fecha/hora de muestreo: 17/10/23 06:09	Fecha de inicio del ensayo: 17/10/23																																																	
Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847																																																	
Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																	
Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12122																																																	
Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 04																																																	
Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Ingreso a PTAP																																																	
DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)	CONTROL DE LABORATORIO																																																	
Procedencia de la muestra: Agua Superficial	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05																																																	
Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:16	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23																																																	
Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847																																																	
Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																	
Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12349																																																	
Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 07																																																	
Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Ingreso a PTAP																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Código Lab.</th> <th colspan="4">Ensayos</th> </tr> <tr> <th>Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C</th> <th>E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12009</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">1600</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>	Código Lab.	Ensayos				Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C	12009	-	1600	70	-	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Código Lab.</th> <th colspan="4">Ensayos</th> </tr> <tr> <th>Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C</th> <th>E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12122</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">280</td> <td style="text-align: center;">79</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>	Código Lab.	Ensayos				Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C	12122	-	280	79	-	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Código Lab.</th> <th colspan="4">Ensayos</th> </tr> <tr> <th>Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C</th> <th>E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12349</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">3500</td> <td style="text-align: center;">23</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>	Código Lab.	Ensayos				Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C	12349	-	3500	23	-						
Código Lab.		Ensayos																																																
	Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C																																														
12009	-	1600	70	-																																														
Código Lab.	Ensayos																																																	
	Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C																																														
12122	-	280	79	-																																														
Código Lab.	Ensayos																																																	
	Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (NMP/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (NMP/100 ml) a 44,5°C																																														
12349	-	3500	23	-																																														
<p>Nota &lt; 1.8 significa ausencia Límite de Detección del Método &lt; 1.8</p>	<p>Nota &lt; 1.8 significa ausencia Límite de Detección del Método &lt; 1.8</p>	<p>Nota &lt; 1.8 significa ausencia Límite de Detección del Método &lt; 1.8</p>																																																
<p>Método de ensayo: Standard Method Part. 9000. Method 9221 B, E. Multiple-tube fermentation technique for members of the Coliform Group. APHA, AWW, WEF. 22 th ed. 2012</p>	<p>Método de ensayo: Standard Method Part. 9000. Method 9221 B, E. Multiple-tube fermentation technique for members of the Coliform Group. APHA, AWW, WEF. 22 th ed. 2012</p>	<p>Método de ensayo: Standard Method Part. 9000. Method 9221 B, E. Multiple-tube fermentation technique for members of the Coliform Group. APHA, AWW, WEF. 22 th ed. 2012</p>																																																
<p>Cajamarca, 24 de Octubre de 2023</p>  <p>Bigo. Jorge A. Salazar Cabañas LABORATORIO DE AGUA Y ALIMENTOS CER. N° 5874</p>	<p>Cajamarca, 25 de Octubre de 2023</p>  <p>Bigo. Jorge A. Salazar Cabañas LABORATORIO DE AGUA Y ALIMENTOS CER. N° 5874</p>	<p>Cajamarca, 27 de Octubre de 2023</p>  <p>Bigo. Jorge A. Salazar Cabañas LABORATORIO DE AGUA Y ALIMENTOS CER. N° 5874</p>																																																

Fuente: DESA Cajamarca

**Figura 71: Resultados de análisis microbiológico de agua tratada del SAP San Miguel**

 <p>GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL</p> <p>"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"</p> <p><b>LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL</b> ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° 11855 -2023</p>	 <p>GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL</p> <p>"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"</p> <p><b>LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL</b> ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° 11968 -2023</p>	 <p>GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL</p> <p>"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"</p> <p><b>LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL</b> ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° 12195 -2023</p>																																																																																																
<p>Solicitante: <b>José Víctor Becerra Cotrina</b> Dirección: <b>Prolongación Av. Perú # 194 - Cajamarca</b></p>	<p>Solicitante: <b>José Víctor Becerra Cotrina</b> Dirección: <b>Prolongación Av. Perú # 194 - Cajamarca</b></p>	<p>Solicitante: <b>José Víctor Becerra Cotrina</b> Dirección: <b>Prolongación Av. Perú # 194 - Cajamarca</b></p>																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)</th> <th colspan="2">CONTROL DE LABORATORIO</th> </tr> <tr> <td>Procedencia de la muestra: Red Pública</td> <td>Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35</td> <td>Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35</td> <td>Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35</td> </tr> <tr> <td>Fecha/hora de muestreo: 15/10/23 17:11</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 16/10/23</td> <td>Fecha/hora de muestreo: 17/10/23 06:16</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 17/10/23</td> </tr> <tr> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> </tr> <tr> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> </tr> <tr> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12010</td> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12123</td> </tr> <tr> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 02</td> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 05</td> </tr> <tr> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Salida de Reservorio</td> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Salida de Reservorio</td> </tr> </table>	DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)		CONTROL DE LABORATORIO		Procedencia de la muestra: Red Pública	Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35	Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35	Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35	Fecha/hora de muestreo: 15/10/23 17:11	Fecha de inicio del ensayo: 16/10/23	Fecha/hora de muestreo: 17/10/23 06:16	Fecha de inicio del ensayo: 17/10/23	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12010	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12123	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 02	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 05	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)</th> <th colspan="2">CONTROL DE LABORATORIO</th> </tr> <tr> <td>Procedencia de la muestra: Red Pública</td> <td>Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05</td> <td>Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05</td> <td>Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05</td> </tr> <tr> <td>Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23</td> <td>Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23</td> </tr> <tr> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> </tr> <tr> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> </tr> <tr> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12350</td> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12350</td> </tr> <tr> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 08</td> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 08</td> </tr> <tr> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Salida de Reservorio</td> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Salida de Reservorio</td> </tr> </table>	DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)		CONTROL DE LABORATORIO		Procedencia de la muestra: Red Pública	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23	Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12350	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12350	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 08	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 08	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)</th> <th colspan="2">CONTROL DE LABORATORIO</th> </tr> <tr> <td>Procedencia de la muestra: Red Pública</td> <td>Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05</td> <td>Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05</td> <td>Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05</td> </tr> <tr> <td>Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23</td> <td>Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25</td> <td>Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23</td> </tr> <tr> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> <td>Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina</td> <td>Comprobante de pago: MAD 8498847</td> </tr> <tr> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> <td>Localidad: San Miguel</td> <td><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></td> </tr> <tr> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12350</td> <td>Distrito: San Miguel</td> <td>Código de Laboratorio: 12350</td> </tr> <tr> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 08</td> <td>Provincia: San Miguel</td> <td>Código dado por el Solicitante: DSC 08</td> </tr> <tr> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Salida de Reservorio</td> <td>Departamento: Cajamarca</td> <td>Punto de muestreo: Salida de Reservorio</td> </tr> </table>	DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)		CONTROL DE LABORATORIO		Procedencia de la muestra: Red Pública	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23	Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12350	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12350	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 08	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 08	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio
DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)		CONTROL DE LABORATORIO																																																																																																
Procedencia de la muestra: Red Pública	Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35	Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35	Fecha/hora de recepción: 16/10/23 11:35																																																																																															
Fecha/hora de muestreo: 15/10/23 17:11	Fecha de inicio del ensayo: 16/10/23	Fecha/hora de muestreo: 17/10/23 06:16	Fecha de inicio del ensayo: 17/10/23																																																																																															
Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847																																																																																															
Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																																																															
Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12010	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12123																																																																																															
Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 02	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 05																																																																																															
Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio																																																																																															
DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)		CONTROL DE LABORATORIO																																																																																																
Procedencia de la muestra: Red Pública	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05																																																																																															
Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23	Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23																																																																																															
Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847																																																																																															
Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																																																															
Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12350	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12350																																																																																															
Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 08	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 08																																																																																															
Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio																																																																																															
DATOS DEL MUESTREO (Dados por el solicitante)		CONTROL DE LABORATORIO																																																																																																
Procedencia de la muestra: Red Pública	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05	Fecha/hora de recepción: 19/10/23 12:05																																																																																															
Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23	Fecha/hora de muestreo: 19/10/23 06:25	Fecha de inicio del ensayo: 19/10/23																																																																																															
Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847	Muestreado por: José Víctor Becerra Cotrina	Comprobante de pago: MAD 8498847																																																																																															
Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	Localidad: San Miguel	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																																																															
Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12350	Distrito: San Miguel	Código de Laboratorio: 12350																																																																																															
Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 08	Provincia: San Miguel	Código dado por el Solicitante: DSC 08																																																																																															
Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio	Departamento: Cajamarca	Punto de muestreo: Salida de Reservorio																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Código Lab.</th> <th colspan="4">Ensayos</th> </tr> <tr> <th>Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C</th> <th>E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12010</td> <td>-</td> <td>&lt;1</td> <td>&lt;1</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Código Lab.	Ensayos				Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C	12010	-	<1	<1	-	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Código Lab.</th> <th colspan="4">Ensayos</th> </tr> <tr> <th>Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C</th> <th>E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12123</td> <td>-</td> <td>&lt;1</td> <td>&lt;1</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Código Lab.	Ensayos				Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C	12123	-	<1	<1	-	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Código Lab.</th> <th colspan="4">Ensayos</th> </tr> <tr> <th>Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C</th> <th>Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C</th> <th>E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12350</td> <td>-</td> <td>&lt;1</td> <td>&lt;1</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Código Lab.	Ensayos				Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C	12350	-	<1	<1	-																																																						
Código Lab.		Ensayos																																																																																																
	Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C																																																																																														
12010	-	<1	<1	-																																																																																														
Código Lab.	Ensayos																																																																																																	
	Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C																																																																																														
12123	-	<1	<1	-																																																																																														
Código Lab.	Ensayos																																																																																																	
	Bacterias Heterotróficas (UFC/ ml) a 35°C	Coliformes Totales (UFC/100 ml) a 35°C	Coliformes Fecales (UFC/100 ml) a 44,5°C	E. Coli (UFC/100 ml) a 44,5°C																																																																																														
12350	-	<1	<1	-																																																																																														
<p>Nota: &lt; 1: significa ausencia Límite de Detección del Método: &lt; 1</p>	<p>Nota: &lt; 1: significa ausencia Límite de Detección del Método: &lt; 1</p>	<p>Nota: &lt; 1: significa ausencia Límite de Detección del Método: &lt; 1</p>																																																																																																
<p>Método de ensayo: Standard Method Part. 9000. Method 9222 B, D. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group. APHA, AWW, WEF. 22 th ed. 2012</p>	<p>Método de ensayo: Standard Method Part. 9000. Method 9222 B, D. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group. APHA, AWW, WEF. 22 th ed. 2012</p>	<p>Método de ensayo: Standard Method Part. 9000. Method 9222 B, D. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group. APHA, AWW, WEF. 22 th ed. 2012</p>																																																																																																
<p>Cajamarca, 17 de Octubre de 2023</p>  <p><b>Jorge R. Salazar Cabañas</b> LABORATORIO DE AGUA Y AMBIENTES N° 354</p>	<p>Cajamarca, 18 de Octubre de 2023</p>  <p><b>Jorge R. Salazar Cabañas</b> LABORATORIO DE AGUA Y AMBIENTES N° 354</p>	<p>Cajamarca, 20 de Octubre de 2023</p>  <p><b>Jorge R. Salazar Cabañas</b> LABORATORIO DE AGUA Y AMBIENTES N° 354</p>																																																																																																

Fuente: DESA Cajamarca

**Figura 72:** Resultados de análisis del parámetro color de agua del SAP San Miguel

		<b>LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA</b> GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA <b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084</b>						
<b>INFORME DE ENSAYO N° IE 10231295</b>								
ENSAYOS			Químicos Instrumentales					
Código de la Muestra			LRA-01: Ingreso a PTAP (Agua Cruda)	LRA-02: Salida de Reservorio (Agua Tratada)	LRA-03: Conexión Domiciliaria (Agua Tratada)	-	-	-
Código Laboratorio			10231295-01	10231295-02	10231295-03	-	-	-
Matriz			Natural	Consumo_Humano	Consumo_Humano	-	-	-
Descripción			Superficial- Río	Bebida	Bebida	-	-	-
Localización de la Muestra			San Miguel	San Miguel	San Miguel	-	-	-
<b>Parámetro</b>			<b>Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos</b>					
Color Verdadero			Unidad UC	LCM 4.0	8.9	<LCM	<LCM	-

*Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)*

Cajamarca, 25 de octubre de 2023

Página: 2 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"  
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
 Email: laboratorio@lra.gob.pe | Teléfono: 051 980 000 0000

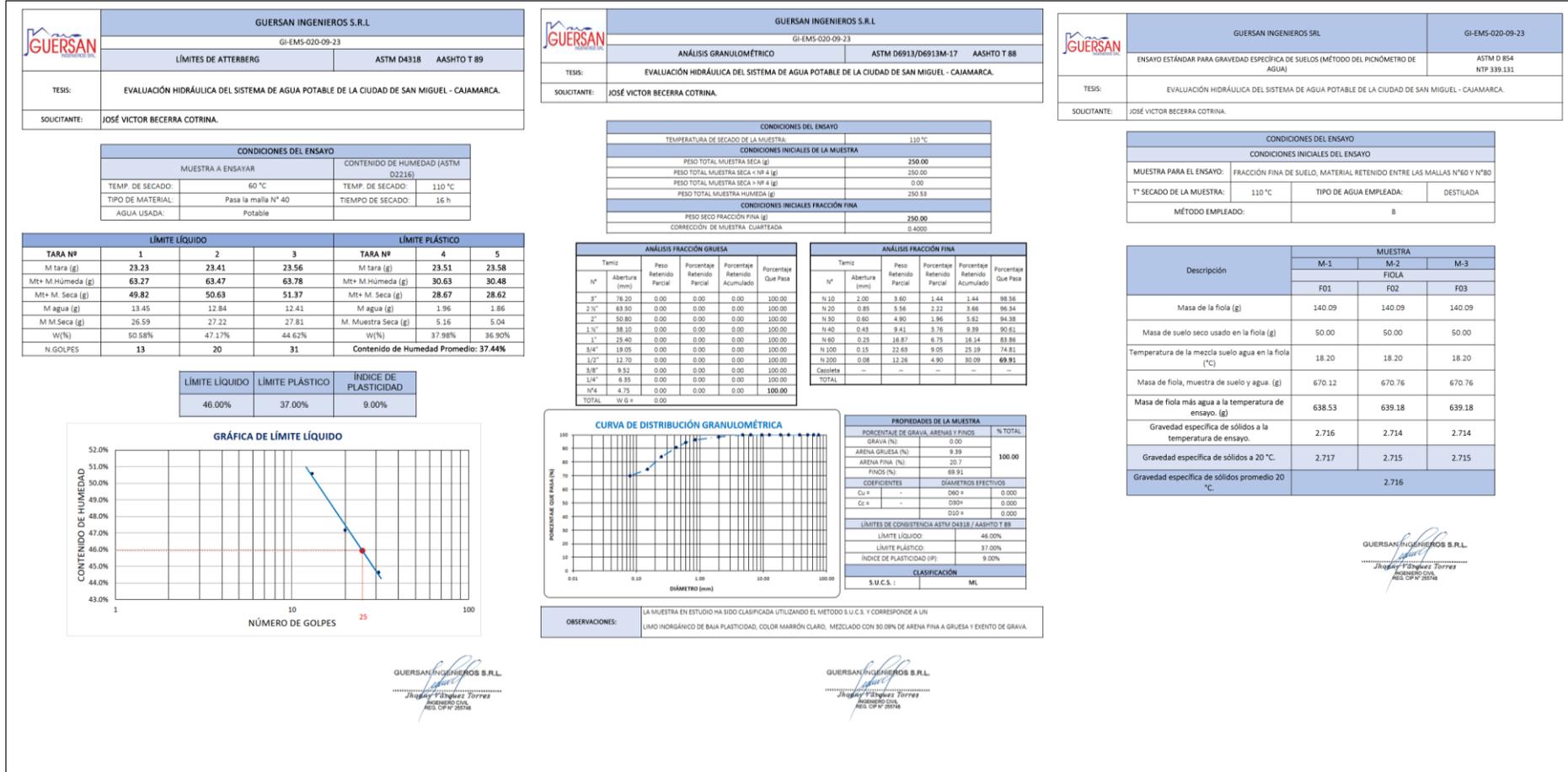
Fuente: Laboratorio Regional del Agua

**Figura 73:** Consumo per cápita del SAP San Miguel, 2022

Mes	Cajamarca		Contumazá		San Miguel	
	Factor Hab/Conex	4.38	Factor Hab/Conex	3.39	Factor Hab/Conex	3.25
	Canexiones Activas	Producción Percapita L/hab/día	Canexiones Activas	Producción Percapita L/hab/día	Canexiones Activas	Producción Percapita L/hab/día
ENE - 22	41,159	162.23	1,201	108.78	1,592	124
FEB - 22	41,376	165.63	1,210	109.95	1,595	113
MAR-22	41,370	164.84	1,214	95.50	1,598	119
ABR - 22	41,337	162.67	1,216	95.18	1,582	130
MAY - 22	41,362	164.70	1,207	108.23	1,581	138
JUN - 22	41,474	165.11	1,216	106.88	1,580	128
JUL - 22	41,643	163.50	1,216	120.06	1,575	134
AGO - 22	41,789	165.15	1,220	118.74	1,582	134
SET - 22	42,009	160.47	1,224	106.19	1,591	152
OCT - 22	42,183	161.71	1,227	61.75	1,595	139
NOV - 22	42,313	129.28	1,230	44.11	1,602	137
DIC - 22	42,403	147.06	1,226	76.80	1,605	139

Fuente: (EPS SEDACAJ S.A., 2022)

Figura 74: Reportes de ensayos de laboratorio del peso específico de partícula en el desarenador



Fuente: GUERSAN Ingenieros S.R.L.

**Figura 75:** Ficha técnica de tubería PVC UF para fluidos a presión (1/2)



# INFRAESTRUCTURA

## TUBOS DE PVC-U UNIÓN FLEXIBLE PARA FLUIDOS A PRESIÓN NTP ISO 1452

**Función:**  
Conducción de Agua Potable a temperatura medio ambiente (20° C) a presión, para la ejecución de sistemas de aducción, conducción y distribución de agua (no tratada y tratada) en sistemas enterrados de abastecimiento de agua.

**Beneficios:**

- Fácil instalación al no requerir pegamentos ni herramientas específicas.
- Hermeticidad en la instalación, por medio el anillo elastomérico.
- Resistencia a la corrosión.
- Menor coeficiente de fricción.
- Autoextinguible.
- Resistencia a la abrasión.

**Normas:**  
NTP ISO 1452-2  
"Tubos y conexiones de Poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) para el abastecimiento de agua, drenaje y alcantarillado, enterrado o aéreo con presión". Especificaciones parte 2.



### CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Propiedad	Valores	Unidad
Longitud	6	metros
Diámetro	63 - 630	mm
Color	Gris	-
Tipo Unión	Unión Flexible	-
Presión de Servicio	5, 7,5, 10 y 15	Bares
Factor de Seguridad	F = 2,5	-

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DEL PVC-U

Peso Especifico	: 1,43 gr./cm3 a 25° C
Resistencia a la Tracción	: 500kg.-f/cm2
Alargamiento de Rotura	: >80%
Módulo de Elasticidad	: 30000 Kg./cm2
Dureza Shore-D	: 85
Resistencia al impacto	: 0,035 Kg./ cm2
Tensión de Diseño	: 100 Kg.-f/cm2
Coefficiente de Fricción Manning	: n=0,009
Coefficiente de Hazen y Williams	: c=150
Resistencia a la Flexión	: 750 - 780 Kg.-f/cm2
Resistencia a la Compresión	: 610-650 Kg.-f/cm2
Absorción de Agua	: <4mg/cm2

### CARACTERÍSTICAS TERMO - ELECTRICAS

Calor Especifico	: 0,25 cal./gra.-°C
Coefficiente de Dilatación Lineal	: 7x10-5 °C-1
Conductividad Térmica	: 0,13 Kcal./mh °C
Temperatura Vicat	: 80 °C
Temperatura máxima de trabajo	: 45°C
Rigidez Dieléctrica	: 40 Kv/mm
Resistencia a la combustión	: Auto extingible
Resistividad	: 5 x 10 <sup>15</sup> Ω x cm
Coefficiente de Dilatación Termina	: 0,06 mm/m/°C
Estabilidad Dimensional	: <5% a 150 °C
Constante Dieléctrica	: 3-3,8 a 10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup> Hz

03 

Fuente: (TIGRE PERU, 2023)

**Figura 76:** Ficha técnica de tubería PVC UF para fluidos a presión (2/3)



# INFRAESTRUCTURA

## TUBOS DE PVC-U UNIÓN FLEXIBLE PARA FLUIDOS A PRESIÓN NTP ISO 1452-2



Diámetro Nominal Ext. D1(mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro Interior (mm.)	Longitud Útil (mts.)	Peso promedio (kg.)
<b>PN-10 (Serie 10) SDR 21</b>				
63	3.00	57.00	5.88	5.28
75	3.60	67.80	5.87	7.54
90	4.30	81.40	5.86	10.79
110	5.30	99.40	5.85	16.16
140	6.70	126.60	5.83	25.82
160	7.70	144.60	5.82	33.82
200	9.60	180.80	5.80	52.60
250	11.90	226.20	5.76	81.28
315	15.00	285.00	5.74	128.84
355	16.90	321.20	5.72	161.79
400	19.10	361.80	5.70	208.45
450	21.50	407.00	5.73	263.56
500	23.90	452.20	5.70	325.09
630	30.00	570.00	5.70	513.78



Diámetro Nominal Ext. D1(mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro Interior (mm.)	Longitud Útil (mts.)	Peso promedio (kg.)
<b>PN-15 (Serie 6.6) SDR 14.2</b>				
63	4.40	54.20	5.88	7.53
75	5.30	64.40	5.87	10.74
90	6.30	77.60	5.86	15.27
110	7.70	94.60	5.85	22.69
140	9.80	120.40	5.83	36.64
160	11.20	137.60	5.82	47.89
200	14.00	172.00	5.80	74.48
250	17.50	215.00	5.76	116.38
315	22.00	271.00	5.74	183.96
355	24.80	305.40	5.72	233.67
400	28.00	344.00	5.70	296.98
450	31.40	387.20	5.75	374.97
500	34.90	430.20	5.74	462.58

\*Para fabricación de tubos con presiones nominales de PN6.3, PN8, PN16 y PN20 consultar con el área de producción.

05 

Fuente: (TIGRE PERU, 2023)

**Figura 77:** Ficha técnica de tubería PVC UF para fluidos a presión (3/3)



# INFRAESTRUCTURA

## TUBOS DE PVC-U UNIÓN FLEXIBLE PARA FLUIDOS A PRESIÓN NTP ISO 1452-2



Diámetro Nominal Ext. D1(mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro Interior (mm.)	Longitud Útil (mts.)	Peso promedio (kg.)
<b>PN-5 (Serie 20) SDR 41</b>				
63	1.60	59.80	5.88	3.00
75	1.90	71.20	5.87	4.16
90	2.20	85.60	5.86	5.83
110	2.70	104.60	5.85	8.58
140	3.50	133.00	5.83	14.07
160	4.00	152.00	5.82	18.19
200	4.90	190.20	5.80	27.78
250	6.20	237.60	5.76	43.97
315	7.70	299.60	5.74	68.36
355	8.70	337.60	5.72	86.90
400	9.80	380.40	5.70	110.09
450	11.00	428.00	5.73	138.76
500	12.30	475.40	5.71	172.65
630	15.40	599.20	5.70	271.79

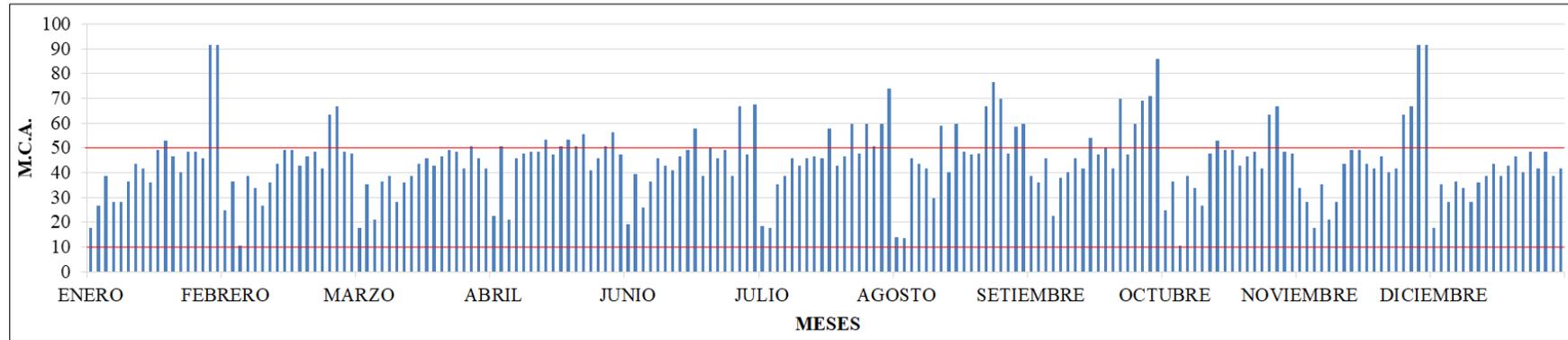


Diámetro Nominal Ext. D1(mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro Interior (mm.)	Longitud Útil (mts.)	Peso promedio (kg.)
<b>PN-7.5 (Serie 13.3) SDR 28</b>				
63	2.30	58.40	5.88	4.19
75	2.80	69.40	5.87	5.97
90	3.30	83.40	5.86	8.45
110	4.00	102.00	5.85	12.35
140	5.10	129.80	5.83	20.11
160	5.80	148.40	5.82	25.91
200	7.30	185.40	5.80	40.73
250	9.10	231.80	5.76	63.34
315	11.40	292.20	5.74	99.59
355	12.90	329.20	5.72	126.60
400	14.50	371.00	5.70	160.42
450	16.30	417.40	5.73	202.83
500	18.10	463.80	5.70	250.19
630	22.80	584.40	5.70	395.95


04

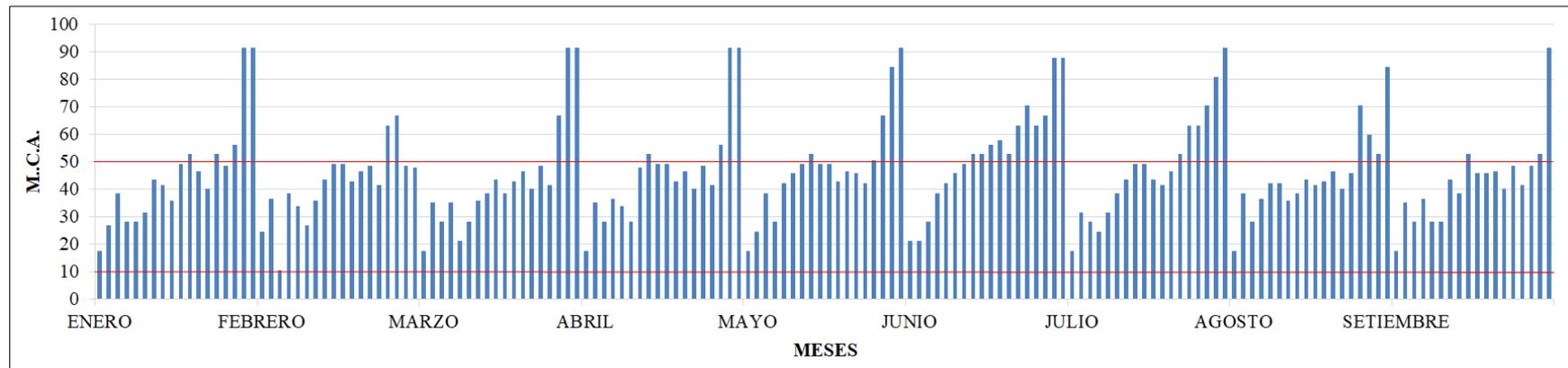
Fuente: (TIGRE PERU, 2023)

**Figura 78:** Presiones en la red de distribución del SAP San Miguel, 2022



Fuente: EPS SEDACAJ S.A. Administración San Miguel

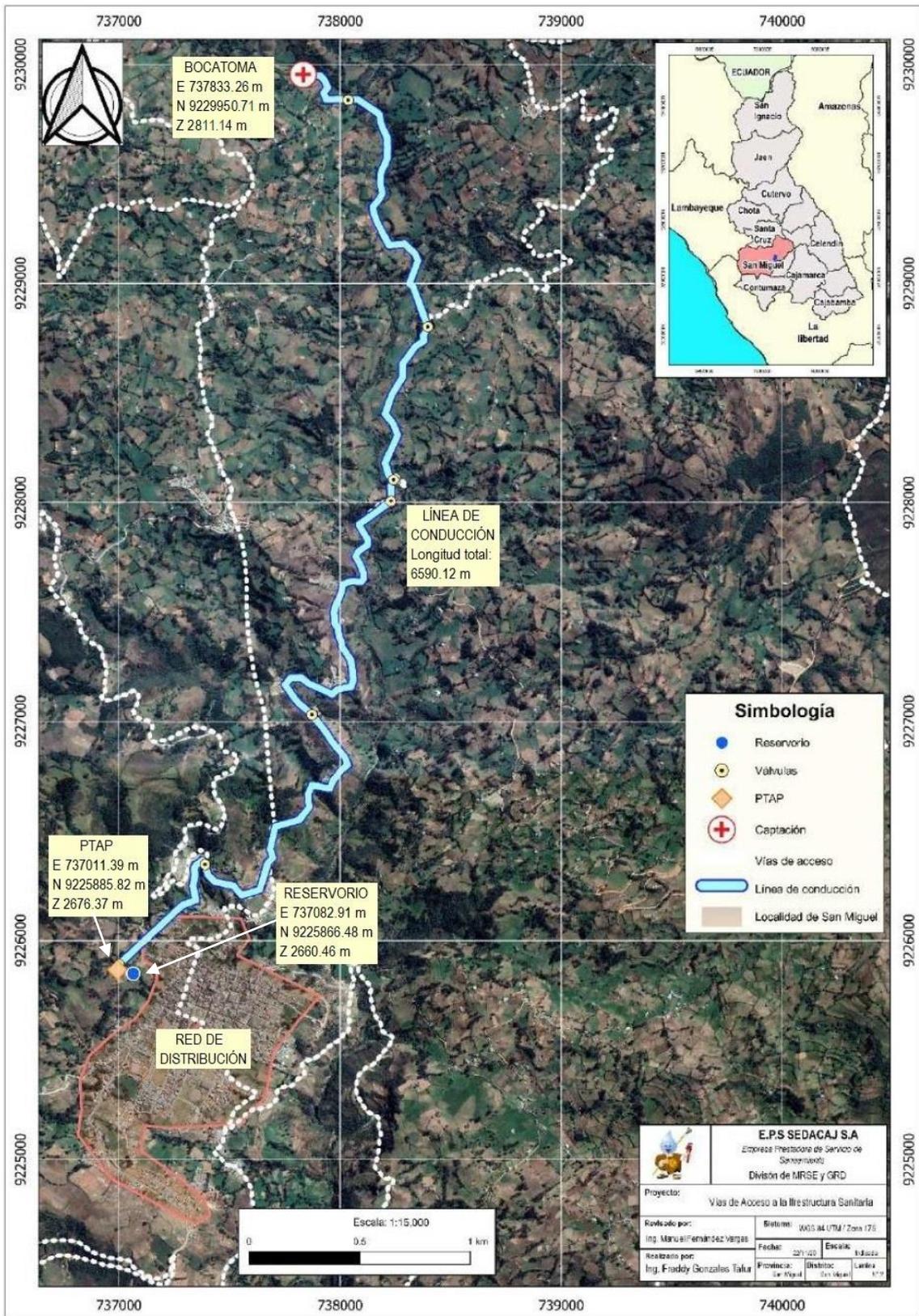
**Figura 79:** Presiones en la red de distribución del SAP San Miguel, 2023



Fuente: EPS SEDACAJ S.A. Administración San Miguel



**Figura 81: Vista satelital del SAP San Miguel**



Fuente: (EPS SEDACAJ S.A., 2023)

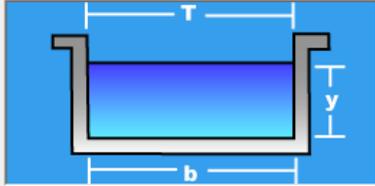
**Figura 82:** Sección del canal de derivación

Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante (y): <input type="text" value="0.0682"/> m	Ancho de solera (b): <input type="text" value="0.1363"/> m
Perímetro (p): <input type="text" value="0.2727"/> m	Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.0093"/> m <sup>2</sup>
Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.0341"/> m	Espejo de agua (T): <input type="text" value="0.1363"/> m
Velocidad (v): <input type="text" value="1.0652"/> m/s	Número de Froude (F): <input type="text" value="1.3025"/>
Energía específica (E): <input type="text" value="0.1260"/> m-Kg/Kg	Tipo de flujo: <input type="text" value="Supercrítico"/>

Ingresar el nombre del tramo del canal 10:30 10/12/2024

Fuente: HCANALES V3.1

**Figura 83:** Componentes del SAP San Miguel (01/02)



Fuente: (EPS SEDACAJ S.A., 2023), (SUNASS ODS Cajamarca, 2022)

**Figura 84:** Componentes del SAP San Miguel (02/02)



Fuente: EPS SEDACAJ S.A. Administración San Miguel

# APÉNDICE

Figura 85: Hojas de medición de turbiedad, cloro residual libre y pH en el SAP San Miguel

HOJA DE CONTROL DE MEDICIÓN DE TURBIEDAD				
TESIS:	EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA	M-TRB:	01 / 01	
SOLICITANTE: JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA				
UBICACIÓN				
LOCALIDAD:	San Miguel	DISTRITO/PROVINCIA:	San Miguel DEPARTAMENTO: Cajamarca	
SISTEMA DE AGUA POTABLE				
PROVEEDOR:	EPS SEDACAJ S.A.	TIPO DE SISTEMA:	Gravedad con tratamiento	
DATOS DE MEDICIÓN				
Código	Punto de toma de muestra	Coordenadas UTM 17M Este (m)   Norte (m)	Fecha de muestreo   Hora de muestreo	Turbiedad
TRB-11	Ingreso a PTAP (AC)	733009 9225906	10/10/23 01:52 am	139 UNT
TRB-12			12/10/23 08:06 am	329 UNT
TRB-13	Salida de reservorio (AT)	737069 9225245	11/10/23 06:52 am	9.01 UNT
TRB-21			10/10/23 08:15 am	1.15 UNT
TRB-22			12/10/23 08:15 am	1.34 UNT
TRB-23	Conex. domiciliar (AT)	733545 9224921	11/10/23 01:03 am	1.34 UNT
TRB-31			09/10/23 05:18 pm	3.66 UNT
TRB-32			12/10/23 05:29 pm	1.93 UNT
TRB-33			14/10/23 05:56 pm	0.32 UNT
Observaciones: (01) AC= agua cruda, AT= agua tratada				
CONFORMIDAD DE MEDICIÓN				
RESPONSABLE DE MEDICIÓN				
NOMBRE:	José Víctor Becerra Cotrina	CELULAR:	935323034	
CARGO:	Tesista	CORREO:	josevictorb13@gmail.com	
Firma				
REPRESENTANTE DE LA EPS SEDACAJ S.A.				
NOMBRE:	Cynthia Vásquez Ballena	CELULAR:	948596430	
CARGO:	Administradora San Miguel	CORREO:	cynthia.vasquez@sedacaj.com.pe	
Firma				
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN				
HACH 2100 Portable Turbiditymeter				

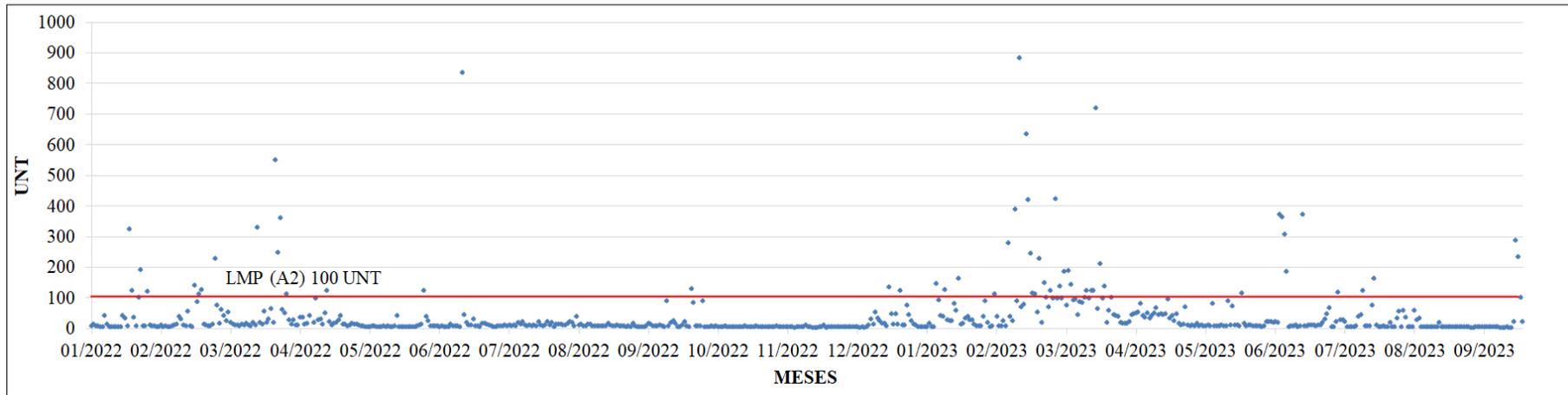
  

HOJA DE CONTROL DE MEDICIÓN DE CLORO RESIDUAL LIBRE				
TESIS:	EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA	M-CRL:	01 / 01	
SOLICITANTE: JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA				
UBICACIÓN				
LOCALIDAD:	San Miguel	DISTRITO/PROVINCIA:	San Miguel DEPARTAMENTO: Cajamarca	
SISTEMA DE AGUA POTABLE				
PROVEEDOR:	EPS SEDACAJ S.A.	TIPO DE SISTEMA:	Gravedad con tratamiento	
DATOS DE MEDICIÓN				
Código	Punto de toma de muestra	Coordenadas UTM 17M Este (m)   Norte (m)	Fecha de muestreo   Hora de muestreo	Cloro residual libre
CR1-11	Salida de reservorio	737069 9225245	01/10/23 03:05 am	0.98 mg/L
CR1-12			05/10/23 08:21 am	0.99 mg/L
CR1-13			08/10/23 05:30 pm	1.03 mg/L
CR1-21	Conexión domiciliar (AT)	7337163 9226395	09/10/23 05:40 pm	0.55 mg/L
CR1-22			12/10/23 06:04 pm	0.59 mg/L
CR1-23			14/10/23 06:11 pm	0.50 mg/L
CR1-31	Conexión domiciliar (AT)	733545 9224921	09/10/23 05:18 pm	0.55 mg/L
CR1-32			12/10/23 05:40 pm	0.53 mg/L
CR1-33				
Observaciones:				
CONFORMIDAD DE MEDICIÓN				
RESPONSABLE DE MEDICIÓN				
NOMBRE:	José Víctor Becerra Cotrina	CELULAR:	935323034	
CARGO:	Tesista	CORREO:	josevictorb13@gmail.com	
Firma				
REPRESENTANTE DE LA EPS SEDACAJ S.A.				
NOMBRE:	Cynthia Vásquez Ballena	CELULAR:	948596430	
CARGO:	Administradora San Miguel	CORREO:	cynthia.vasquez@sedacaj.com.pe	
Firma				
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN				
HACH Pocket Colorimeter II				

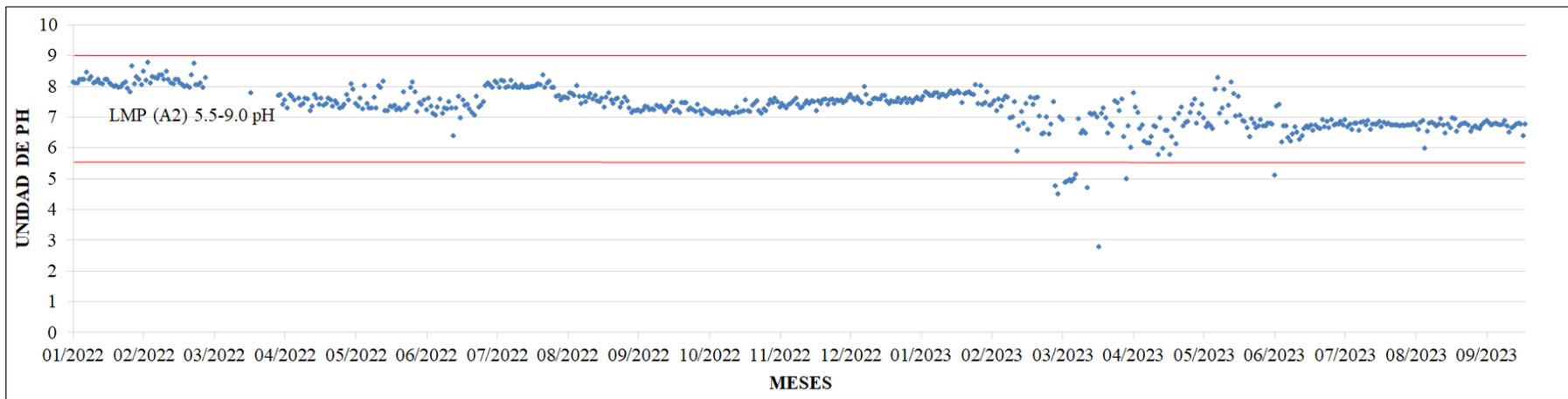
  

HOJA DE CONTROL DE MEDICIÓN DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO				
TESIS:	EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA	M-PH:	01 / 01	
SOLICITANTE: JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA				
UBICACIÓN				
LOCALIDAD:	San Miguel	DISTRITO/PROVINCIA:	San Miguel DEPARTAMENTO: Cajamarca	
SISTEMA DE AGUA POTABLE				
PROVEEDOR:	EPS SEDACAJ S.A.	TIPO DE SISTEMA:	Gravedad con tratamiento	
DATOS DE MEDICIÓN				
Código	Punto de toma de muestra	Coordenadas UTM 17M Este (m)   Norte (m)	Fecha de muestreo   Hora de muestreo	Potencial de hidrógeno (pH)
PH-11	Ingreso a PTAP (AC)	733009 9225906	01/10/23 08:13 am	6.53 valor de pH
PH-12			08/10/23 05:02 pm	6.10 valor de pH
PH-13			08/10/23 05:12 pm	6.46 valor de pH
PH-21	Salida de reservorio (AT)	737069 9225245	01/10/23 08:15 am	6.64 valor de pH
PH-22			08/10/23 05:12 pm	6.61 valor de pH
PH-23			09/10/23 06:28 pm	6.59 valor de pH
PH-31	Conex. domiciliar (AT)	733545 9224921	12/10/23 03:10 pm	6.82 valor de pH
PH-32			12/10/23 05:03 am	6.31 valor de pH
PH-33				
Observaciones: (01) AC= agua cruda, AT= agua tratada				
CONFORMIDAD DE MEDICIÓN				
RESPONSABLE DE MEDICIÓN				
NOMBRE:	José Víctor Becerra Cotrina	CELULAR:	935323034	
CARGO:	Tesista	CORREO:	josevictorb13@gmail.com	
Firma				
REPRESENTANTE DE LA EPS SEDACAJ S.A.				
NOMBRE:	Cynthia Vásquez Ballena	CELULAR:	948596430	
CARGO:	Administradora San Miguel	CORREO:	cynthia.vasquez@sedacaj.com.pe	
Firma				
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN				
HACH HI914 Portable pH Meter				

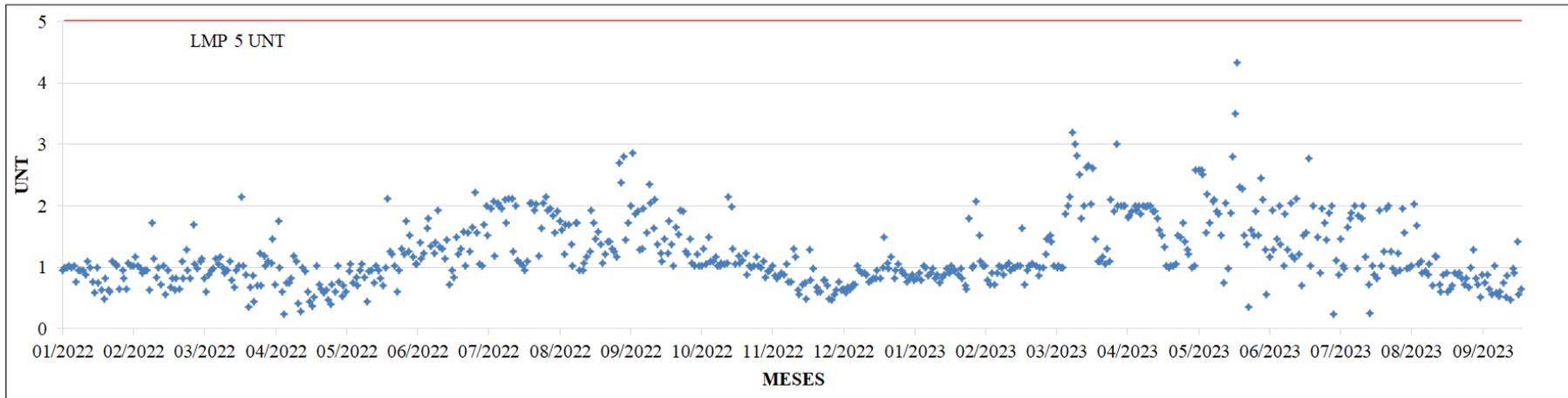
**Figura 86:** Turbiedad del agua cruda del SAP San Miguel, 2022-2023



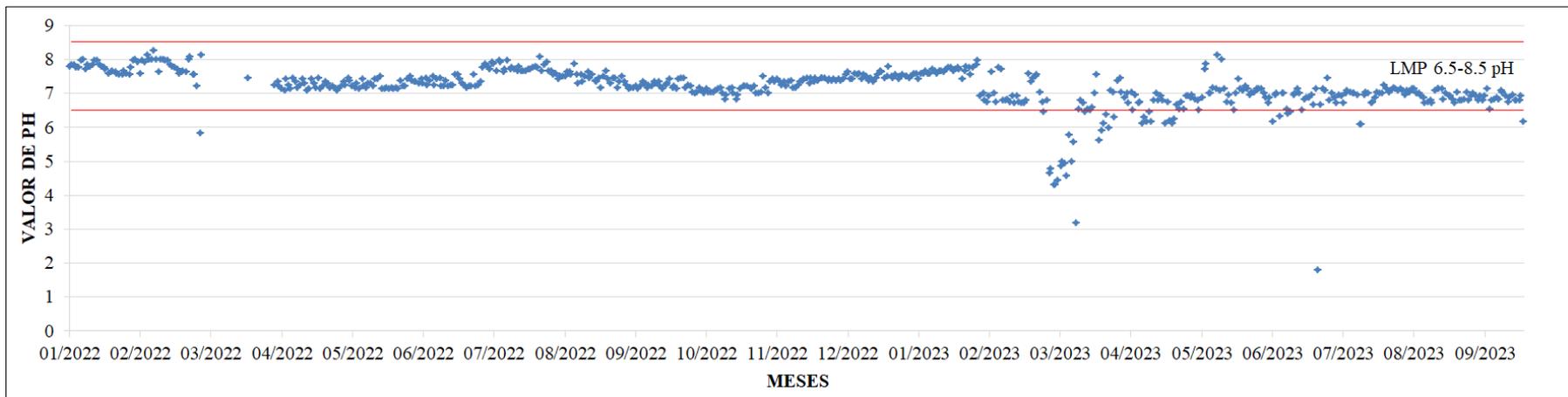
**Figura 87:** pH del agua cruda del SAP San Miguel, 2022-2023



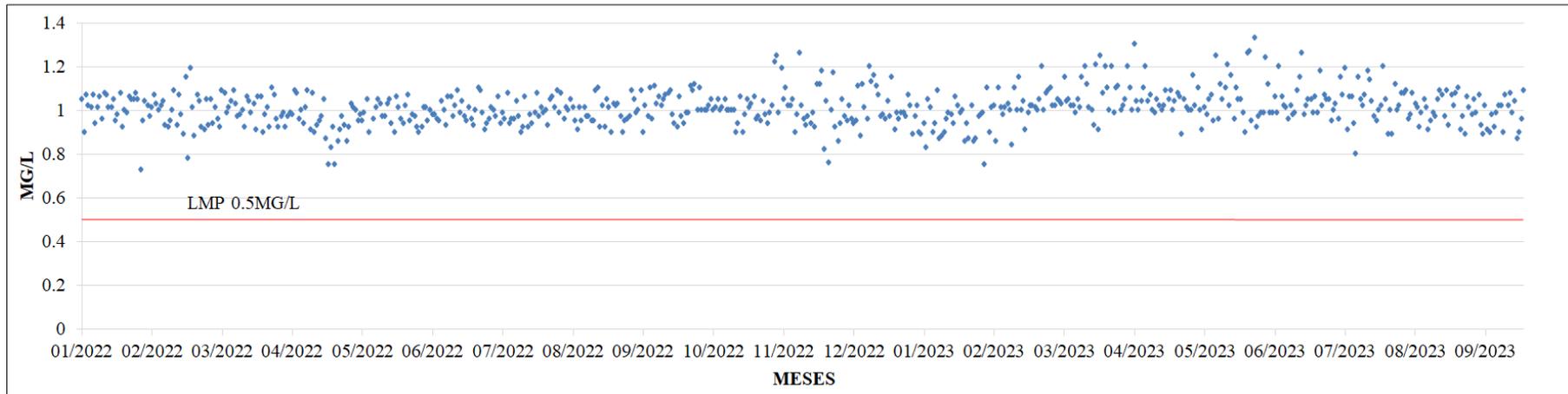
**Figura 88:** Turbiedad del agua tratada del SAP San Miguel, 2022-2023



**Figura 89:** pH del agua tratada del SAP San Miguel, 2022-2023



**Figura 90:** Cloro residual libre del agua tratada del SAP San Miguel, 2022-2023



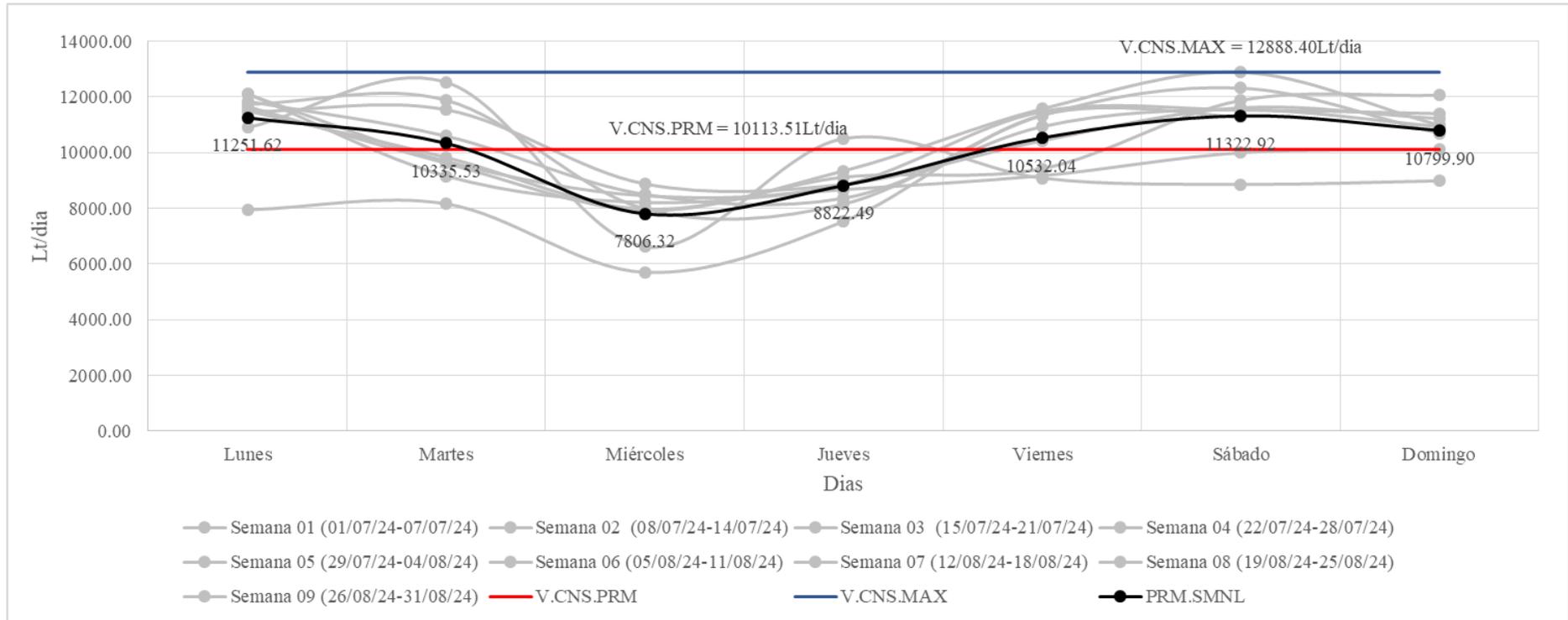
**Tabla 47:** Registro de consumo diario en conexiones del SAP San Miguel

Periodo	Días						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Semana 01 (01/07/24-07/07/24)	11737.60	11882.10	7981.10	8154.80	11336.90	12319.40	10694.60
Semana 02 (08/07/24-14/07/24)	11843.30	10595.10	8501.40	8362.50	10935.50	11540.00	10942.40
Semana 03 (15/07/24-21/07/24)	11655.80	9622.40	7923.90	9118.80	9426.90	11875.80	12058.00
Semana 04 (22/07/24-28/07/24)	12093.20	9689.60	8454.40	8847.90	11475.80	11532.10	11400.30
Semana 05 (29/07/24-04/08/24)	11500.60	9831.80	7974.40	9344.30	11570.50	12888.40	10982.00
Semana 06 (05/08/24-11/08/24)	11462.30	11543.60	8879.80	8861.80	10430.20	11616.30	11221.80
Semana 07 (12/08/24-18/08/24)	12122.10	9163.20	8211.00	8675.50	9173.93	9999.20	10111.30
Semana 08 (19/08/24-25/08/24)	10901.90	12527.90	6624.90	10505.60	9086.29	8861.83	8988.81
Semana 09 (26/08/24-31/08/24)	7947.80	8164.06	5705.94	7531.20	11352.30	11273.25	

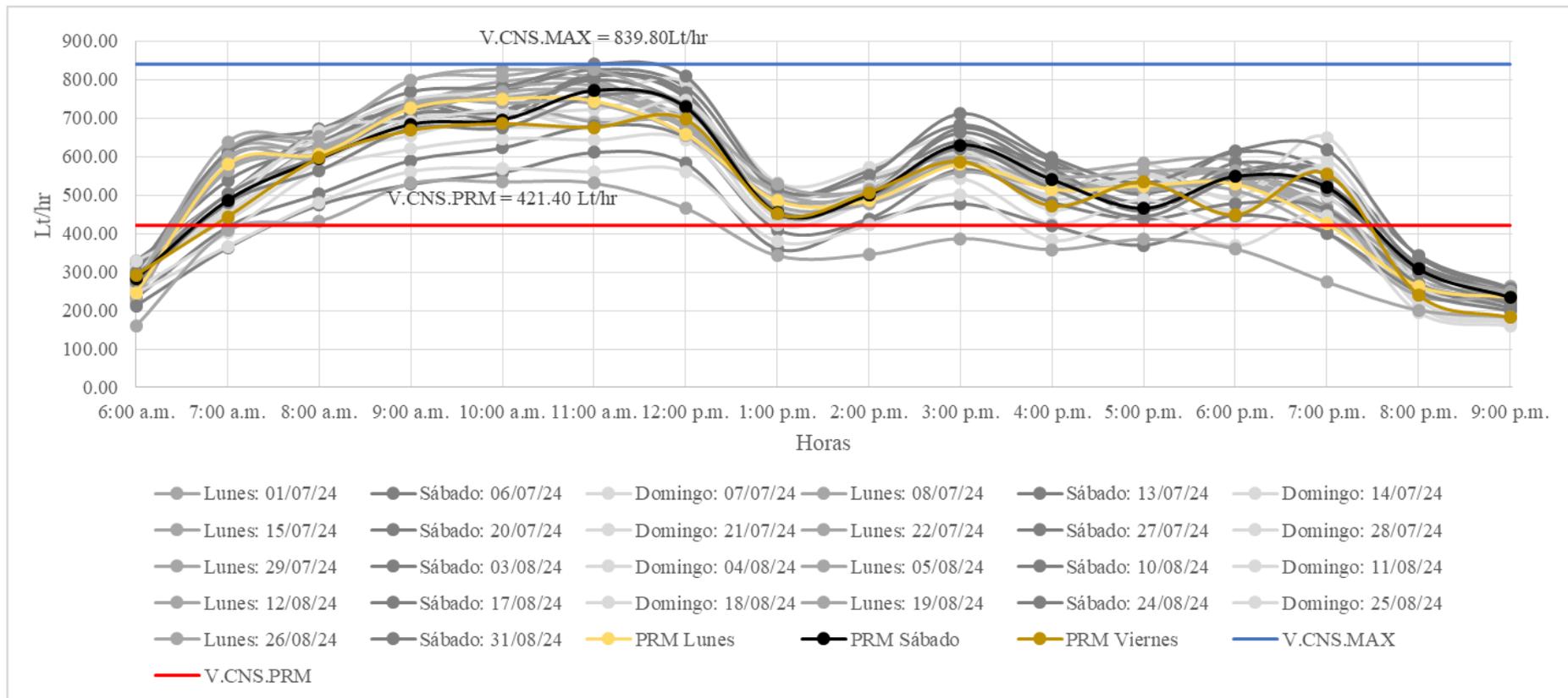
**Tabla 48:** Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel

Fecha	Horas															
	6:00 a.m.	7:00 a.m.	8:00 a.m.	9:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	1:00 p.m.	2:00 p.m.	3:00 p.m.	4:00 p.m.	5:00 p.m.	6:00 p.m.	7:00 p.m.	8:00 p.m.	9:00 p.m.
Lunes: 01/07/24	265.70	611.20	620.10	733.10	795.00	792.10	671.90	508.00	539.40	601.60	523.50	554.80	545.90	450.90	278.70	244.00
Sábado: 06/07/24	329.60	502.50	669.20	720.90	770.00	825.30	780.70	511.50	563.50	681.90	589.00	502.30	611.30	562.00	344.00	258.80
Domingo: 07/07/24	286.60	454.90	601.80	655.50	710.60	696.00	684.00	425.50	495.00	589.90	476.80	536.30	448.80	556.40	213.70	168.20
Lunes: 08/07/24	238.80	613.80	641.40	740.40	780.70	783.10	698.50	503.10	493.20	629.90	531.80	547.90	557.50	456.00	269.90	231.40
Sábado: 13/07/24	307.70	476.90	632.30	732.80	697.70	809.80	752.60	462.20	494.00	632.70	576.40	508.20	545.30	494.10	320.00	250.10
Domingo: 14/07/24	318.70	435.70	585.10	675.30	683.00	674.00	712.60	439.40	504.80	584.00	500.50	553.10	443.00	572.40	229.80	174.10
Lunes: 15/07/24	291.90	571.20	623.60	744.90	741.50	689.60	684.90	503.40	492.90	585.90	515.50	530.80	557.20	451.40	263.10	219.10
Sábado: 20/07/24	319.70	538.00	632.70	737.60	714.50	814.30	755.40	449.70	519.90	639.80	555.70	479.60	561.50	558.00	317.30	249.80
Domingo: 21/07/24	315.30	501.20	650.60	748.10	761.50	755.40	793.10	532.70	572.00	654.20	522.10	581.50	491.10	649.50	284.70	201.40
Lunes: 22/07/24	220.80	616.80	657.50	796.20	825.80	801.90	679.20	512.90	513.80	624.70	562.90	582.00	588.30	451.90	293.90	263.30
Sábado: 27/07/24	277.80	487.00	597.10	692.70	719.80	808.70	765.80	451.90	507.80	661.90	555.10	458.70	582.90	529.40	321.40	243.90
Domingo: 28/07/24	305.90	467.00	629.50	701.30	712.10	722.60	745.30	496.40	548.70	605.80	516.10	555.80	495.60	592.40	281.60	200.20
Lunes: 29/07/24	262.70	562.60	610.60	733.30	752.60	772.30	679.10	506.90	488.90	608.20	543.70	512.30	534.80	428.90	268.40	230.00
Sábado: 03/08/24	301.40	610.00	671.30	768.10	781.80	839.80	807.90	517.80	552.50	711.20	597.30	531.20	615.50	617.90	340.30	257.30
Domingo: 04/08/24	329.30	451.20	595.00	688.10	676.30	678.10	699.00	454.60	523.30	606.00	460.60	556.00	456.00	562.90	240.10	175.20
Lunes: 05/08/24	271.30	593.00	625.10	708.60	767.80	763.50	672.30	488.90	505.40	597.00	525.20	519.70	536.60	443.20	256.30	248.60
Sábado: 10/08/24	290.80	501.70	601.20	709.40	717.10	799.10	728.00	458.90	505.50	673.70	567.60	461.50	552.40	551.50	316.10	225.60
Domingo: 11/08/24	283.70	469.80	665.70	692.80	719.90	678.00	735.10	464.20	511.90	615.30	489.30	551.00	459.80	565.80	265.70	206.40
Lunes: 12/08/24	268.60	637.80	653.10	798.50	809.90	826.70	718.30	528.00	513.20	621.20	549.70	561.30	561.70	469.40	302.10	248.20
Sábado: 17/08/24	233.40	416.90	503.40	589.60	622.20	679.00	647.70	410.00	438.60	566.30	481.10	436.90	478.40	461.50	269.60	207.40
Domingo: 18/08/24	257.00	403.00	563.10	619.40	646.50	642.90	642.40	423.50	481.20	542.90	425.70	488.00	424.60	496.80	213.00	169.00
Lunes: 19/08/24	237.10	599.10	597.00	738.00	739.10	737.30	655.80	472.20	476.60	559.50	519.10	522.20	512.50	402.00	238.70	238.80
Sábado: 24/08/24	212.80	363.00	473.90	527.70	558.20	610.40	581.80	360.20	433.20	477.30	419.70	369.60	447.30	400.80	248.50	198.80
Domingo: 25/08/24	245.80	367.10	481.50	561.10	569.30	559.90	560.30	379.80	421.90	501.10	381.90	448.20	368.30	447.20	195.60	160.00
Lunes: 26/08/24	160.20	407.90	432.00	530.30	533.70	530.70	465.40	342.80	345.50	387.10	358.10	385.00	360.10	274.00	201.10	183.00
Sábado: 31/08/24	273.60	480.50	564.10	672.70	675.10	756.30	732.80	459.50	497.30	621.10	516.00	443.80	539.90	512.60	297.40	217.20

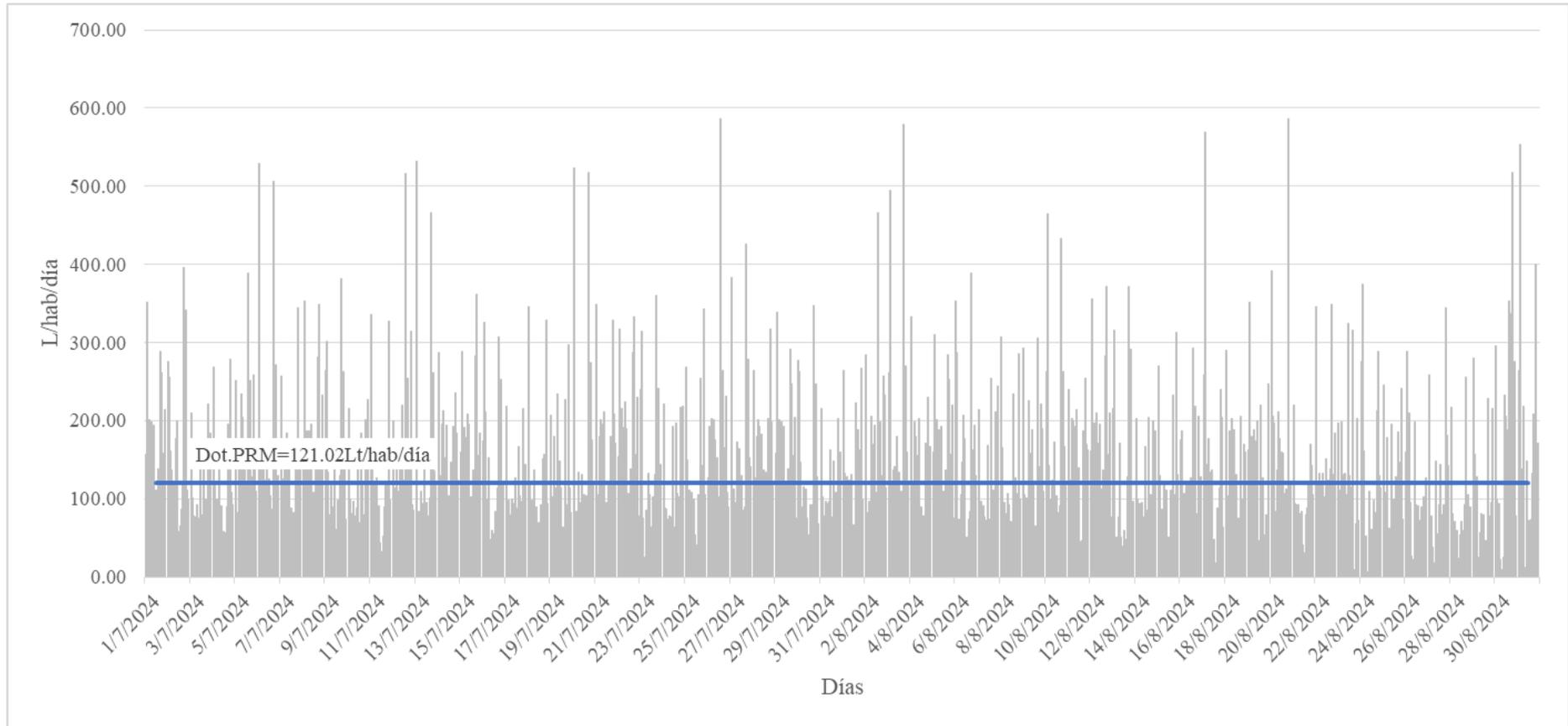
**Figura 91:** Variación diaria del consumo diario en conexiones del SAP San Miguel



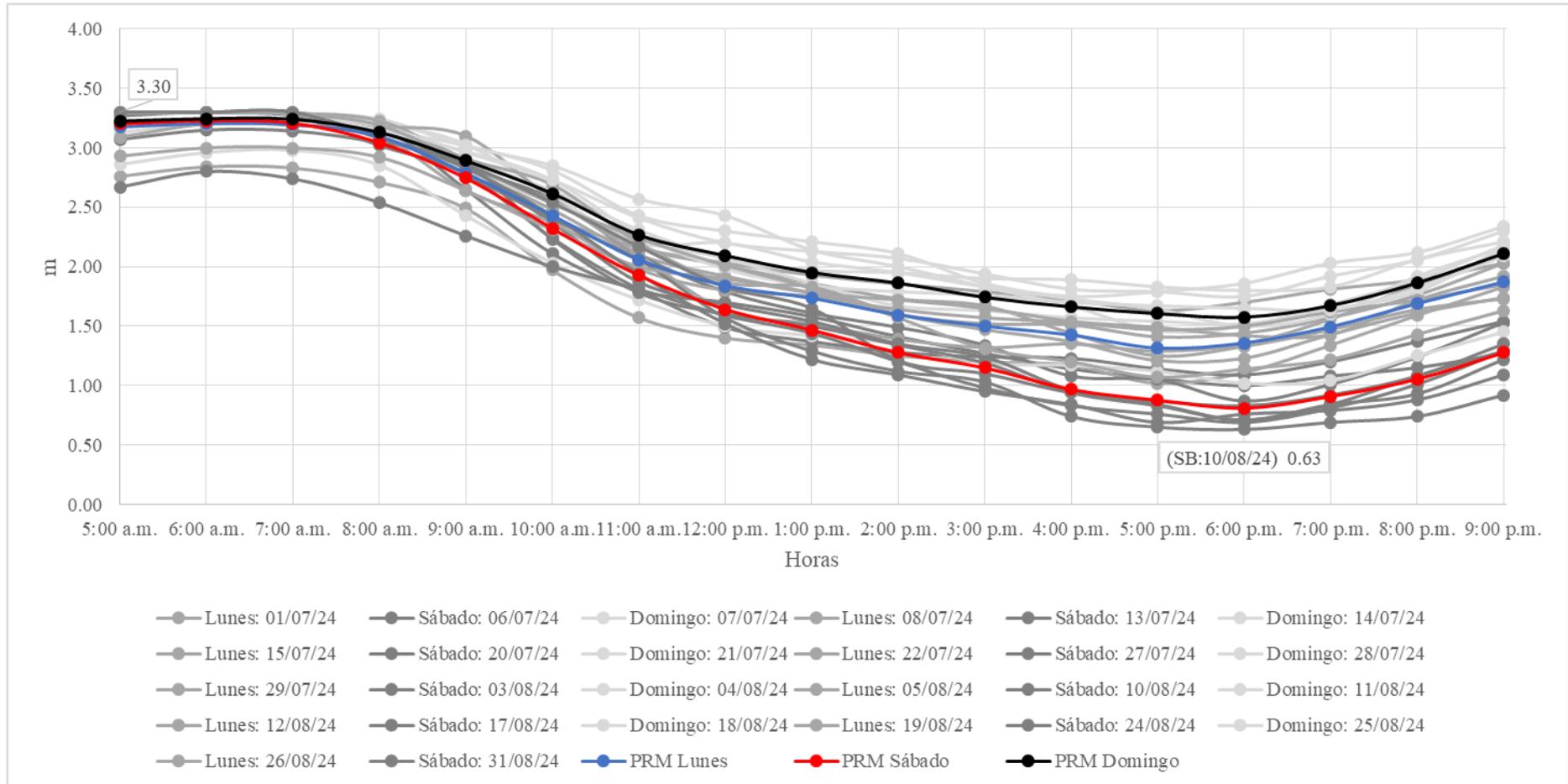
**Figura 92:** Variación horaria del consumo diario en conexiones del SAP San Miguel



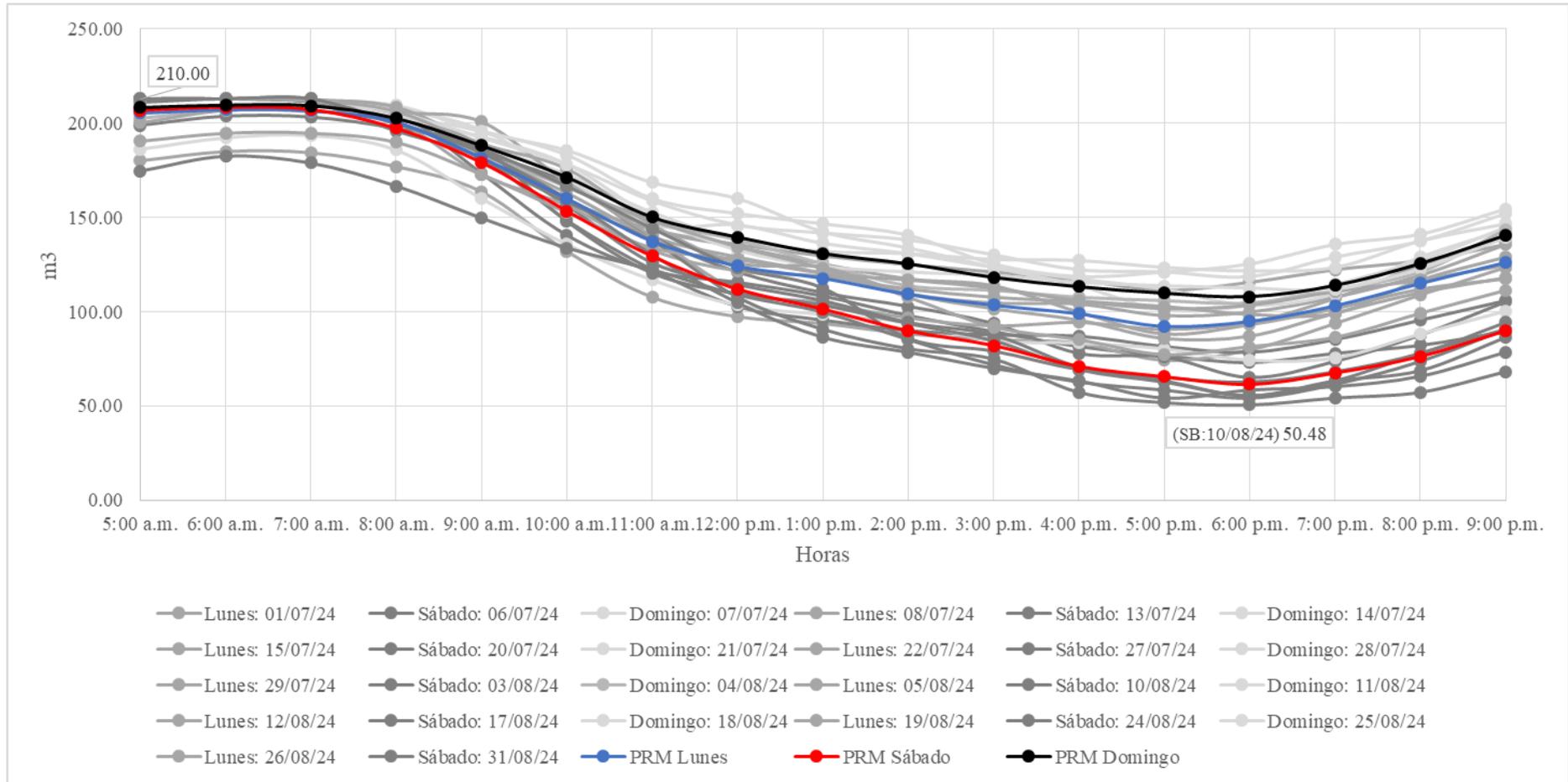
**Figura 93:** Registro de consumo percápita de SAP San Miguel



**Figura 94:** Nivel de agua en el reservorio del SAP San Miguel



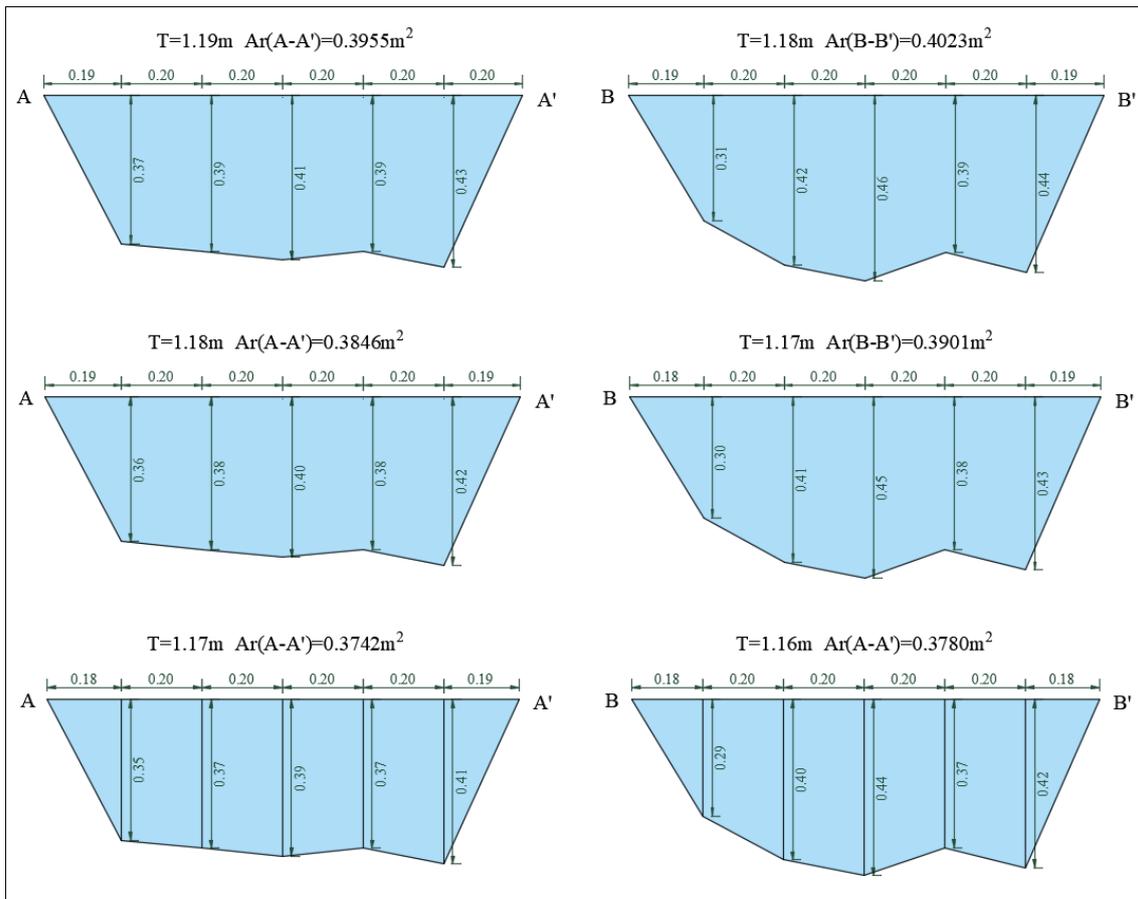
**Figura 95:** Volumen disponible en el reservorio del SAP San Miguel



**Figura 96:** Aforo de caudal del Río El Carrasco



**Figura 97:** Secciones de aforo del Río El Carrasco



**Figura 98:** Bocatoma del SAP San Miguel (01/02)



**Figura 99: Bocatoma del SAP San Miguel (02/02)**



**Figura 100:** Canal de derivación del SAP San Miguel



**Figura 101:** Desarenador del SAP San Miguel



**Figura 102:** Línea de conducción del SAP San Miguel (01/02)



**Figura 103:** Línea de conducción del SAP San Miguel (02/02)



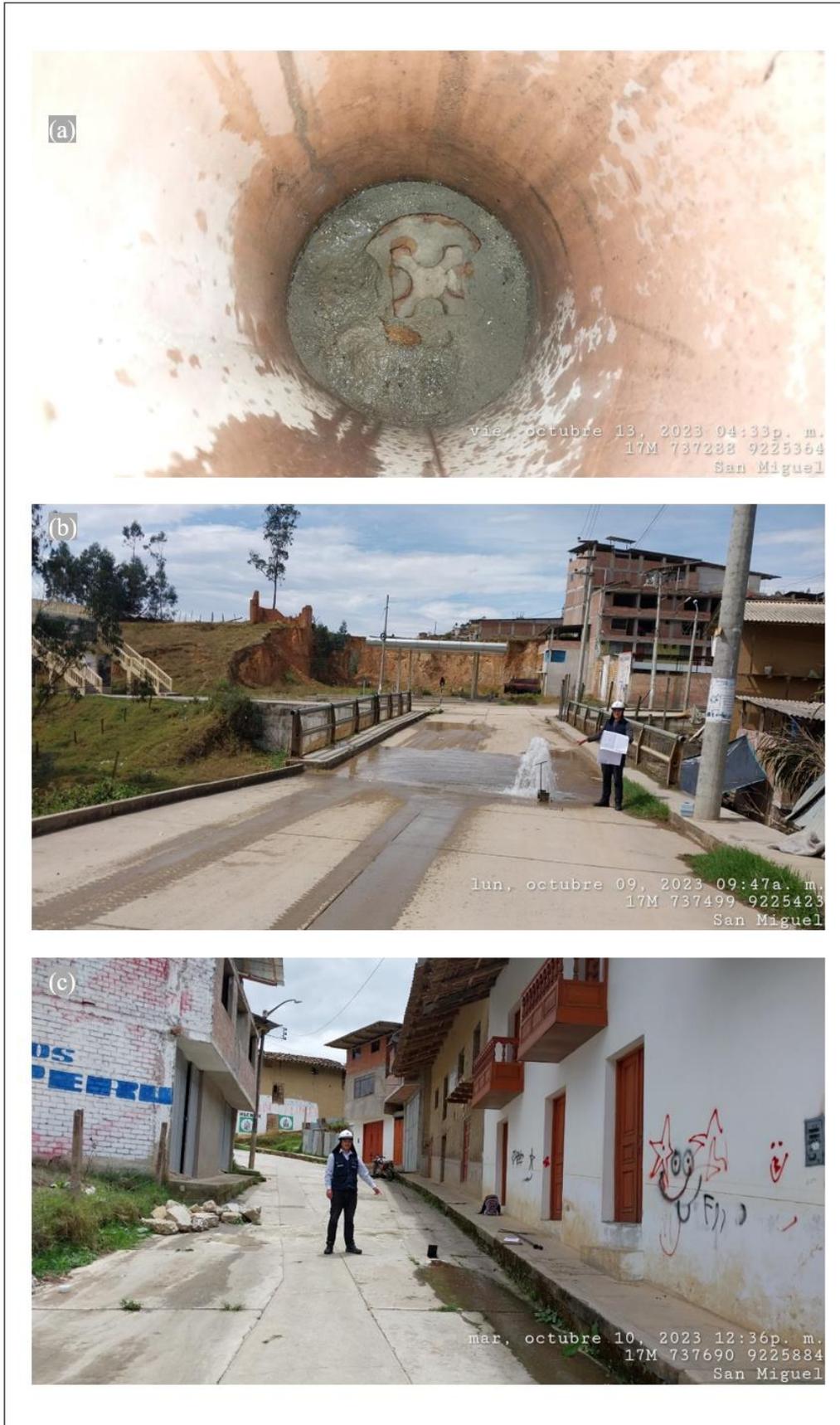
**Figura 104:** Reservorio del SAP San Miguel (01/02)



**Figura 105:** Reservorio del SAP San Miguel (02/02)



**Figura 106:** Válvulas de aislamiento y de purga de la red de distribución



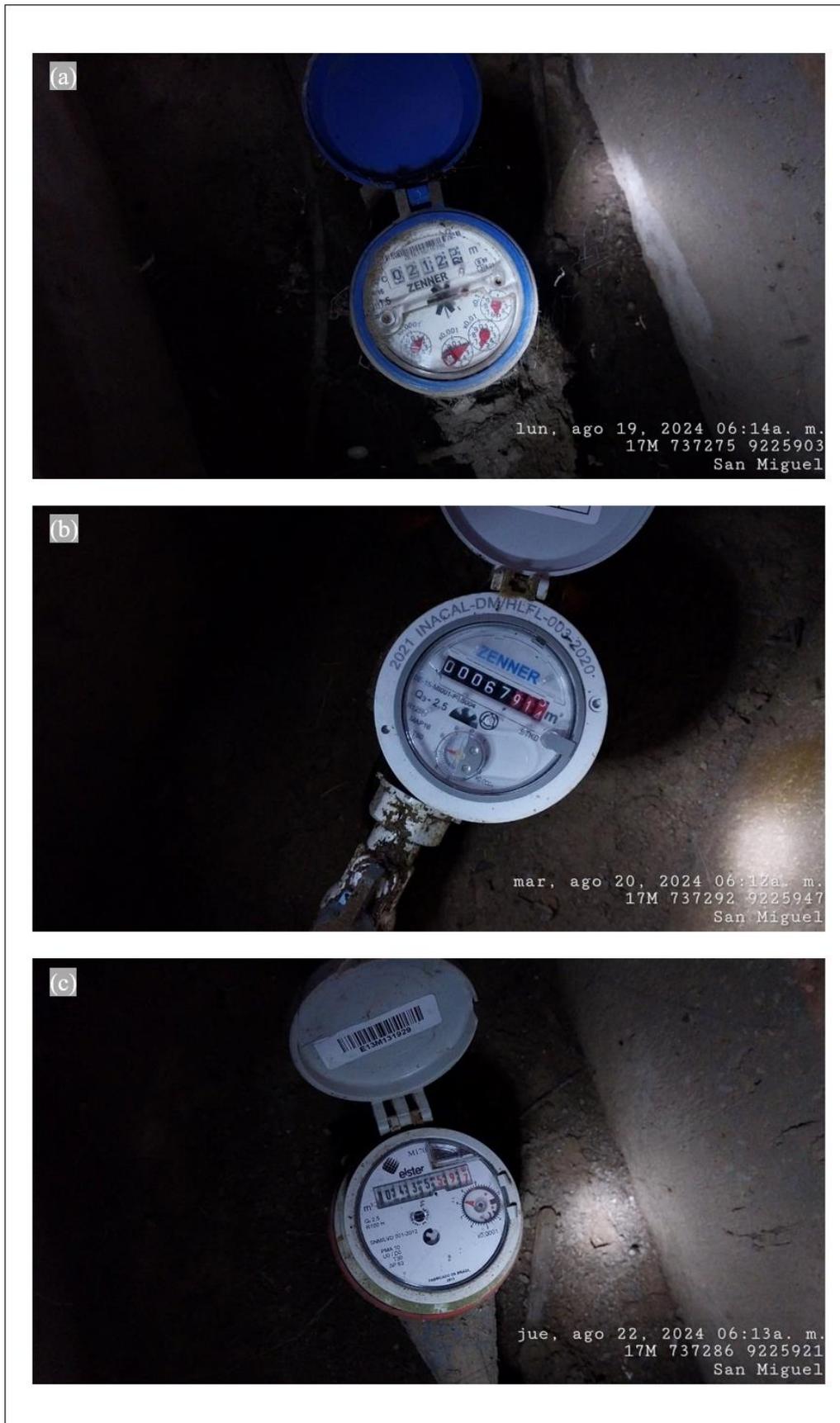
**Figura 107:** Válvulas reductoras de presión e hidrantes de la red de distribución



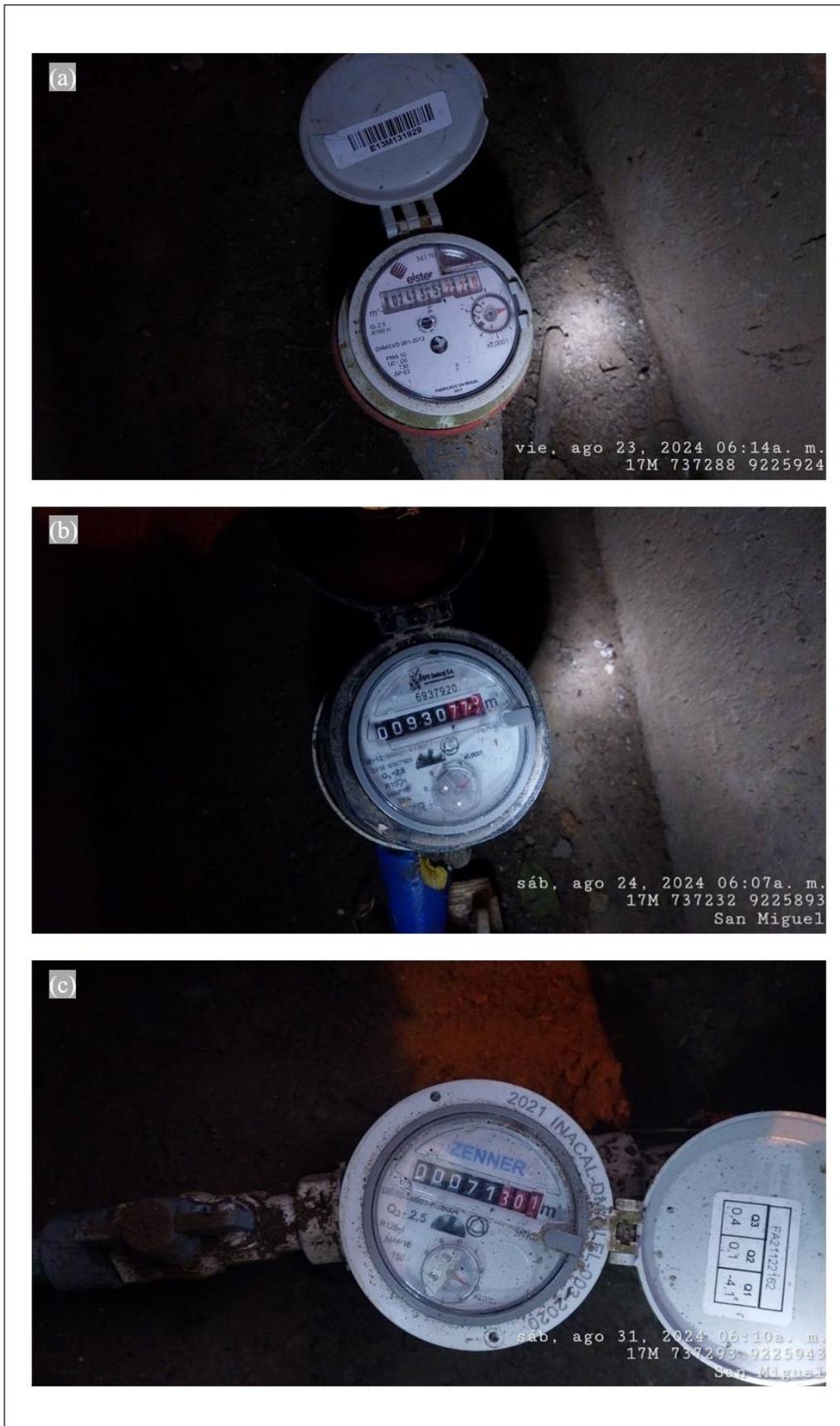
**Figura 108:** Válvulas de aire de la red de distribución del SAP San Miguel



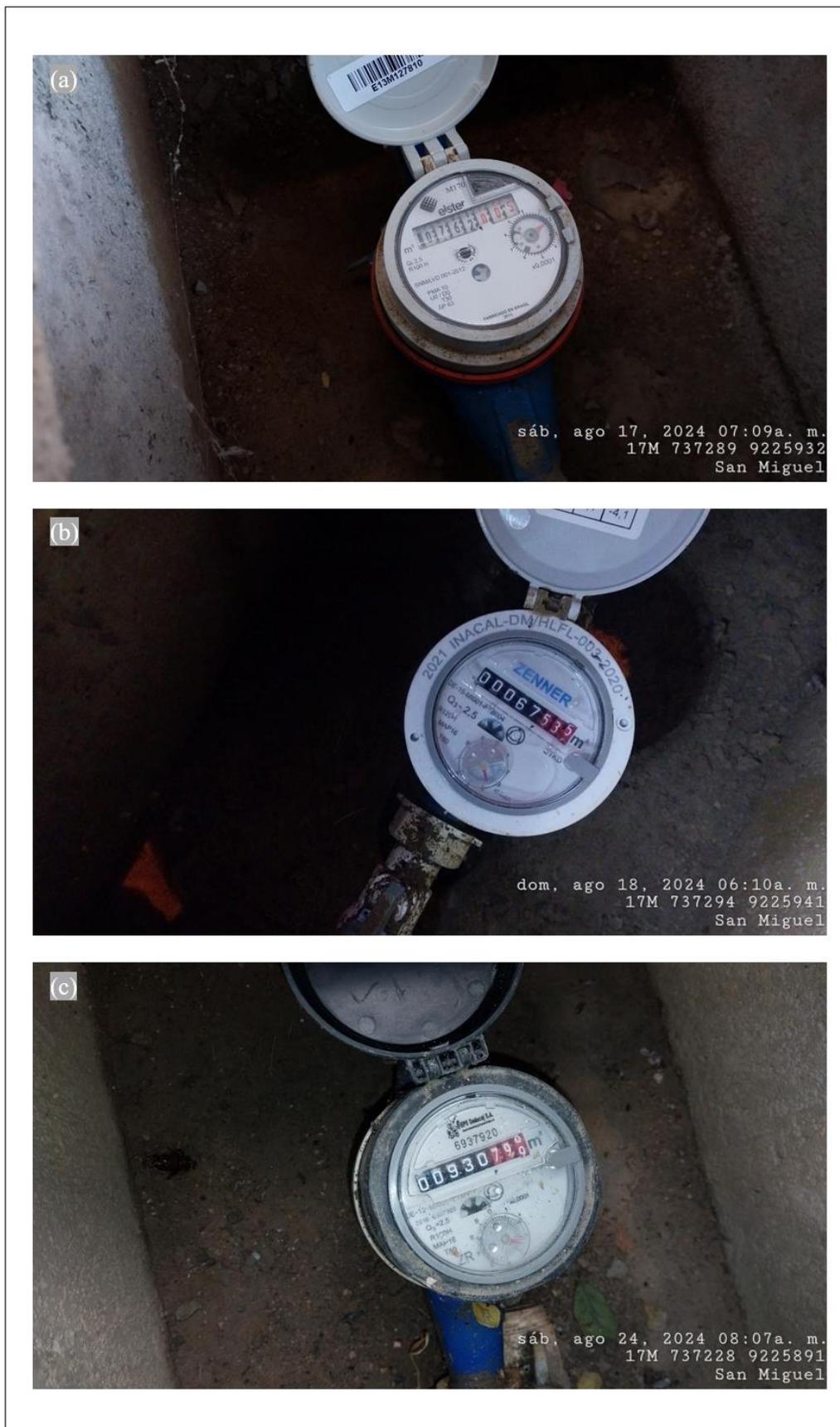
**Figura 109:** Registro de consumo diario en conexiones del SAP San Miguel (01/02)



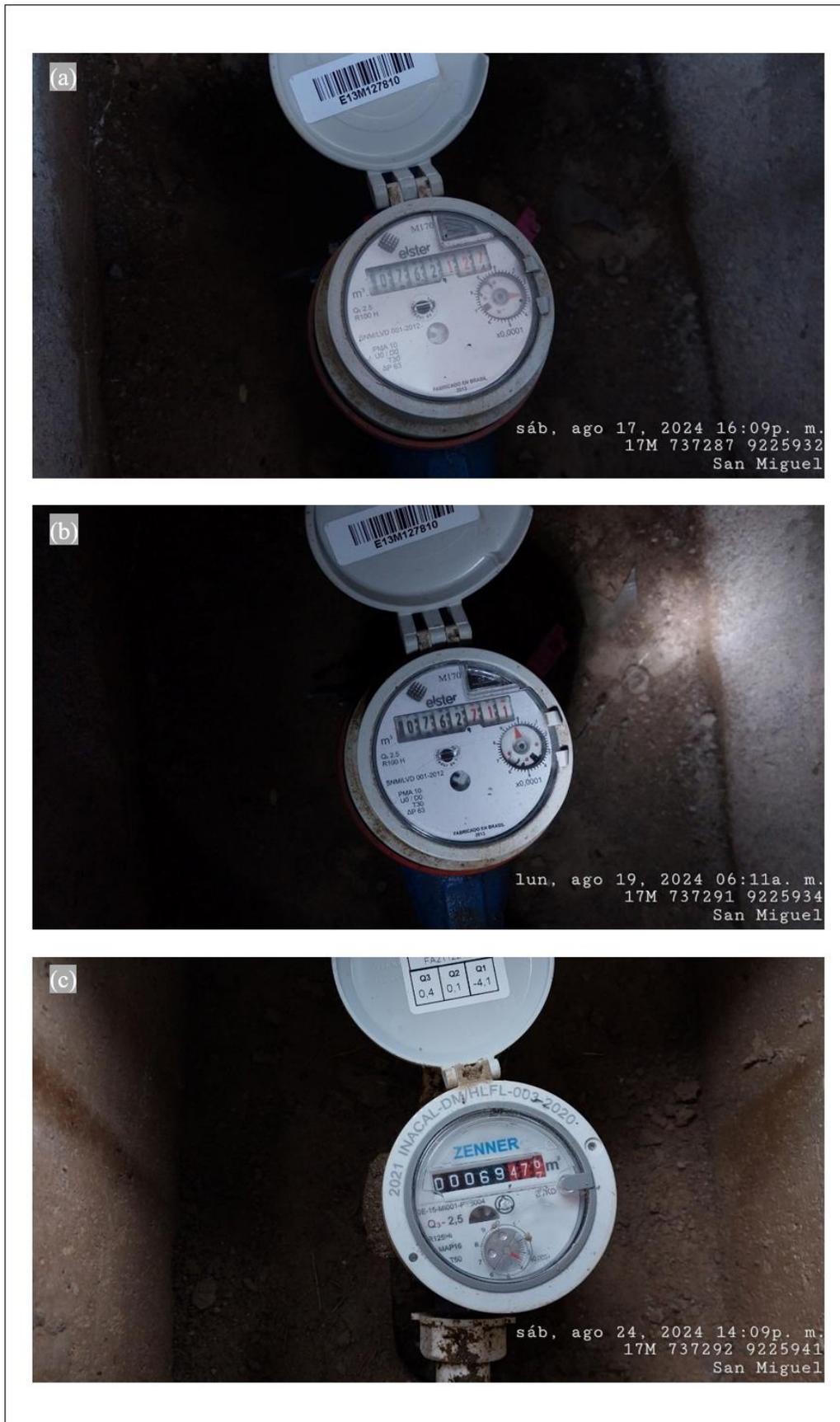
**Figura 110:** Registro de consumo diario en conexiones del SAP San Miguel (02/02)



**Figura 111:** Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel (01/02)



**Figura 112:** Registro de consumo horario en conexiones del SAP San Miguel (02/02)



**Figura 113:** Tirante de agua en la ventana de captación, bocatoma del SAP San Miguel



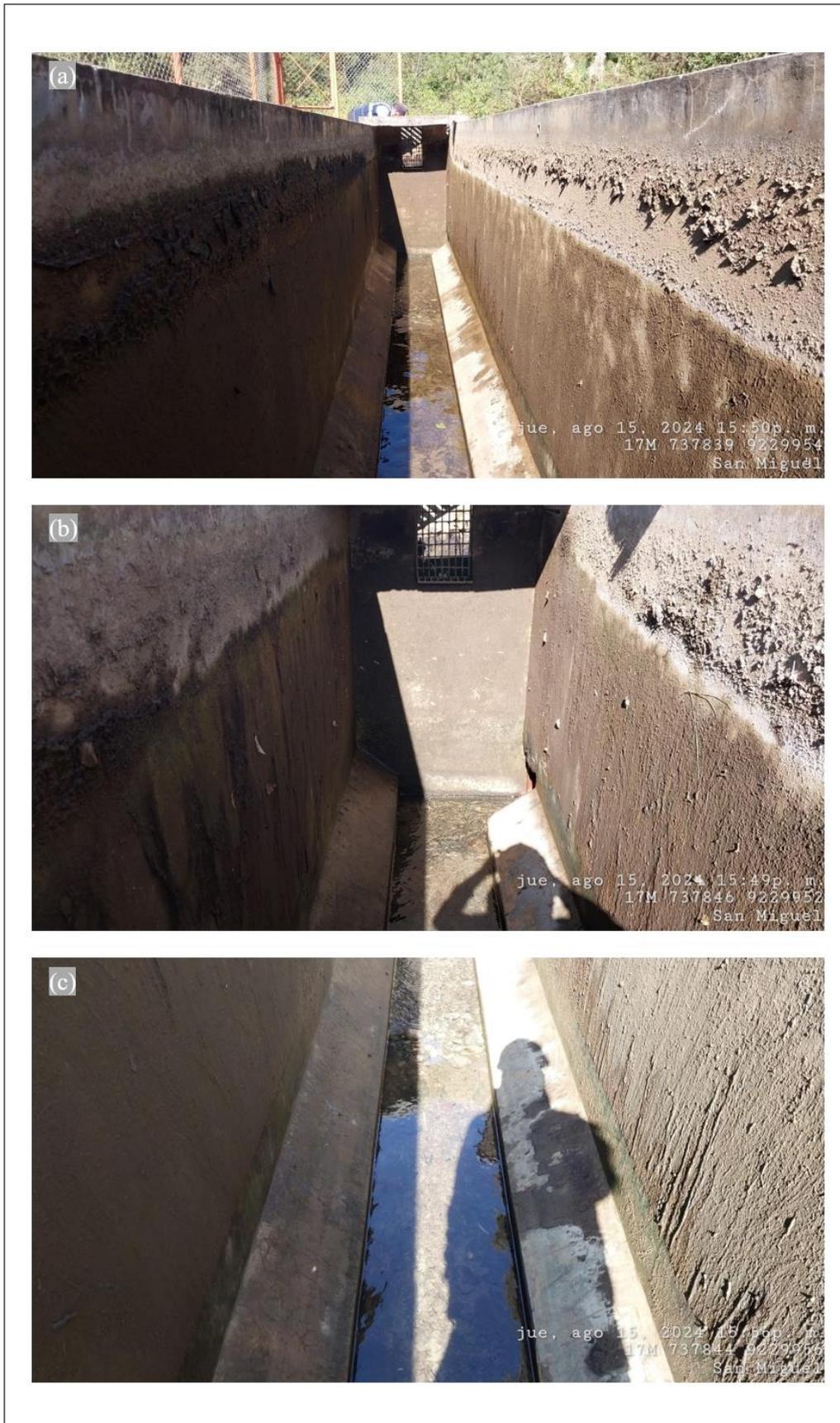
**Figura 114:** Aforo del caudal derivado por el SAP San Miguel



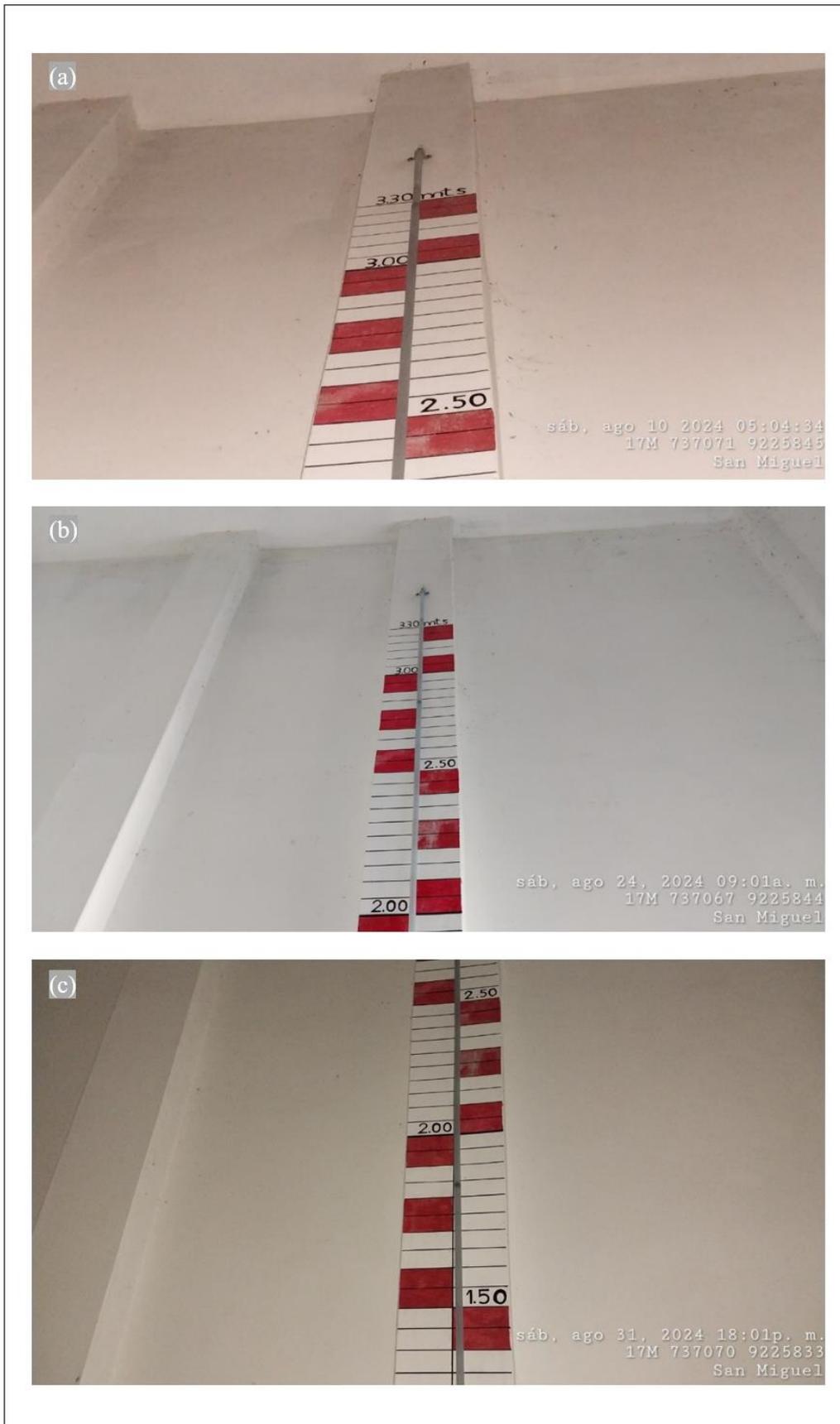
**Figura 115:** Profundidad de agua en el barraje, bocatoma del SAP San Miguel



**Figura 116:** Sedimentos atrapados en el desarenador del SAP San Miguel



**Figura 117:** Variación del nivel de agua en el reservorio del SAP San Miguel



**Figura 118:** Registro de presiones en la red de distribución del SAP San Miguel



**Figura 119:** Medición de la turbiedad, cloro residual libre y pH en el SAP San Miguel

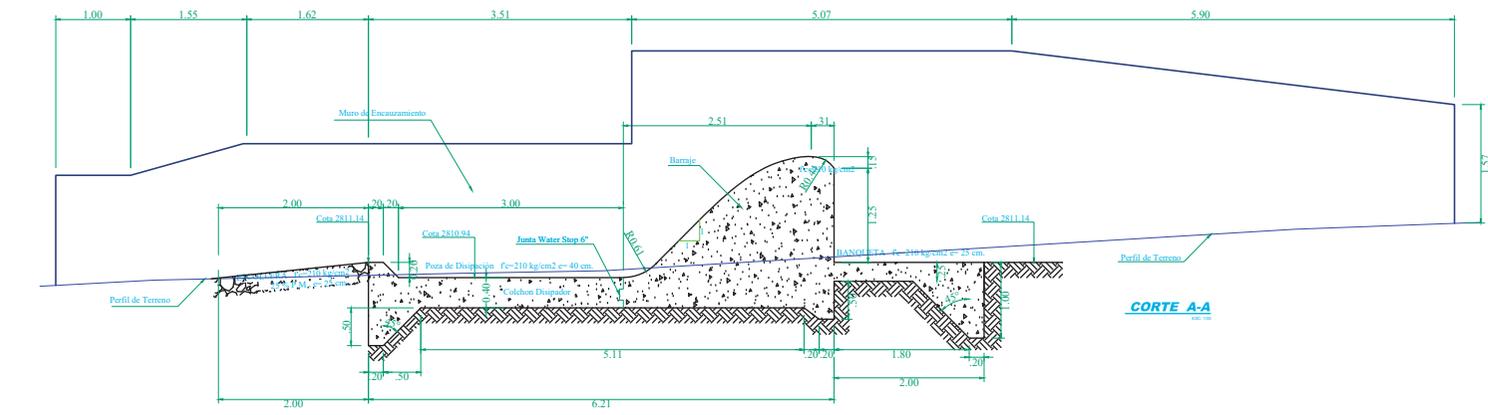
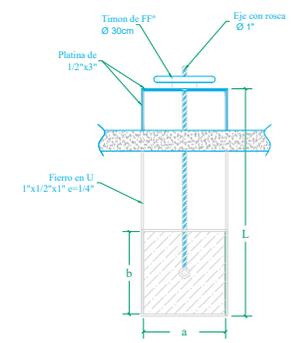
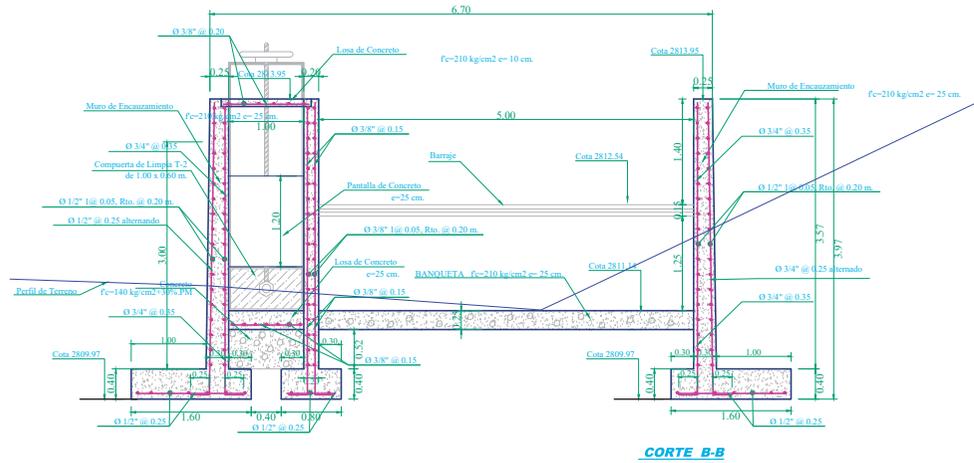
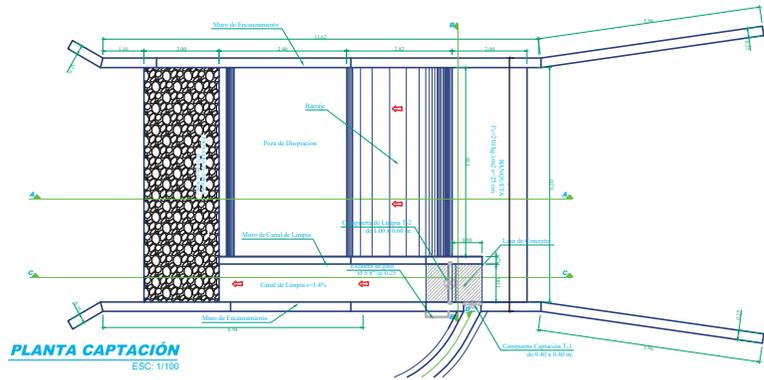


**Figura 120:** Toma de muestras de agua del SAP San Miguel



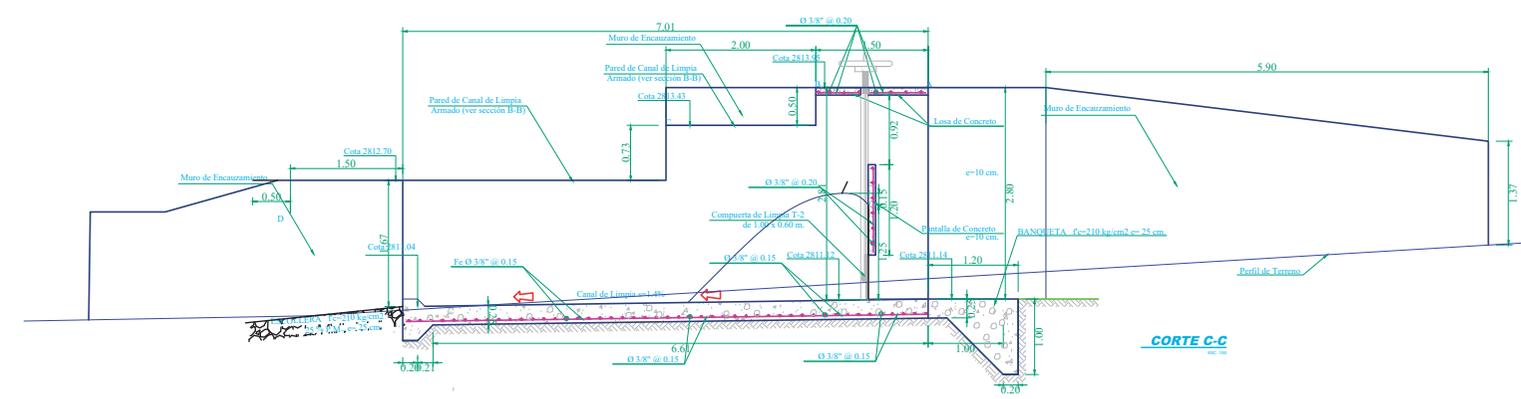
# PLANOS

**PLANTA CAPTACIÓN**  
ESC: 1/100



CAUDRO DE COMPUERTAS			
	a	b	L
Compuerta De Hierro con Volante 0.40x0.40m L=2.50 E=3/4" (Captación)	0.4	0.4	2.5
Compuerta De Hierro con Volante 1.00x0.60m L=3.40 E=3/4" (Canal de limpia)	0.6	1.0	3.4
Compuerta De Hierro con Volante 0.40x0.40m L=2.00 E=3/4" (Desarenador)	0.4	0.4	2.0

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
CONCRETO ARMADO:	$f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ EN DESARENADOR Y CANAL DE LIMPIA EN BARRAJE, COLCHÓN DISCIPADOR $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ BANQUETA DE ACCESO, CANAL DE CONDUCCIÓN
CONCRETO SIMPLE:	$f_c=140 \text{ Kg/cm}^2$ EN SOLADO DE CANAL DE LIMPIA EMBOQUILLADO DE PIEDRA Y CEMENTO
RECUBRIMIENTOS MINIMOS:	LOSA SUPERIOR=2cm LOSA DE FONDO=4cm MUROS=2cm
TRASLAPES:	$\phi 1/4''= 0.30 \text{ cm}$ $\phi 3/8''= 0.40 \text{ cm}$ $\phi 1/2''= 0.50 \text{ cm}$ $\phi 3/4''= 0.60 \text{ cm}$
REVOQUES:	-BARRAJE Y CANAL DE LIMPIA TARRAJEAR LAS SUPERFICIES EN CONTACTO CON EL AGUA CON MEZCLA 1:3 C/A DE 2 cm DE ESPESOR. ACABADO FROTACHADO. SOLAQUEADO CON CEMENTO EN AZUD
	-DESARENADOR TARRAJEAR LAS SUPERFICIES EN CONTACTO CON EL AGUA CON MEZCLA 1:3 C/A DE 2 cm DE ESPESOR. ACABADO FROTACHADO FINO CON USO DE IMPERMEABILIZANTE,
CEMENTO:	PORTLAND TIPO 1
ACERO:	$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

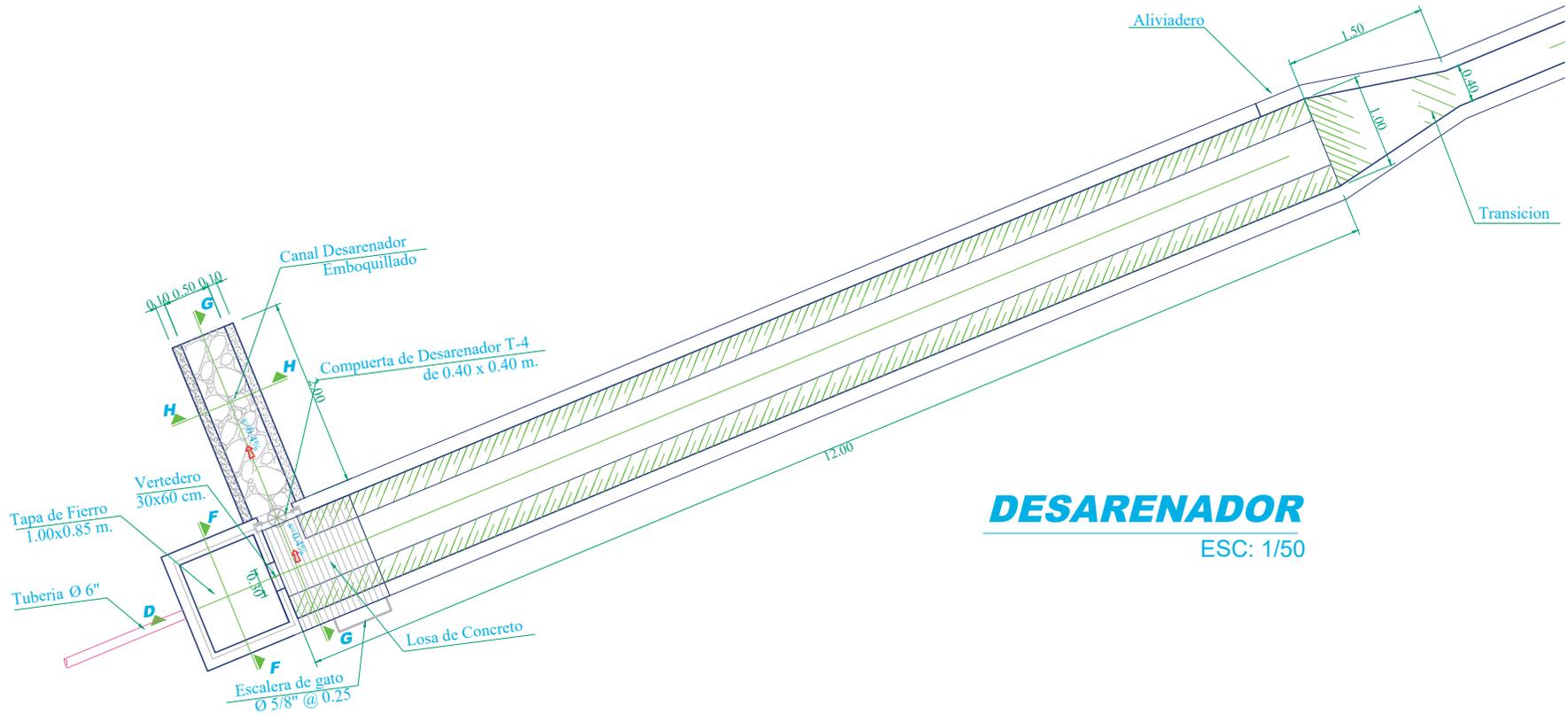




**E.P.S. SEDACAJ S.A.**  
EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO  
**GERENCIA DE OPERACIONES**

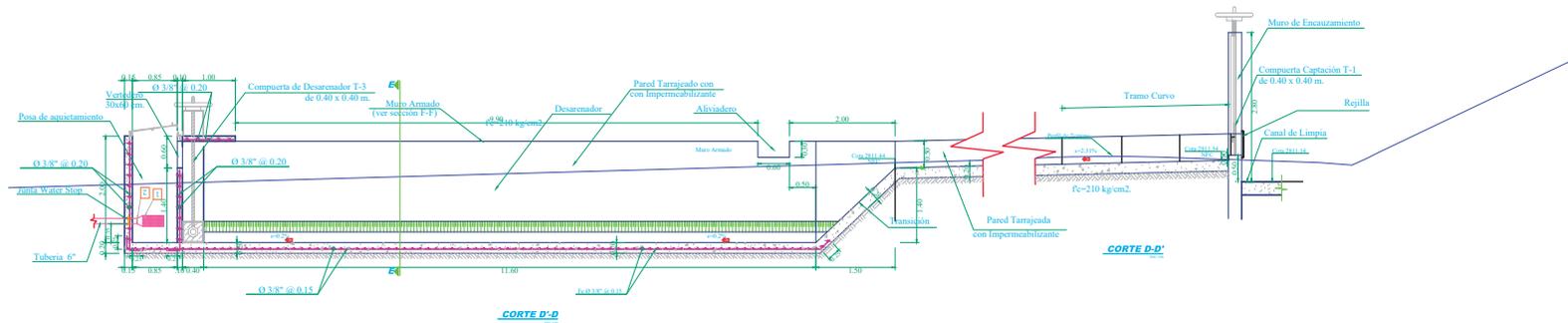
Proy: "Construcción Captación y Línea de Conducción Santa Rosa" como meta integrante del proyecto de Inversión pública: "Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de San Miguel, con Código SNIP N° 58537"

Fecha: MAYO 2018	Plano: CAPTACIÓN -CORTES
Dpto. CAJAMARCA	Proy. SAN MIGUEL
Dist. SAN MIGUEL	Plano N°. CC-01
Proy. N°.	



# DESARENADOR

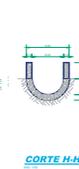
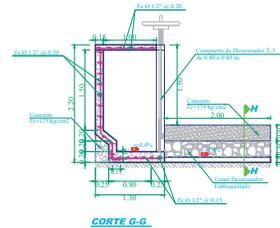
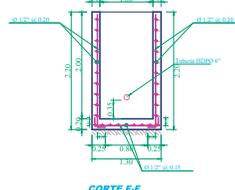
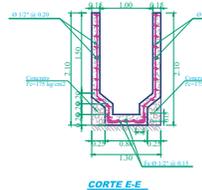
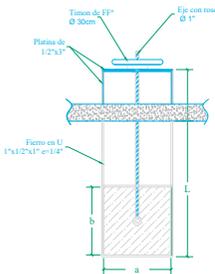
ESC: 1/50



ESPECIFICACIONES TECNICAS	
CONCRETO ARMADO:	$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ EN DESARENADOR Y CANAL DE LIMPIA EN BARRIL, COLECCION DESARENADOR $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ BANQUETA DE ACCESO, CANAL DE CONDUCCION
CONCRETO SIMPLE:	$f_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ EN SOLADO DE CANAL DE LIMPIA EMBOQUELADO DE PIEDRA Y CEMENTO
RECURRIMIENTOS MINIMOS:	LOSA SUPERIOR-2cm LOSA DE FONDO-4cm MUROS-2cm
TRASLAPES:	Ø14"= 0.50cm Ø18"= 0.40cm Ø12"= 0.50cm Ø14"= 0.60cm
REVOQUES:	BARRIL Y CANAL DE LIMPIA TARRAJEAR LAS SUPERFICIES EN CONTACTO CON EL AGUA CON MEZCLA 1:3 C/A DE 2 cm DE ESPESOR, ACABADO FROTACHADO, SOLAQUEADO CON CEMENTO EN AZUL
DESARENADOR:	TARRAJEAR LAS SUPERFICIES EN CONTACTO CON EL AGUA CON MEZCLA 1:3 C/A DE 2 cm DE ESPESOR, ACABADO FROTACHADO FINO CON USO DE IMPERMEABILIZANTE.
CEMENTO:	PORTLAND TIPO I
ACERO:	$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

CANTIDAD	UNIDAD	ELEMENTO	Nº
01	und	Canastilla de Bronce 8"	1
01	und	Tubería HDP 6"	2

CAJERO DE COMPUERTAS			
	a	b	L
Compuerta De Hierro con Volante 0.40x0.40m L=2.50 E=3/4" (Captación)	0.4	0.4	2.5
Compuerta De Hierro con Volante 1.00x0.60m L=3.40 E=3/4" (Canal de limpieza)	0.6	1.0	3.4
Compuerta De Hierro con Volante 0.40x0.40m L=2.00 E=3/4" (Desarenador)	0.4	0.4	2.0

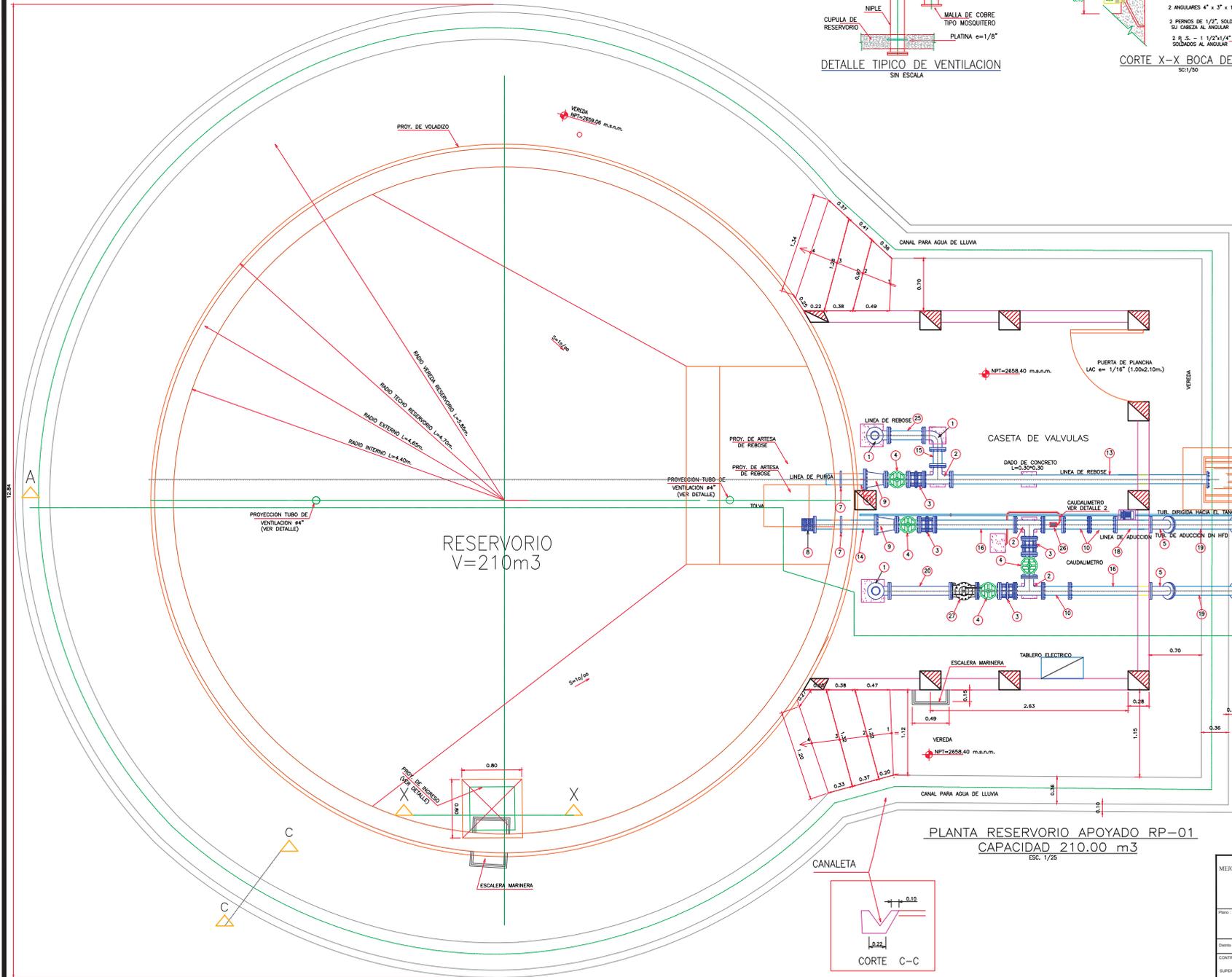
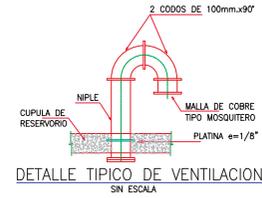


**E.P.S. SEDACAJ S.A.**  
EMPRESA PÚBLICA DE SERVICIOS DE ASESORAMIENTO  
GERENCIA DE OPERACIONES

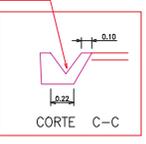
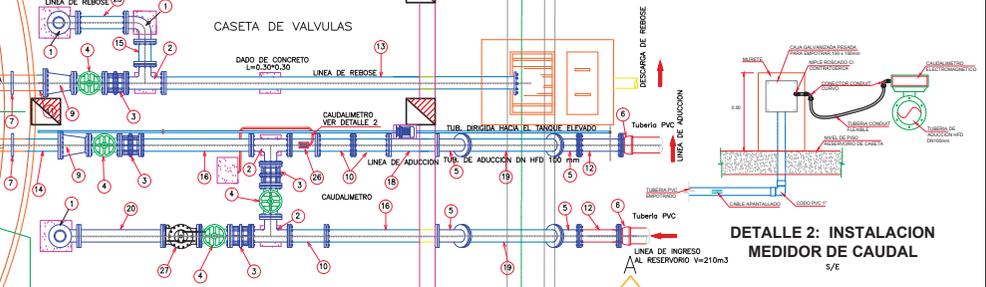
Proy: "Construcción Captación y Línea de Conducción Santa Rosa" como obra integrante del proyecto de Inversión pública: "Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Acarreado y Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de San Miguel, con Código SNIP N° 58537"

Fecha: MAYO 2018  
Indicada: DESARENADOR-CORTES

Elab: CAJAMARCA  
Rev: SAN MIGUEL  
Dise: SAN MIGUEL  
Piso: DC-01  
Rev: N°

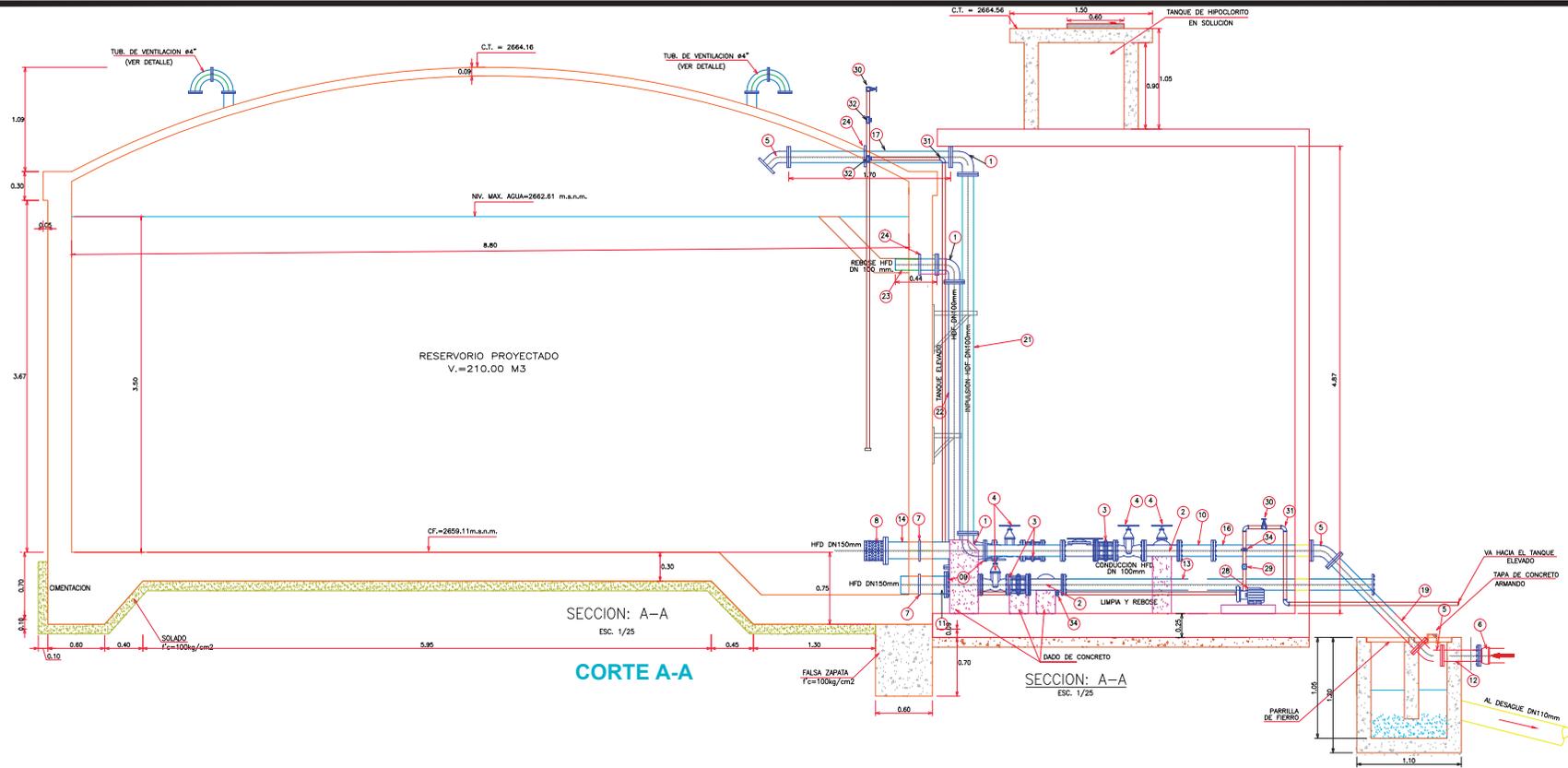


DESCRIPCION	CANTIDAD
⊙ CODO DE HFD. DN 100 mm x 90° B.B.	05 UND.
⊙ TEE DE HFD. DN 100 x 100 mm. B.B.	03 UND.
⊙ UNION DE DESMONTAJE HFD DN 100 mm.	04 UND.
⊙ VALVULA TIPO COMPUERTA HFD DN 100 mm. B.B.	04 UND.
⊙ CODO DE HFD DN 100 mm. x 45° B.S.	05 UND.
⊙ TRANSICION DE HFD DN 100/150mm. BRIDA-CAMPANA	02 UND.
⊙ BRIDA ROMPE AGUA DE HFD. DN 150 mm.	02 UND.
⊙ CANASTILLA DE BRONCE DN 150 mm. BRIDADA	01 UND.
⊙ REDUCCION HFD DN 150/100mm	02 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN100 mm. L=1,35m	03 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BE. DN 150 mm. L=0,50m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN100 mm. L=1,30m	02 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=3,46m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 150 mm. L=0,80m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=0,207m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=1,127m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=0,50m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=1,30m	02 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=0,81m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=3,74m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=2,97m	01 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BE. DN 100 mm. L=0,44m	01 UND.
⊙ BRIDA ROMPE AGUA DE HFD. DN 100 mm.	02 UND.
⊙ TUBERIA HFD. BB. DN 100 mm. L=0,46m	01 UND.
⊙ CAUDALIMETRO BB. HFD. DN100mm	01 UND.
⊙ VALVULA CONTROL DE NIVEL. BB. HFD. DN100mm	01 UND.



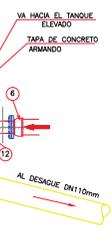
PLANTA RESERVOIRIO APOYADO RP-01  
CAPACIDAD 210.00 m3  
ESC. 1/25

MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y AL CANTABILDADO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL		SISTEMA GENERAL DE AGUA POTABLE	
<b>RESERVOIRIO APOYADO CONSTRUIDO V=210,00 m3</b> <b>EQUIPAMIENTO ELECTROMECANICO</b>		<b>RP-SMG-M-01</b>	
Distrito: SAN MIGUEL Provincia: SAN MIGUEL Departamento: CAJAMARCA Contratorista: <b>Consortio Saneamiento Cajamarca Nippon Jogesuido Sekkei Co., Ltd.</b>	Proyecto: SAN MIGUEL Fecha: AGOSTO 2013	Director de Proyecto: <b>RP-SMG-M-01</b> Ingeiero de Proyecto: <b>RP-SMG-M-01</b> Ingeiero de Proyecto: <b>RP-SMG-M-01</b>	Ingeiero de Proyecto: <b>RP-SMG-M-01</b> Ingeiero de Proyecto: <b>RP-SMG-M-01</b> Ingeiero de Proyecto: <b>RP-SMG-M-01</b>



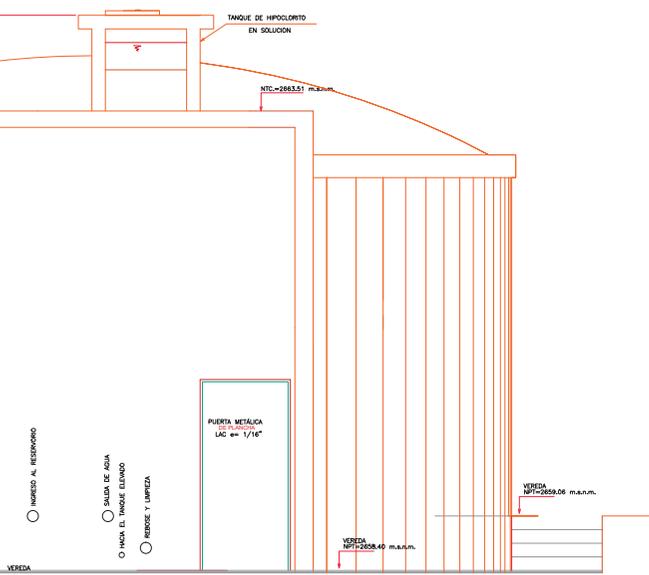
SECCION: A-A  
ESC. 1/25  
**CORTE A-A**

SECCION: A-A  
ESC. 1/25



DESCRIPCION	CANTIDAD
10 ELECTROVALVULA EXISTENTE	01 UNO.
11 VALVULA CHECK DE BRONCE, CON ROSCA, 1"	01 UNO.
12 VALVULA COMPUESTA DE BRONCE, CON ROSCA, 1"	02 UNO.
13 CODO 90° DE PVC, 1"	06 UNO.
14 TEE 90° DE PVC, 1"	01 UNO.
15 MEFRAJO DE TUBERIA DE PVC, 1"	13.10m
16 UNION UNIVERSAL GALVANIZADA	03 UNO.

DESCRIPCION	CANTIDAD
1 CODO DE HFD DN 100 mm x 90° B.B.	08 UNO.
2 TEE DE HFD DN 100 x 100 mm. B.B.	03 UNO.
3 UNION DE DESMORCABLE HFD DN 100 mm.	04 UNO.
4 VALVULA TIPO COMPUESTA HFD DN 100 mm. B.B.	04 UNO.
5 CODO DE HFD DN 100 mm x 45° B.B.	05 UNO.
6 TRANSICION DE HFD DN 150/100mm. BRIDA-CAMPAÑA	02 UNO.
7 BRIDA ROMPE AGUA DE HFD, DN 150 mm.	03 UNO.
8 CAMACHILLA DE 1" Ø DN 150 mm. BRIDADA	01 UNO.
9 REDUCCION HFD DN 150/100mm	02 UNO.
10 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=0.25m	02 UNO.
11 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=0.25m	01 UNO.
12 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=1.20m	02 UNO.
13 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=3.46m	02 UNO.
14 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=0.85m	01 UNO.
15 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=0.207m	01 UNO.
16 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=1.127m	01 UNO.
17 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=1.27m	01 UNO.
18 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=0.25m	01 UNO.
19 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=1.20m	02 UNO.
20 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=0.81m	01 UNO.
21 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=3.74m	01 UNO.
22 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=2.97m	01 UNO.
23 TUBERIA HFD DN 100 mm. L=0.44m	01 UNO.
24 BRIDA ROMPE AGUA DE HFD, DN 100 mm.	02 UNO.



ELEVACION PRINCIPAL

MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL  
SISTEMA GENERAL DE AGUA POTABLE

PROYECTO: RESERVOIRIO APOYADO CONSTRUIDO CORTES V=210.00 m3

FECHA: AGOSTO 2013

CONTRATISTA: Consorcio Sanameento Cajamarca

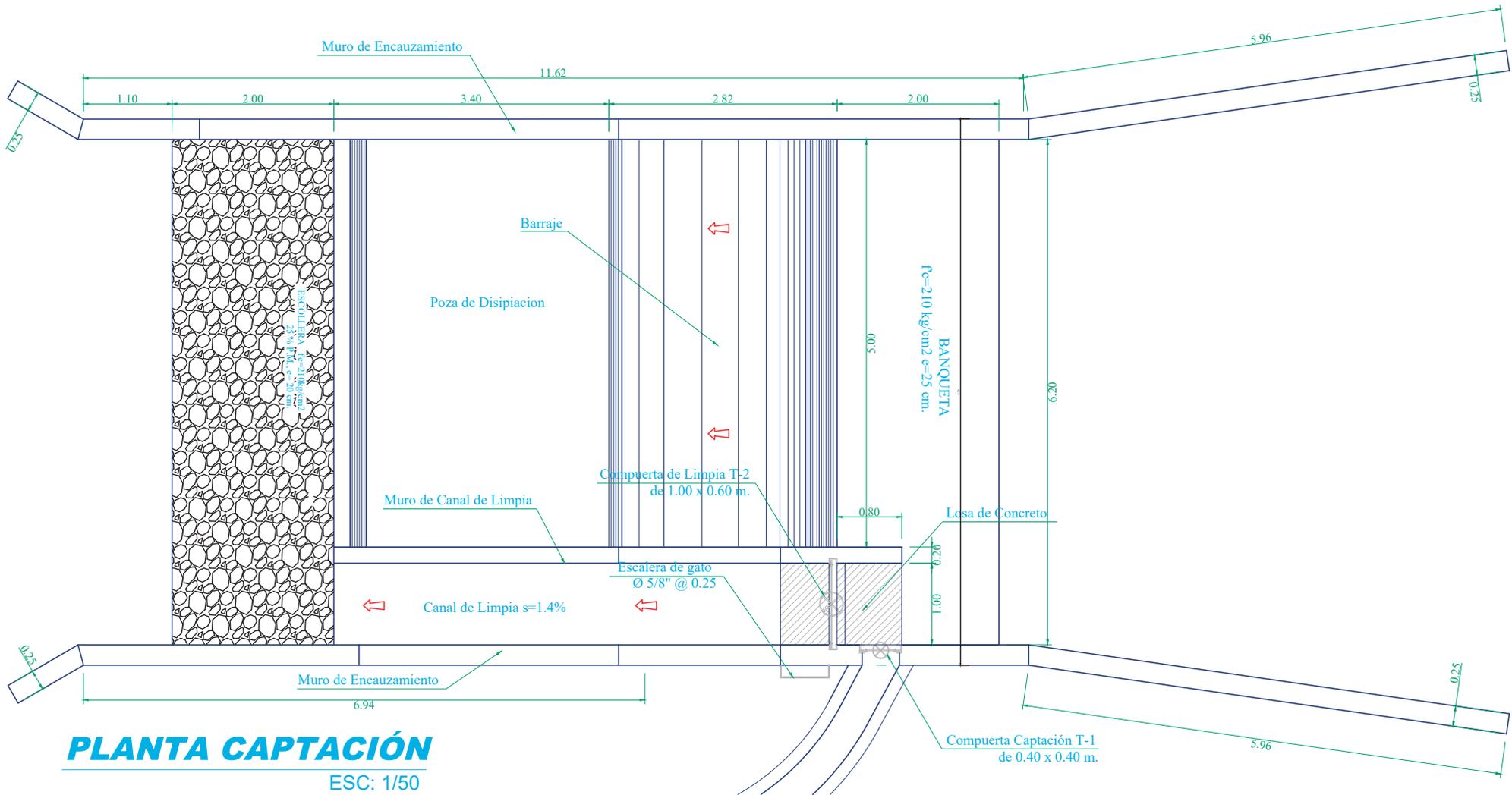
SUPERVISOR: Nippon Jogesuido Sekkei Co., Ltd.

CONTRATO: RP-SMG-M-02

PROYECTO: RP-ASB-02

FECHA: 02 de 03





**PLANTA CAPTACIÓN**  
ESC: 1/50



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA CIVIL

TESIS:  
EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA  
CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA

BACHILLER:  
JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA

PLANO:  
PLANTA CAPTACIÓN

ASESOR:  
DR. ING. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ

ESCALA:  
INDICADA

FECHA:  
CAJAMARCA, 2024

PLANO:  
PC-01

# PERFIL LONGITUDINAL DESDE KM 0+000.00 HASTA 3+600.00

Esc. H: 1/10000 Esc. V: 1/1000



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: **EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA**

BACHILLER: **JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA**

PLANO: **PERFIL HIDRÁULICO LÍNEA DE CONDUCCIÓN**

ASESOR: **DR. ING. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ**

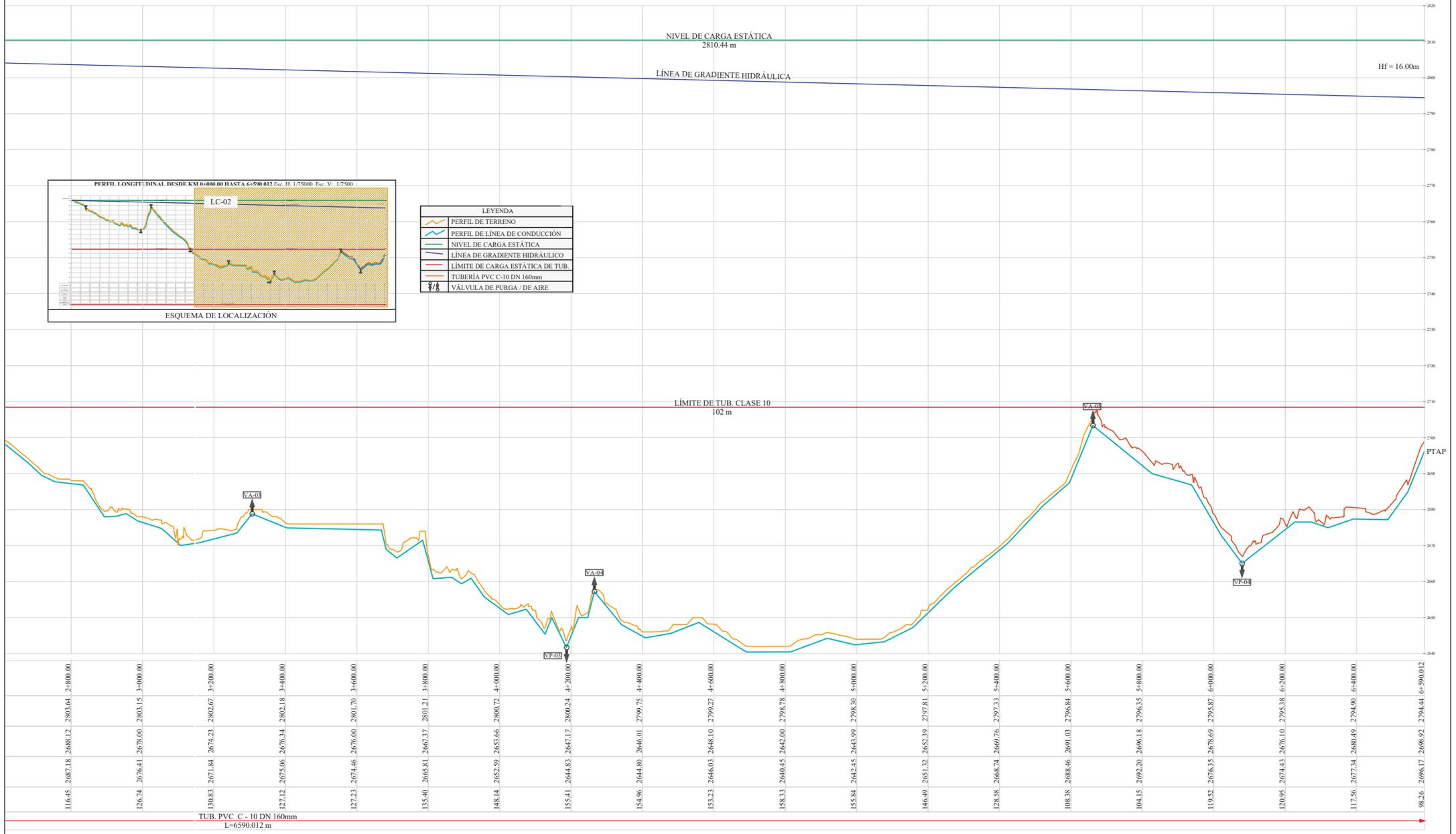
ESCALA: **INDICADA**

FECHA: **CAJAMARCA, 2024**

PLANO: **LC-01**

PERFIL LONGITUDINAL DESDE KM 2+800.00 HASTA 6+590.012

Esc. H: 1/10000 Esc. V: 1/1000



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS:**  
EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA

**BACHILLER:**  
JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA

**PLANO:**  
PERFIL HIDRÁULICO LÍNEA DE CONDUCCIÓN

**ASESOR:**  
DR. ING. GASPARI VIRILO MÉNDEZ CRUZ

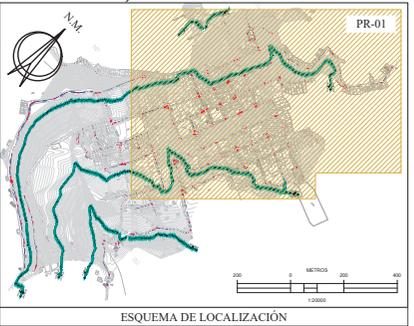
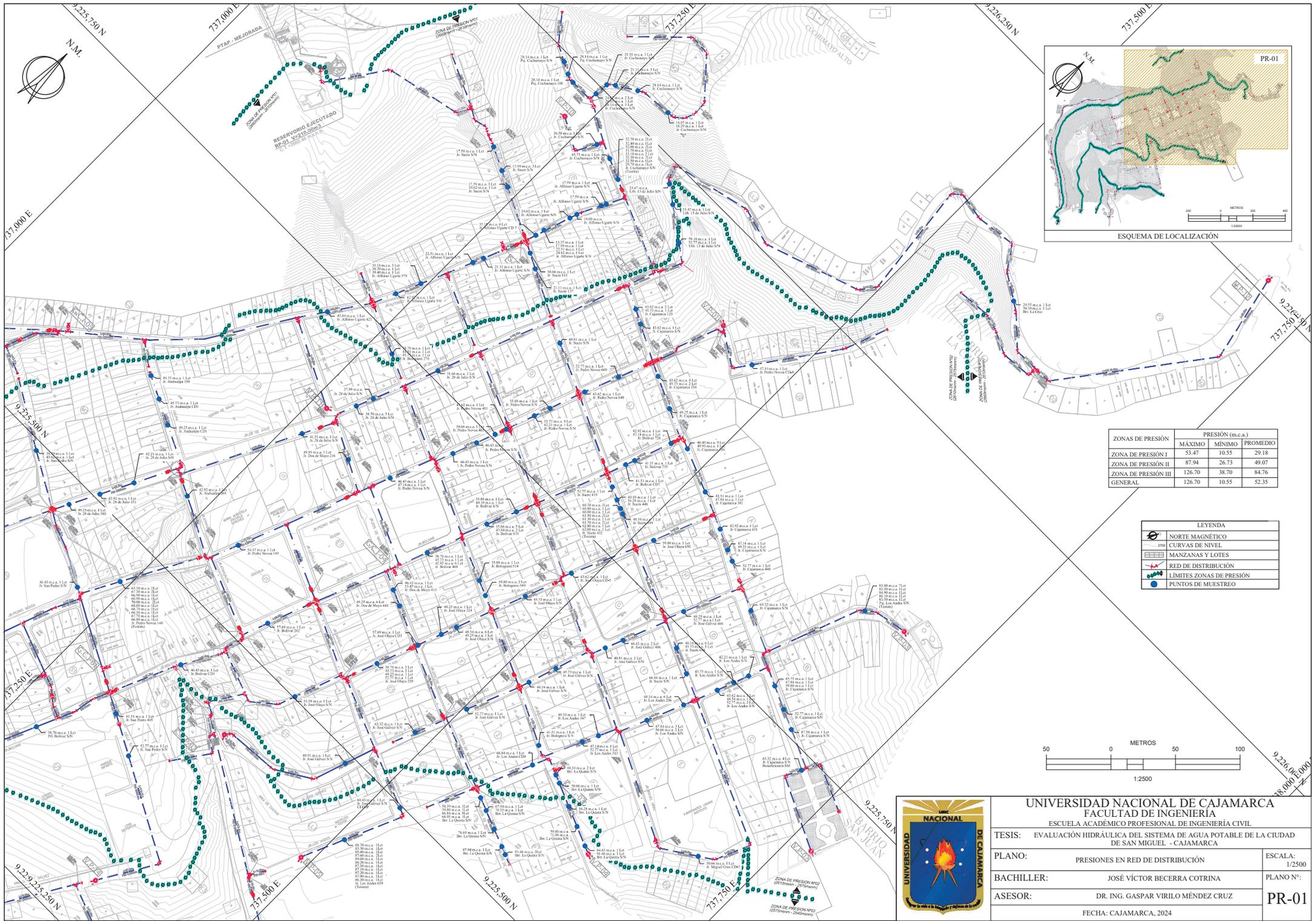
**ESCALA:**  
INDICADA

**FECHA:**  
CAJAMARCA, 2024

**PLANO:**  
LC-02

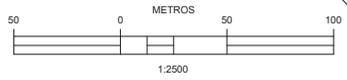






ZONAS DE PRESIÓN	PRESIÓN (m.c.a.)		
	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
ZONA DE PRESIÓN I	53.47	10.55	29.18
ZONA DE PRESIÓN II	87.94	26.73	49.07
ZONA DE PRESIÓN III	126.70	38.70	84.76
GENERAL	126.70	10.55	52.35

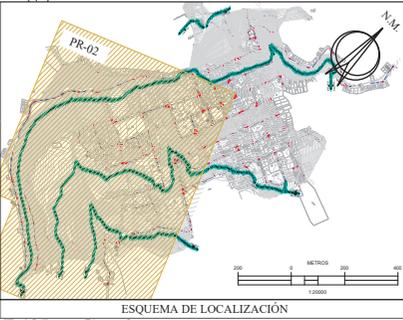
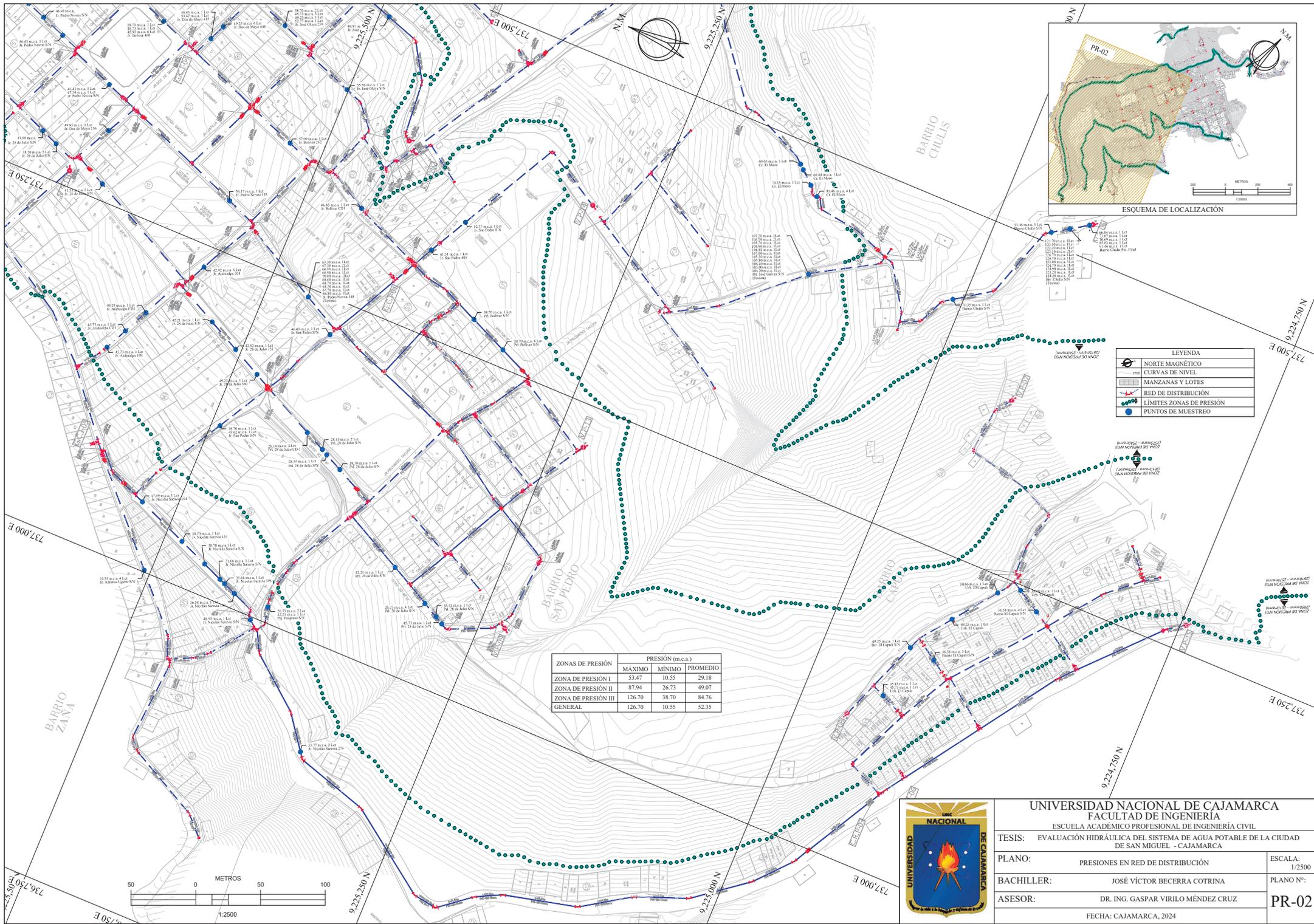
LEYENDA	
	NORTE MAGNÉTICO
	CURVAS DE NIVEL
	MANZANAS Y LOTES
	RED DE DISTRIBUCIÓN
	LÍMITES ZONAS DE PRESIÓN
	PUNTOS DE MUESTREO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA

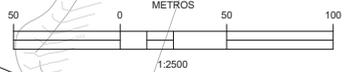
PLANO:	PRESIONES EN RED DE DISTRIBUCIÓN	ESCALA:	1/2500
BACHILLER:	JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA	PLANO N°:	PR-01
ASESOR:	DR. ING. GASPAR VIRILLO MÉNDEZ CRUZ	FECHA:	CAJAMARCA, 2024



LEYENDA

	NORTE MAGNETICO
	CURVAS DE NIVEL
	MANZANAS Y LOTES
	RED DE DISTRIBUCIÓN
	LÍMITES ZONAS DE PRESIÓN
	PUNTOS DE MUESTREO

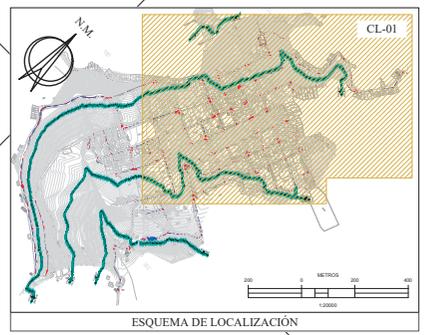
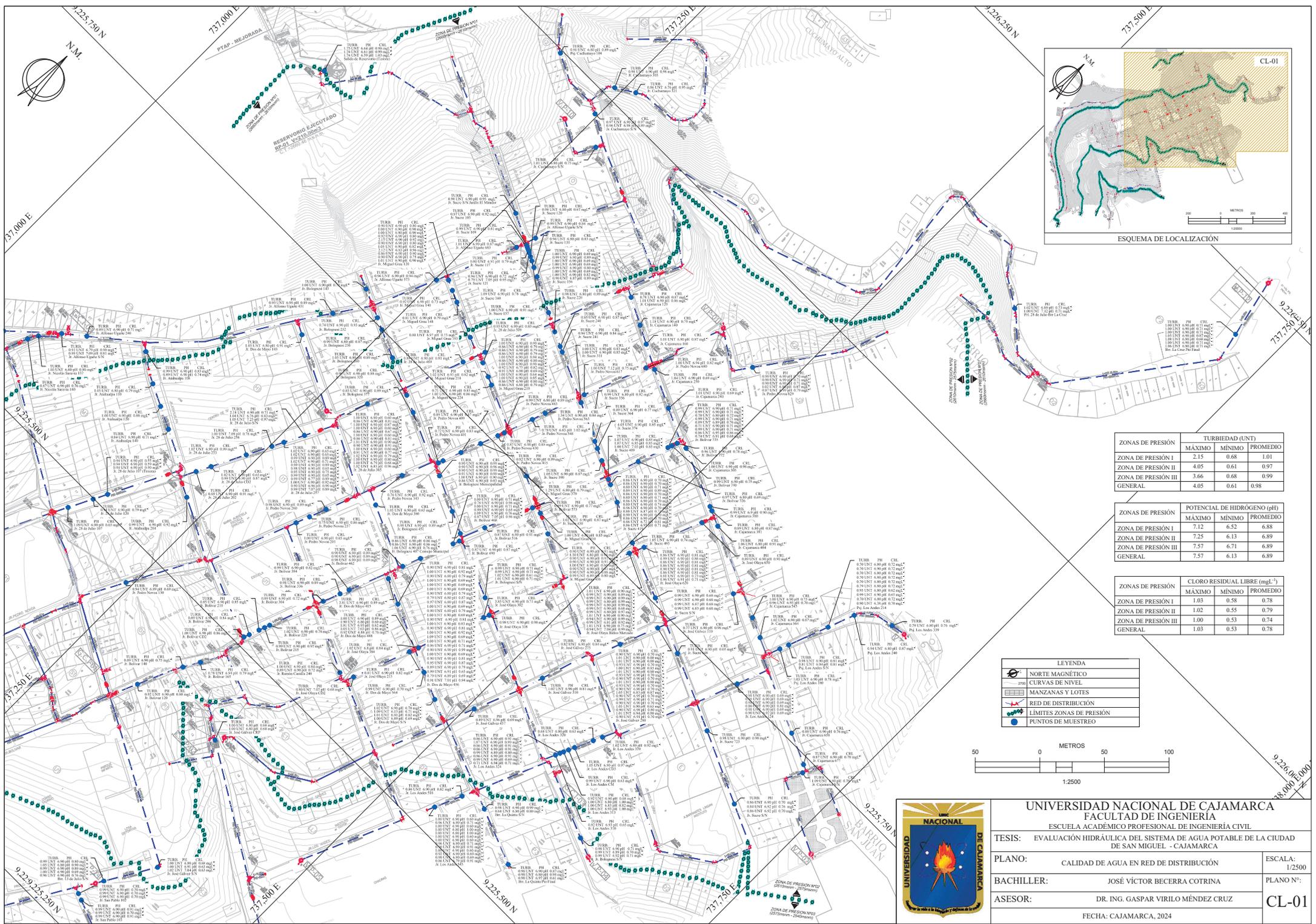
ZONAS DE PRESIÓN	PRESIÓN (m.c.a.)		
	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
ZONA DE PRESIÓN I	53.47	10.55	29.18
ZONA DE PRESIÓN II	87.94	26.73	49.07
ZONA DE PRESIÓN III	126.70	38.70	84.76
GENERAL	126.70	10.55	52.35



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA

PLANO:	PRESIONES EN RED DE DISTRIBUCIÓN	ESCALA:	1/2500
BACHILLER:	JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA	PLANO N°:	PR-02
ASESOR:	DR. ING. GASPAR VIRILLO MÉNDEZ CRUZ	FECHA:	CAJAMARCA, 2024

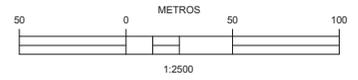


ZONAS DE PRESIÓN	TURBIEDAD (UNT)		
	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
ZONA DE PRESIÓN I	2.15	0.68	1.01
ZONA DE PRESIÓN II	4.05	0.61	0.97
ZONA DE PRESIÓN III	3.66	0.68	0.99
GENERAL	4.05	0.61	0.98

ZONAS DE PRESIÓN	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)		
	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
ZONA DE PRESIÓN I	7.12	6.52	6.88
ZONA DE PRESIÓN II	7.25	6.13	6.89
ZONA DE PRESIÓN III	7.57	6.71	6.89
GENERAL	7.57	6.13	6.89

ZONAS DE PRESIÓN	CLORO RESIDUAL LIBRE (mg/L)		
	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
ZONA DE PRESIÓN I	1.03	0.58	0.78
ZONA DE PRESIÓN II	1.02	0.55	0.79
ZONA DE PRESIÓN III	1.00	0.53	0.74
GENERAL	1.03	0.53	0.78

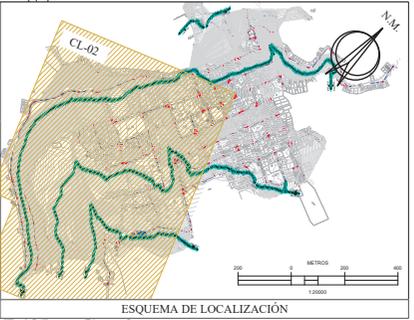
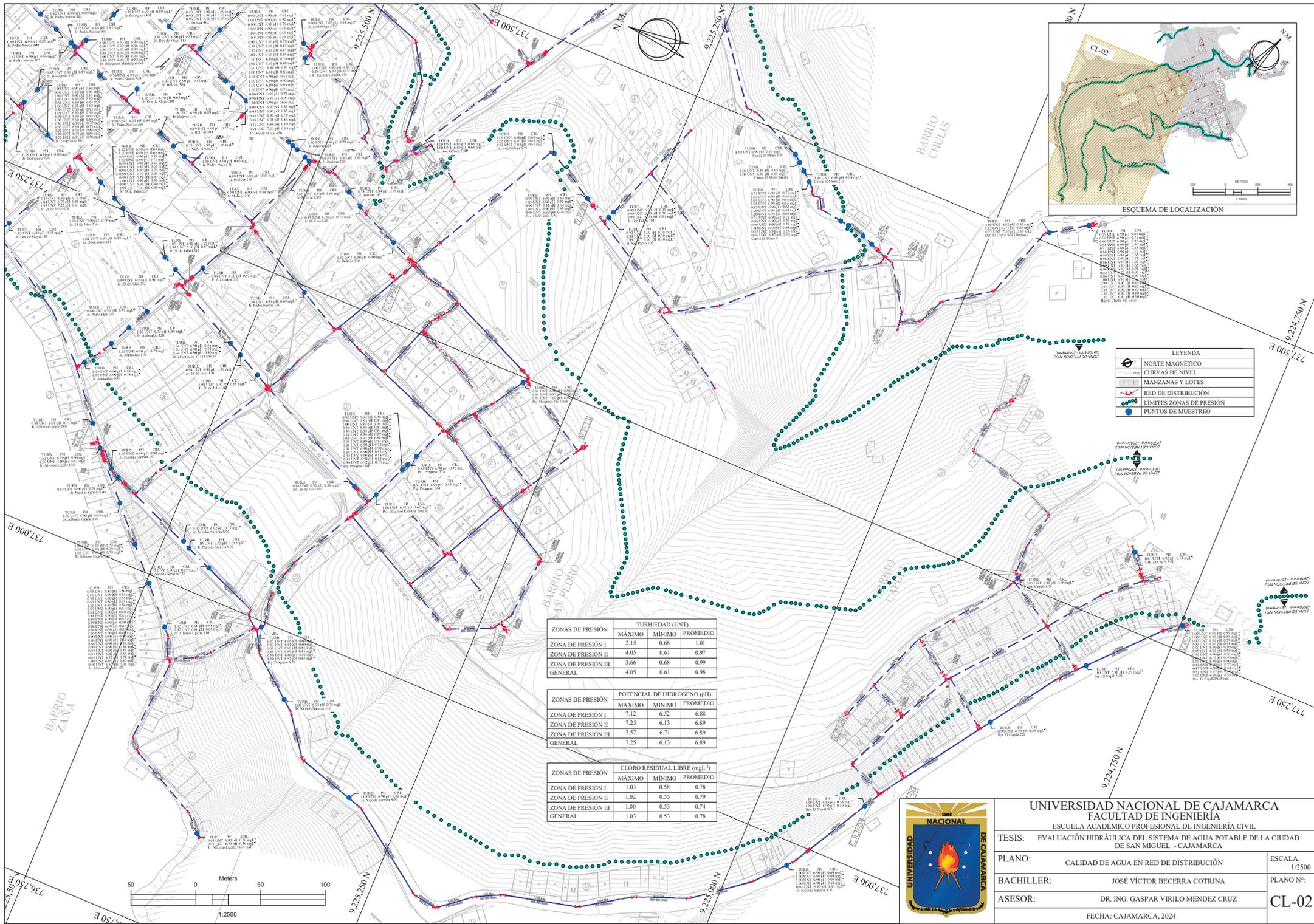
LEYENDA	
	NORTE MAGNÉTICO
	CURVAS DE NIVEL
	MANZANAS Y LOTES
	RED DE DISTRIBUCIÓN
	LÍMITES ZONAS DE PRESIÓN
	PUNTOS DE MUESTREO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA

PLANO:	CALIDAD DE AGUA EN RED DE DISTRIBUCIÓN	ESCALA:	1/2500
BACHILLER:	JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA	PLANO N°:	CL-01
ASESOR:	DR. ING. GASPAR VIRILLO MÉNDEZ CRUZ	FECHA:	CAJAMARCA, 2024



**LEYENDA**

- NORTE MAGNETICO
- CURVAS DE NIVEL
- MANZANAS Y LOTES
- RED DE DISTRIBUCION
- LIMITES ZONAS DE PRESION
- PUNTOS DE MUESTREO

ZONAS DE PRESION	TURBIDIDAD (UNT)		
	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
ZONA DE PRESION I	2.15	0.68	1.01
ZONA DE PRESION II	4.05	0.61	0.97
ZONA DE PRESION III	3.66	0.68	0.99
GENERAL	4.05	0.61	0.98

ZONAS DE PRESION	POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)		
	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
ZONA DE PRESION I	7.12	6.52	6.88
ZONA DE PRESION II	7.25	6.13	6.89
ZONA DE PRESION III	7.57	6.71	6.89
GENERAL	7.25	6.13	6.89

ZONAS DE PRESION	CLORO RESIDUAL LIBRE (mg/L)		
	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
ZONA DE PRESION I	1.03	0.58	0.78
ZONA DE PRESION II	1.02	0.55	0.79
ZONA DE PRESION III	1.00	0.53	0.74
GENERAL	1.03	0.53	0.78



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA

PLANO:	CALIDAD DE AGUA EN RED DE DISTRIBUCIÓN	ESCALA:	1/2500
BACHILLER:	JOSÉ VÍCTOR BECERRA COTRINA	PLANO N°:	
ASESOR:	DR. ING. GASPAR VIRILLO MÉNDEZ CRUZ		

FECHA: CAJAMARCA, 2024

**CL-02**