



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el barrio Santa Anita,
parroquia La Merced, cantón Quito, provincia de Pichincha**

Ramón Godoy, Anderson Bolívar

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

PhD. Carrera Villacrés, David Vinicio

11 de febrero de 2022



1_TESIS_RAMÓN_GODOY_ANDERSON_BOLÍVAR_COPYLEAKS...

Scanned on: 23:29 March 2, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	184
Words with Minor Changes	89
Paraphrased Words	488
Omitted Words	0



Website | Education | Businesses



Firmado electrónicamente por:

**DAVID VINICIO
CARRERA
VILLACRES**

PhD. Carrera Villacrés, David Vinicio

C. C. 1712218518



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, “**Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el barrio Santa Anita, parroquia La Merced, cantón Quito, provincia de Pichincha**” fue realizado por el señor **Ramón Godoy, Anderson Bolívar**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 11 de febrero de 2022



Firmado electrónicamente por:
DAVID VINICIO
CARRERA
VILLACRES

PhD. Carrera Villacrés, David Vinicio

C. C. 1712218518



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Ramón Godoy, Anderson Bolívar**, con cédula de ciudadanía n° 1104093396, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el barrio Santa Anita, parroquia La Merced, cantón Quito, provincia de Pichincha”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 11 de febrero de 2022

A handwritten signature in blue ink that reads 'Anderson Ramón'.

Ramón Godoy, Anderson Bolívar

C. C. 1104093396



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Yo, **Ramón Godoy, Anderson Bolívar**, con cédula de ciudadanía n° 1104093396, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el barrio Santa Anita, parroquia La Merced, cantón Quito, provincia de Pichincha”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 11 de febrero de 2022

Ramón Godoy, Anderson Bolívar

C. C. 1104093396

Dedicatoria

Dedicado a mis padres Graciela y Bolívar, por siempre estar presentes con su apoyo incondicional y por siempre tenerme toda la paciencia del mundo. A mis hermanas Thalía, Cristina, Andrea y Kelly por ser mi fuente de motivación para seguir adelante. A mis sobrinas Monserrath, Eva y Andrés por ser la mejor alegría y compañía en este camino.

Anderson Bolívar Ramón Godoy

Agradecimiento

A Dios, a mi madre por brindarme su apoyo y paciencia a lo largo de toda esta carrera.

A mi padre por ayudarme a cumplir este logro, ya que sin su apoyo y constancia nunca lo hubiera conseguido, además, por ser un gran ejemplo de responsabilidad.

A mis hermanas por toda su ayuda brindada, por la gran compañía que fueron durante esta etapa tan maravillosa y por brindarme a los mejores sobrinos del mundo que han sido motivo de alegría y motivación durante mi carrera.

A toda mi familia por brindarme su cariño, apoyo y comprensión.

Al Dr. David Carrera, mi tutor, por su guía durante todo el desarrollo de este proyecto, por el apoyo brindado y por la confianza depositada en mí para realizarlo.

A la Ing. Maribel Aldás, mi profesora y directora de carrera, por siempre preocuparse por mí y por estar al pendiente de todos sus alumnos.

A todos mis maestros que durante esta carrera universitaria han dejado su conocimiento en mí y me han mostrado el camino a seguir para llegar a ser un gran ser humano e Ingeniero Civil dispuesto a ayudar a la sociedad.

Anderson Bolívar Ramón Godoy

Índice de Contenido

Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de Contenido.....	8
Índice de Tablas	13
Índice de Figuras.....	16
Resumen.....	19
Abstract.....	20
Capítulo I.....	21
Generalidades.....	21
Antecedentes.....	21
Introducción	22
Definición del Problema	23
Área de Influencia	24
Área de Intervención	25
Justificación e Importancia.....	26
Objetivos.....	27
Objetivo General	28
Objetivos Específicos	28
Hipótesis.....	29
Metodología de Investigación.....	29
Capítulo II.....	31
Marcó Teórico	31

Norma a Utilizar	31
Bases de Diseño Para Proyectos de Agua Potable en el Sector Rural	31
Cuenca Hidrográfica.....	31
Fuentes de Abastecimiento	32
Periodo de Diseño.....	33
Población de Diseño.....	33
Tasa de Crecimiento Poblacional	34
Calidad del Agua	35
Contaminación del Agua	35
Sistema de Abastecimiento de Agua Potable.....	35
Captación	36
Conducción	40
Red de Distribución de Agua Potable	42
Planta de Tratamiento	46
Pérdidas de Agua	46
Resistividad Eléctrica.....	47
Resistividad Aparente	47
Sondeo Eléctrico Vertical	48
Capítulo III.....	49
Metodología y Materiales.....	49
Aspectos de la Comunidad	49
Ubicación	49
Características del Clima.....	50
Suelos	51
Encuesta Social	52
Tamaño de la Muestra.....	52

Fuente de Abastecimiento	52
Estudio Hidrológico	53
Parámetros Morfométricos de la Microcuenca	54
Parámetros Generales	54
Parámetros de Relieve	55
Parámetros de la Red Hídrica	56
Parámetros Hidrológicos	58
Topografía	59
Estudio de Resistividad Eléctrica	61
Elección del Dispositivo Schlumberg	62
Realización del Ensayo en Campo	63
Procesamiento de Datos	65
Identificación del Tipo de Suelo	66
Calidad del Agua.....	69
Muestreo del Agua	69
Parámetros Hidrométricos	70
Medición de Caudal en Campo por el Método Volumétrico	71
Capítulo IV	73
Resultados y Discusión de Estudios Preliminares	73
Encuesta Social	73
Estudio Hidrológico	88
Parámetros Morfométricos	88
Parámetros Generales	89
Parámetros de Relieve	90
Parámetros de la Red Hídrica	91
Parámetros Hidrológicos	93

Estudio de Resistividad Eléctrica	96
Resultados en Fuente de Abastecimiento	96
Resultados en Línea de Distribución	98
Discusión de Resultados	99
Identificación del Tipo de Suelo	99
Humedad Natural	100
Granulometría	100
Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.....	101
Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	103
Calidad del Agua.....	103
Resultados de Laboratorio.....	103
Discusión de Resultados	104
Parámetros Hidrométricos	105
Medición de Caudal en Campo	105
Cálculo del Caudal por el Método Racional	106
Capítulo V	111
Diseño del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable	111
Parámetros de Diseño	111
Periodo de Diseño.....	111
Población Actual.....	111
Población Futura	112
Distribución de las Áreas de Consumo.....	113
Ubicación de los Nodos.....	114
Nivel de Servicio.....	116
Dotación.....	117
Fugas.....	118

Variaciones de Consumo	119
Caudales de Diseño	120
Diseño del Sistema de Agua Potable	124
Parámetros y Diseño de la Captación	126
Parámetros de la Línea de Conducción (Impulsión)	132
Parámetros de la Planta de Tratamiento	136
Parámetros de la Red de Distribución	154
Modelamiento del Sistema	155
Cotas en los Nodos	155
Demandas Bases y Caudales en los Nodos	157
Modelamiento del Sistema de Distribución	159
Capítulo VI	171
Presupuesto	171
Capítulo VII	175
Conclusiones y Recomendaciones	175
Conclusiones	175
Recomendaciones	176
Referencias Bibliográficas	179
Anexos	190

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Índices de crecimiento poblacional</i>	35
Tabla 2 <i>Diámetros de tubería según F</i>	40
Tabla 3 <i>Datos generales de la estación pluviométrica La Tola</i>	59
Tabla 4 <i>Datos generales de sondeos</i>	68
Tabla 5 <i>Sitio de muestreo de agua</i>	70
Tabla 6 <i>Personas que habitan las viviendas por grupos</i>	73
Tabla 7 <i>Disponibilidad de agua</i>	74
Tabla 8 <i>Fuente de abastecimiento</i>	76
Tabla 9 <i>Pago por el servicio de agua</i>	77
Tabla 10 <i>Costo promedio que pagan los pobladores por el agua</i>	78
Tabla 11 <i>Opinión de los pobladores sobre el costo del agua</i>	79
Tabla 12 <i>Apreciación del agua recibida por los usuarios</i>	80
Tabla 13 <i>Almacenamiento del agua recibida</i>	82
Tabla 14 <i>Tipos de almacenamiento del agua recibida</i>	83
Tabla 15 <i>Criterios de la calidad del agua</i>	84
Tabla 16 <i>Criterios de la satisfacción del servicio de agua recibido</i>	86
Tabla 17 <i>Tratamiento del agua antes de ser consumida</i>	87
Tabla 18 <i>Usos del agua en el hogar</i>	88
Tabla 19 <i>Parámetros generales de la microcuenca Santa Anita</i>	90
Tabla 20 <i>Parámetros de relieve de la microcuenca Santa Anita</i>	91
Tabla 21 <i>Tiempos de concentración de la microcuenca Santa Anita</i>	91
Tabla 22 <i>Intensidad máxima de la estación La Tola</i>	94
Tabla 23 <i>Ecuaciones IDF de la estación La Tola</i>	95

Tabla 24 <i>Humedad natural de las muestras</i>	100
Tabla 25 <i>Granulometría de las muestras</i>	101
Tabla 26 <i>Límites líquidos, límite plástico e índice de plasticidad de las muestras</i>	102
Tabla 27 <i>Clasificación SUCS de las muestras</i>	103
Tabla 28 <i>Resultados del análisis de laboratorio de la muestra de agua</i>	104
Tabla 29 <i>Mediciones de Caudales en la quebrada Guantopugru</i>	106
Tabla 30 <i>Datos para calcular el coeficiente de escorrentía según Nadal</i>	108
Tabla 31 <i>Coeficiente de escorrentía según Raws</i>	109
Tabla 32 <i>Intensidades calculadas para diferentes periodos de retorno</i>	110
Tabla 33 <i>Caudales calculados para diferentes periodos de retorno</i>	110
Tabla 34 <i>Niveles de servicio</i>	116
Tabla 35 <i>Dotaciones según niveles de servicio considerados</i>	117
Tabla 36 <i>Requerimientos de nivel de servicio de agua para promover la salud</i>	118
Tabla 37 <i>Porcentajes de fugas a considerarse en el diseño</i>	119
Tabla 38 <i>Resumen de caudales de diseño</i>	124
Tabla 39 <i>Características de la bomba seleccionada</i>	135
Tabla 40 <i>Calidad bacteriológica</i>	137
Tabla 41 <i>Tratamientos probables</i>	138
Tabla 42 <i>Espesores de capas de materiales filtrantes</i>	144
Tabla 43 <i>Cotas de nodos</i>	156
Tabla 44 <i>Caudales en nodos</i>	158
Tabla 45 <i>Presiones de la red de distribución en estado estático</i>	163
Tabla 46 <i>Velocidades y pérdidas de la red de distribución en estado estático</i>	165
Tabla 47 <i>Coeficientes de variación horaria</i>	166
Tabla 48 <i>Presiones de la red de distribución en estado dinámico</i>	168

Tabla 49 <i>Velocidades y pérdidas de la red de distribución en estado dinámico</i>	170
--	-----

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Mapa de la Parroquia La Merced</i>	25
Figura 2 <i>Mapa de Barrios de la Parroquia La Merced</i>	26
Figura 3 <i>Captación tipo Coanda</i>	37
Figura 4 <i>Caudal unitario captado por toma de agua tipo Coanda</i>	38
Figura 5 <i>Conducción a gravedad</i>	41
Figura 6 <i>Conducción por bombeo</i>	42
Figura 7 <i>Redes de distribución de agua potable</i>	43
Figura 8 <i>Red abierta</i>	44
Figura 9 <i>Red de distribución de acuerdo a la norma AWWA de Estados Unidos</i>	45
Figura 10 <i>Red de distribución de acuerdo con la norma colombiana</i>	45
Figura 11 <i>Red de distribución de acuerdo con la norma brasileña</i>	46
Figura 12 <i>Ubicación de la Parroquia La Merced en el contexto nacional</i>	50
Figura 13 <i>Quebrada Guantopugru</i>	53
Figura 14 <i>Levantamiento topográfico</i>	61
Figura 15 <i>Equipo de resistividad eléctrica</i>	62
Figura 16 <i>Dispositivo Schlumberg</i>	63
Figura 17 <i>Equipo de resistividad eléctrica</i>	64
Figura 18 <i>Cables y electrodos metálicos</i>	65
Figura 19 <i>Ubicación de los sondeos para la caracterización del suelo</i>	67
Figura 20 <i>Toma de muestras para la caracterización del suelo</i>	69
Figura 21 <i>Toma in situ de muestra de agua cruda</i>	70
Figura 22 <i>Medición de caudal mediante aforo volumétrico</i>	72
Figura 23 <i>Composición de la población actual</i>	74

Figura 24 Disponibilidad diaria de agua	75
Figura 25 Fuente de abastecimiento.....	76
Figura 26 Pago por el servicio de agua.....	77
Figura 27 Respuestas sobre el costo del servicio de agua	79
Figura 28 Respuestas sobre opinión del costo de agua.....	80
Figura 29 Respuestas sobre la cantidad de agua recibida.....	81
Figura 30 Respuestas sobre el almacenamiento del agua recibida	82
Figura 31 Respuestas sobre los tipos de almacenamiento del agua recibida	84
Figura 32 Respuestas sobre la calidad del agua recibida	85
Figura 33 Respuestas sobre la satisfacción del agua recibida.....	86
Figura 34 Respuestas sobre el tratamiento del agua recibida.....	87
Figura 35 Delimitación de la Microcuenca Santa Anita	89
Figura 36 Tiempo de concentración de una cuenca.....	92
Figura 37 Curvas IDF de la estación La Tola.....	95
Figura 38 Perfil de resistividad eléctrica correspondiente a la fuente de abastecimiento	97
Figura 39 Perfil de resistividad eléctrica correspondiente a la vía	98
Figura 40 Distribución de áreas en el barrio Santa Anita	114
Figura 41 Nomenclatura de los nodos	115
Figura 42 Vista en perspectiva de los elementos del sistema de agua potable.....	126
Figura 43 Vista en planta de la estructura de captación.....	129
Figura 44 Vista en perspectiva de la estructura de captación	130
Figura 45 Esquema de captación tipo Coanda	132
Figura 46 Mapa de Contorno-Cotas del proyecto	157
Figura 47 Demanda base en cada nodo del sistema	159

Figura 48 <i>Trazado de la tubería de la red de distribución</i>	160
Figura 49 <i>Diámetro de la tubería de la red de distribución</i>	161
Figura 50 <i>Presiones de la red de distribución en estado estático</i>	162
Figura 51 <i>Velocidades de la red de distribución en estado estático</i>	164
Figura 52 <i>Presiones de la red de distribución en estado</i>	167
Figura 53 <i>Velocidades en la red de distribución estado dinámico</i>	169

Resumen

El presente trabajo de titulación se presenta como el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable del barrio Santa Anita, cuyo fin siempre fue satisfacer las necesidades de sus pobladores lo que a su vez les permitirá mejorar su calidad de vida.

Para llevar a cabo satisfactoriamente el mismo se recolectó datos de la población a través de una encuesta social, se caracterizó el tipo de suelo, para su posterior clasificación y se acompañó con un estudio de resistividad eléctrica para determinar la presencia o no del nivel freático, se realizó el levantamiento topográfico del barrio; se analizó y realizó el estudio hidrológico de la zona, se determinó el coeficiente de escorrentía, y con ello se pudo determinar los caudales que se presentan en la zona para diferentes periodos de retorno; con todos estos datos se realizó el diseño del sistema; por medio de los resultados de diseño se dimensionó las tuberías y demás elementos que componen un sistema de agua potable. También se calculó el presupuesto estimado de las obras a efectuarse. Se dejó adjunto 7 carpetas de anexos, donde se detalla y respalda cada etapa del presente trabajo.

Palabras Clave:

- **SISTEMA DE AGUA POTABLE**
- **FILTRO LENTO DE ARENA**
- **MÉTODO RACIONAL**

Abstract

This degree work is presented as the design of the drinking water supply system for the Santa Anita neighborhood, whose purpose has always been to satisfy the needs of its inhabitants, which in turn will allow them to improve their quality of life.

In order to carry out the study satisfactorily, data was collected from the population through a social survey, the type of soil was characterized for subsequent classification and accompanied by a study of electrical resistivity to determine the presence or absence of the water table, a topographic survey of the neighborhood was performed, and a hydrological study of the area was analyzed and carried out; the hydrological study of the area was analyzed and carried out, the runoff coefficient was determined, and with this it was possible to determine the flows that occur in the area for different return periods; with all this data the design of the system was carried out; by means of the design results, the pipes and other elements that make up a drinking water system were dimensioned. The estimated budget for the works to be carried out was also calculated. Attached are 7 folders of annexes, where each stage of this work is detailed and supported.

Key Words:

- **POTABLE WATER SYSTEM**
- **SLOW SAND FILTER**
- **RATIONAL METHOD**

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes

El Barrio Santa Anita pertenece a la parroquia La Merced que a su vez está ubicada en la provincia de Pichincha, situada al sureste del cantón Quito, a una altura de 2598 msnm.

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia La Merced (GADP de La Merced, 2012), en la parroquia y en el Barrio Santa Anita una de las principales actividades económicas a la que se dedican las familias de este lugar son la agricultura, seguidas por la crianza de animales de granja como cuyes, cerdos, aves de corral, borregos, en lo referente a la crianza de ganado vacuno este es menor, debido a que en la mayoría de estos territorios no se cuenta con pastos suficientes para su alimentación. Estas actividades han provocado inconvenientes a algunos sectores como son la falta de agua debido a la mala distribución de este recurso.

Actualmente, no existen estudios que determinen la cantidad de familias del Barrio Santa Anita que tienen acceso al servicio de agua potable, sin embargo, según el GADP de La Merced (2012), en la parroquia La Merced de las 2189 familias, el 82% toman el agua de la red pública, el 2% de pozo, el 7% de río o vertiente, el 4% de carro repartidor y un 5% de otras maneras como son agua lluvia.

Con respecto a la eliminación de excretas de las 2189 familias de esta parroquia solo el 63,85% está conectado a la red, el 14,42% está conectado a pozo séptico, el 13,46% está conectado a pozo ciego, el 1,54% tienen descarga directa a quebradas, el

0,77% tienen letrinas y un 5,96% no tienen ninguno de estos servicios (GADP de La Merced, 2012).

Las cifras que muestran los estudios son determinantes para llevar a cabo soluciones de dotación de agua potable a todos los barrios pertenecientes a la parroquia La Merced.

Introducción

El Diseño del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para el Barrio Santa Anita, Parroquia La Merced, Cantón Quito, Provincia de Pichincha, tiene una alta importancia para el desarrollo del sector y de sus habitantes, es por esto que el proyecto tomó impulso debido a que ninguno de sus habitantes cuenta con una dotación de agua potable que le sirva para suplir sus necesidades básicas, lo que ha provocado malestar entre sus habitantes.

La hipótesis planteada es que, si el agua captada de la fuente de abastecimiento es suficiente para suplir las necesidades básicas de los pobladores del barrio Santa Anita, tanto en cantidad como en calidad. Por lo que los objetivos establecidos para demostrar la hipótesis comienzan con una recopilación de información de la zona de estudio, que incluyen el estudio de la fuente de abastecimiento tanto en cantidad como en calidad de la misma, junto con el levantamiento topográfico de la zona, para luego con estos datos realizar el diseño del sistema de abastecimiento y elaborar un presupuesto referencial del proyecto.

La estructura del proyecto ha sido elaborada de tal manera que contiene 7 capítulos. En el capítulo I se explica los antecedentes del proyecto, el problema a tratar,

el área de intervención, la justificación del proyecto, la hipótesis y los objetivos a alcanzar. En el capítulo II se dan algunos conceptos teóricos que permitirán entender mejor cada parte del proyecto. En el capítulo III se detalló los materiales y los métodos utilizados para la elaboración de este proyecto. En el capítulo IV se muestra los resultados obtenidos de cada etapa del proyecto. En el capítulo V se abordó completamente el diseño del sistema de abastecimiento. En el capítulo VI se elaboró el presupuesto referencial del proyecto. Finalmente, en el capítulo VII se dio las conclusiones y recomendaciones.

Definición del Problema

Según los datos publicados en el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial de 2012 a 2025 de la parroquia La Merced, cuenta con recursos hídricos importantes como el río Pita y río Huangal; también cuenta con algunas quebradas que atraviesan los barrios altos en los cuales se encuentra el Barrio Santa Anita (GADP de La Merced, 2012).

En el barrio Virgen de Lourdes se encuentra un tanque de reserva de agua de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) a una altura aproximada de 2407 msnm., también se cuenta con otro tanque de reserva ubicado en el sector de Huangal a 2706 msnm aproximadamente; en el sector de Sarahurco a 2815 msnm, en Huantugloma a 2790 msnm y en Casa Chupa a 2682 msnm, tanques que proveen de una cantidad de agua de aproximadamente dos horas al día lo cual no cubre las principales necesidades de estos lugares, ya que estos son denominados barrios altos que no cuentan con agua debido a su difícil transporte (GADP de La Merced, 2012).

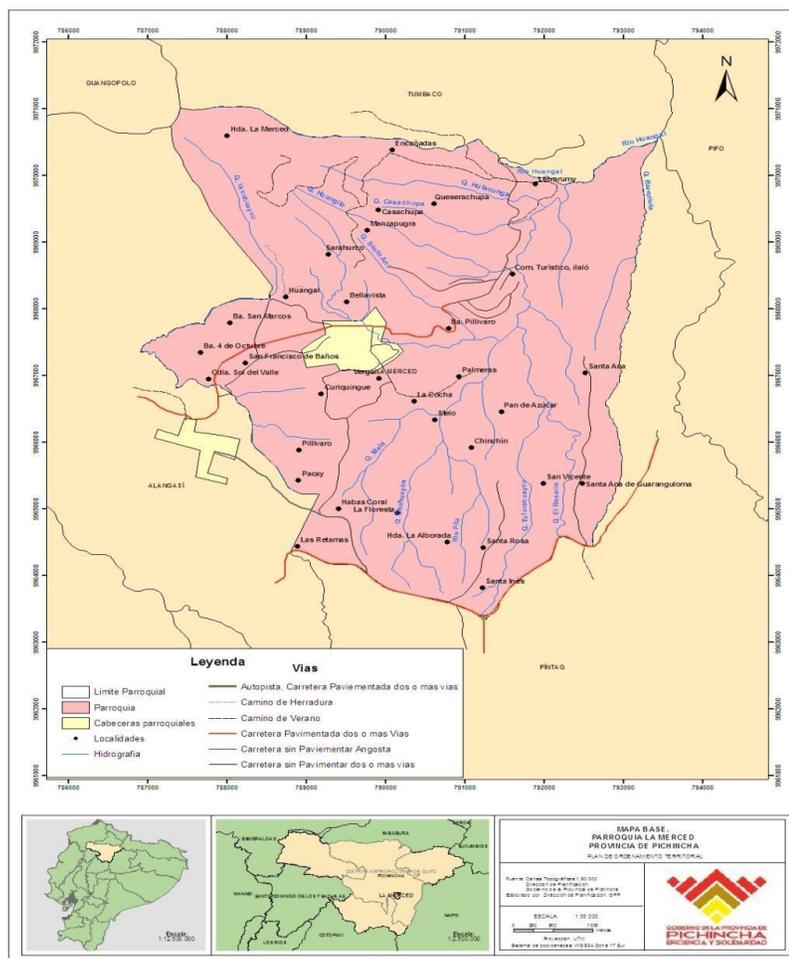
Este problema se encuentra en la mayoría de estos barrios denominados altos, los cuales carecen de agua que sea de calidad y de una cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades básicas. Por todo esto es necesario un sistema de abastecimiento de agua potable con las características adecuadas para que pueda ser consumida sin riesgo por sus pobladores, lo que a su vez también les permita mejorar su calidad de vida.

Área de Influencia

El área de influencia es la parroquia La Merced, dicha parroquia está situada en el cantón Quito provincia de Pichincha, tal como se puede observar en la Figura 1. El área que ocupa esta parroquia es de 31,76 km². Limita con la parroquia Tumbaco al norte, con la Parroquia Pintag al este; y con la Parroquia Alangasí al Sur y Oeste. Contaba con una población de 8394 habitantes en el año 2010 (GADP de La Merced, 2012).

Figura 1

Mapa de la Parroquia La Merced



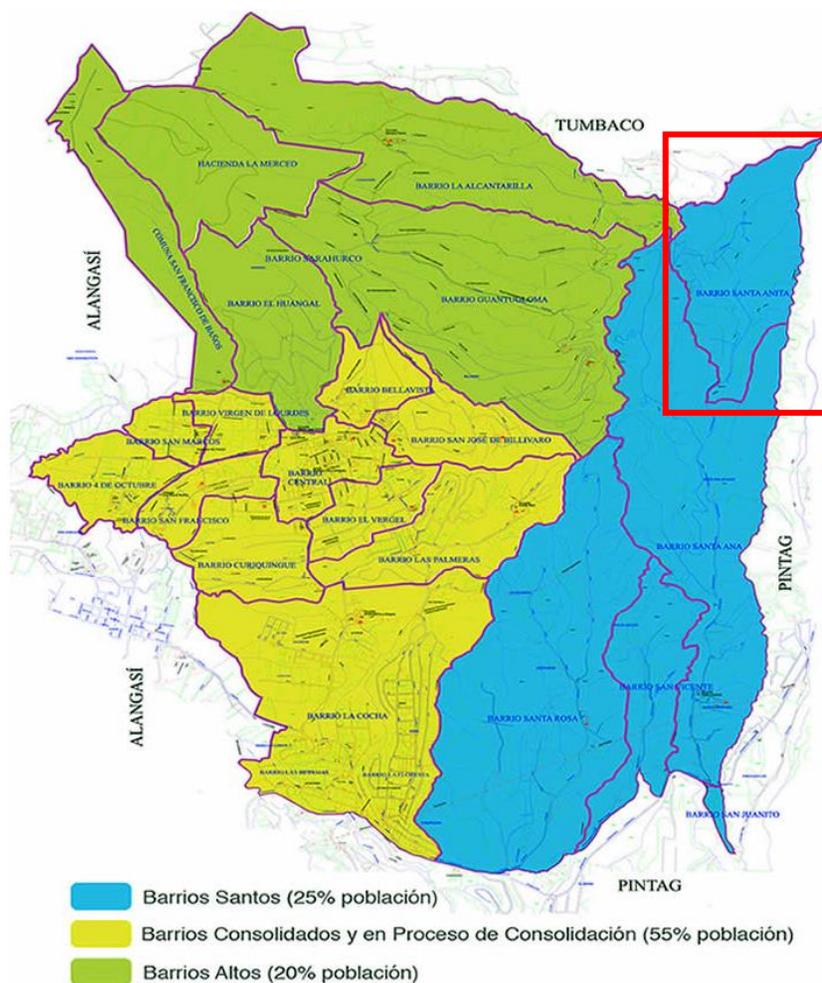
Nota. El gráfico muestra el área de la parroquia La Merced. Tomada de (GADP de La Merced, 2012).

Área de Intervención

El área de intervención corresponde al barrio Santa Anita, dicho barrio pertenece a la parroquia La Merced. En la Figura 2, se presentan todos los barrios en que se encuentra dividida la parroquia.

Figura 2

Mapa de Barrios de la Parroquia La Merced



Nota. En el gráfico se resalta el Barrio Santa Anita de la parroquia La Merced. Tomada del (GADP de La Merced, 2012).

Justificación e Importancia

Los servicios básicos como el agua potable, alcantarillado, electricidad, entre otros son indispensables para el desarrollo de la sociedad, sin embargo, esto no sucede en todos los casos. Como ejemplo puntual se tienen el Barrio Santa Anita, en la

parroquia La Merced, que no cuenta con el servicio de agua potable, por lo que se ve afectado en gran medida su desarrollo social, económico y productivo; es por esto que el presente proyecto se desarrolló para encontrar una solución factible a esta problemática.

En el año 2015 la Organización de Naciones Unidas (ONU) estableció 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que son la base para tratar diversas problemáticas mundiales entre ellas el cuidado y la preservación del agua. Basándose en lo antes descrito, el desarrollo de este proyecto tiene como meta cumplir el objetivo 6 que menciona: “Agua limpia y saneamiento: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” (ONU, 2015).

El agua es el recurso esencial para la vida, por lo que su disponibilidad para el consumo humano e higiene personal es fundamental para garantizar la salud de los habitantes de estos barrios. Debido a ello, también el presente proyecto está fundamentado en la “Constitución de la República del Ecuador del 2008” que establece el derecho a los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y depuración de aguas residuales, manejo y eliminación de desechos sólidos, y proyectos de saneamiento ambiental.

De esta manera el diseño tiene como finalidad dar una solución oportuna a esta problemática mencionada anteriormente, la misma que tendrá que cumplir con las normativas vigentes y que traiga consigo un gran beneficio a los pobladores del Barrio Santa Anita.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar el sistema de abastecimiento de agua potable para el Barrio Santa Anita, Parroquia La Merced, Cantón Quito, Provincia de Pichincha, que dote a su población de un suministro de agua que sea confiable tanto en calidad como en cantidad, mediante bases de diseño recomendadas en normativas técnicas vigentes para garantizar un mejor servicio a la población.

Objetivos Específicos

- Realizar el estudio de la fuente de abastecimiento de agua tanto en cantidad como en calidad, asegurando que esta sea apta para el consumo humano, para lo cual se deberá verificar que cumpla los parámetros especificados en la norma INEN 1108-2 referente a la potabilización de la misma; también se incluyó un estudio de resistividad eléctrica del suelo para estimar la profundidad del agua y se realizó el estudio de la cuenca hidrográfica Santa Anita.
- Realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio y para complementar la información topográfica brindada por el presidente del barrio, se realizó el estudio de suelos para determinar la mejor ubicación de cada uno de los elementos del sistema de abastecimiento, los que servirán para diseñar un sistema eficaz de agua potable.
- Determinar las características del barrio recolectando datos mediante un censo a la población por medio de encuestas, para determinar el número de habitantes y la dotación de agua a nivel de cada vivienda.

- Elaborar planos a detalle de todo el sistema de abastecimiento de agua potable, según las normas y formatos definidos por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA).
- Elaborar el presupuesto referencial del proyecto con todos los datos recolectados para plantear y comparar alternativas técnicamente viables para la provisión de agua potable.

Hipótesis

La cantidad de agua captada de la fuente de abastecimiento, en este caso de la quebrada Guantopugru, es suficiente en cantidad y calidad para abastecer al 100% a la población del Barrio Santa Anita.

Metodología de Investigación

La metodología de investigación que se maneja en este proyecto es una modalidad de campo, bibliográfica documental, experimental y analítica, puesto que se analizarán distintos factores que influyen en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable, con el fin de lograr un diseño eficaz.

Se inicia la primera etapa con una investigación bibliográfica documental que consiste en la revisión de material bibliográfico existente con respecto al tema a estudiar, para lo cual se recurrió a estudiar lo que son normas nacionales e internacionales, artículos, tesis, libros técnicos y publicaciones relacionadas con el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.

Seguido de esto se realizó una visita de campo en la cual se estableció el origen de la fuente de agua, en este caso se tomará el agua proveniente de la quebrada

Guantopugru, en la cual se tomó una muestra de agua, misma que en la siguiente etapa fue analizada en un laboratorio para la caracterización físico-química de la misma, pero debido a la emergencia sanitaria por la que atraviesa el país y por no contar con los laboratorios de la universidad disponibles se analizaron solo ciertos parámetros los cuales fueron: pH, color, turbiedad, cloro libre residual y coliformes fecales, que deberán estar dentro de los límites máximos permisibles de la norma INEN 1108-2.

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona de estudio y se complementó con la topografía proporcionada por el presidente del Barrio Santa Anita, antes de lo cual se verificó que concuerde con la zona de estudio, seguido de esto se determinó la mejor ubicación para cada uno de los elementos del sistema.

Para complementar el presente proyecto se realizó un estudio de resistividad eléctrica en la zona de la fuente de abastecimiento, para estimar la profundidad a la que se encuentra el agua y tener una mejor idea de la zona de trabajo. A su vez se realizó el estudio de la cuenca hidrográfica Guantopugru, para determinar datos morfométricos, hidrológicos e hidrométricos mediante estaciones meteorológicas

Para la parte experimental y de diseño del sistema se utilizó software de análisis de sistemas de distribución de agua potable que, en conjunto con el manejo de normativas nacionales e internacionales, permitieron el diseño óptimo del proyecto.

Finalmente, se entregó la solución óptima del proyecto en la cual se incluyó una memoria descriptiva y de cálculo, junto con los planos respectivos y el presupuesto.

Capítulo II

Marcó Teórico

Norma a Utilizar

La norma a utilizar en la elaboración del presente proyecto es la “Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural”, la misma que pertenece a la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), cuya misión es “ejercer de veeduría para garantizar el acceso justo y equitativo del agua, en cantidad y calidad, a través de políticas, estrategias y planes que permitan una gestión integral de los Recursos Hídricos en las Cuencas Hidrográficas del país, con el involucramiento y capacitación de los actores sociales en todo el territorio nacional” (SENAGUA, 2018).

Según la misma secretaría el alcance de esta norma es de nivel nacional. Y se dispone que todas las instituciones públicas y privadas que realicen diseños de proyectos de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos, deben cumplir obligatoriamente los mandatos de la misma (SENAGUA, 2018).

Bases de Diseño Para Proyectos de Agua Potable en el Sector Rural

Cuenca Hidrográfica

Sánchez et al. (2003) considera como cuenca hidrográfica al “territorio, región o zona, cuya característica predominante es que el agua lluvia que precipita en ese lugar escurre hacia un cauce principal y toda el agua acumulada desemboca en un cuerpo de agua más grande, que puede ser una laguna, un río o el mar”.

Se debe tener en cuenta que tanto la parte superficial como la parte subterránea son parte de la cuenca, la profundidad de la parte subterránea abarca desde el extremo superior hasta los estratos geológicos limitantes bajo la tierra (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2002).

Fuentes de Abastecimiento

Las fuentes de agua son una parte fundamental cuando se va a realizar el diseño de un sistema de suministro de agua potable, ya que deben brindar la cantidad de agua suficiente para el proyecto, sin que exista el peligro de reducción ya sea por sequías o por cualquier causa adversa. Se tienen fuentes superficiales como ríos, arroyos, lagos, etc., y fuentes subterráneas como manantiales, pozos, etc. Dependiendo del tipo de fuente y de la calidad del agua de la misma, se puede o no aprovechar este recurso para el consumo humano o para otras labores como riego, agricultura, etc., y según esto se puede determinar la estructura de las obras de captación, conducción y almacenamiento del sistema de agua potable (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2009).

Aguas Superficiales. De acuerdo con la OPS (2009), las aguas superficiales están constituidas por ríos, quebradas, arroyos y lagos. Existe algunos factores contaminantes que pueden comprometer la calidad del agua superficial, como lo son la descarga de desagües de viviendas cercanas a la fuente, desechos de actividades mineras o industriales, uso de productos agrícolas, presencia de animales, etc.; es por esto que previo a su utilización, se requiere de información detallada y completa que permita conocer la calidad de la misma, y así, definir el tratamiento requerido en caso

de que no cumpla con los parámetros de calidad para que pueda ser consumida por las personas.

Siempre se debe verificar que exista la posibilidad de brindar un suministro constante, ya que los aforos mínimos representan valores mayores a la demanda, o que exista la posibilidad de almacenar grandes volúmenes de agua en los períodos de mayores lluvias compensando la demanda en la época de sequía.

Aguas Subterráneas. Las aguas subterráneas están constituidas por manantiales, pozos, etc. Por lo general, estas fuentes están libres de microorganismos patógenos y contaminantes, gracias a esto pueden ser aptas para el consumo humano, sin embargo, se deben conocer sus características físicas, químicas y bacteriológicas antes de su utilización (OPS, 2009).

Periodo de Diseño

Según la norma, el periodo de diseño es el intervalo de tiempo dentro del cual cada una de las partes del proyecto cumplen eficazmente las funciones para las cuales fueron diseñadas, sin necesidad de modificaciones (ampliaciones) (SENAGUA, 2018).

Tomando lo escrito en la norma dada por SENAGUA (2018), las obras civiles para un diseño de agua potable, se diseñarán para un periodo de 20 años. Los equipos de diseñarán para un periodo de vida útil de los fabricantes, se podrá tomar un periodo de diseño diferente justificando los mismos.

Población de Diseño

En la norma también se llama población futura a la población de diseño, y esta es el número de habitantes que se estima tener al final del periodo de diseño (SENAGUA, 2018).

De acuerdo con la norma dada por SENAGUA (2018) la población de diseño se calcula en base a la población actual, que se puede determinar mediante un censo poblacional. Según sean las características de cada comunidad, se debe determinar la población flotante y la influencia de esta en el sistema a diseñarse. Para el cálculo de la población futura se deben hacer proyecciones de crecimiento utilizando el método geométrico.

La norma también limita y dice que en ningún caso la población futura a considerar será mayor que 1,25 veces la población actual (SENAGUA, 2018).

Tasa de Crecimiento Poblacional

Para el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional, se deberán tomar como base los datos estadísticos brindados por los censos y recuentos sanitarios nacionales (SENAGUA, 2018).

La norma también aclara que, de ser el caso si no se cuenta con estos datos, se podrá adoptar para la proyección geométrica, los índices de crecimiento indicados en la Tabla 1.

Tabla 1*Índices de crecimiento poblacional*

Región Geográfica	r (%)
Sierra	1,0
Costa, oriente y Galápagos	1,5

Nota. En la tabla se muestran los índices de crecimiento poblacional según sea la región. Tomada de la norma dada por (SENAGUA, 2018).

Calidad del Agua

En cuanto a lo referente sobre calidad del agua se describen sus características físicas, químicas y biológicas. Se puede considerar a la calidad del agua como una medida de la condición de agua en relación a su impacto en especies acuáticas como en peces y ranas o en las personas, ya sea para su uso o como fin recreativo. Los parámetros más comunes usados para evaluar la calidad del agua tienen relación con la salud de los ecosistemas, la seguridad del contacto humano y el agua potable (Rock & Rivera, 2014).

Contaminación del Agua

La contaminación de un ecosistema se refiere a la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias nocivas o energía, lo cual desencadena problemas como: daños en los organismos vivos, efectos en la salud de los humanos, restricción de actividades recreativas e interferencia en actividades económicas como el riego o el abastecimiento de agua para las industrias (Ramírez C. A., 2011).

Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

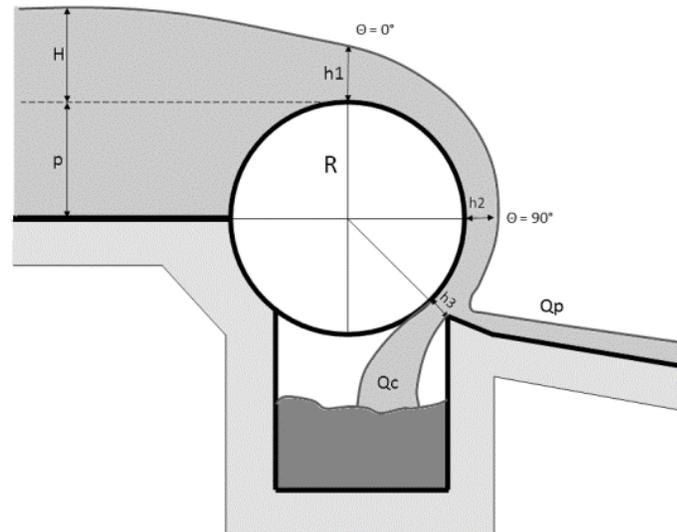
Se denomina como sistema de abastecimiento de agua potable al conjunto de obras destinadas a la captación, conducción, desinfección, almacenamiento y distribución de agua para consumo (SENAGUA, 2018).

Captación

La captación es la estructura encargada de derivar el caudal necesario desde la fuente de agua hasta el sistema de abastecimiento (SENAGUA, 2018).

Para el presente proyecto se propone como como una alternativa de obra de captación en cauces pequeños y abiertos, la toma de agua tipo Coanda estudiada por Sandoval (2018), la misma que está formada por elementos como orificio de toma, galería, tanque inicial y tanque de recolección, como se puede observar en la Figura 3.

Es recomendable ubicar el orificio de captación a 135° de la cresta del vertedero, para que se impida el paso de sedimentos gruesos y demás material que pueda flotar, como son hojas, ramas, etc. (Sandoval, 2016). Este tipo de toma se basa el efecto Coanda, descubierto por Henry Coanda en 1910, el mismo que describe la tendencia que tiene un fluido a ser atraído hacia una superficie cercana (Piñero, 2009).

Figura 3*Captación tipo Coanda*

Nota. Tomada de (Sandoval, Toma de Agua con Efecto Coanda, 2016).

Para el diseño de este tipo de tomas se tiene que tener en consideración algunos conceptos que se describen a continuación. Según Sandoval (2016), la ecuación general para calcular el caudal en vertederos se expresa por:

$$Q = m * \sqrt{2 * g} * b * H_o^{3/2}$$

En donde:

m = Coeficiente de gasto,

g = Aceleración de la gravedad,

b = Longitud del vertedero,

H_o = Carga hidráulica.

Sandoval (2016) recomienda usar tuberías lisas en captaciones con toma tipo Coanda, por lo que para tuberías lisas se tiene la siguiente ecuación del coeficiente m , donde la relación $H/R < 1$:

$$m = 0,376 * \left(\frac{H}{R}\right) - 0,3$$

En donde:

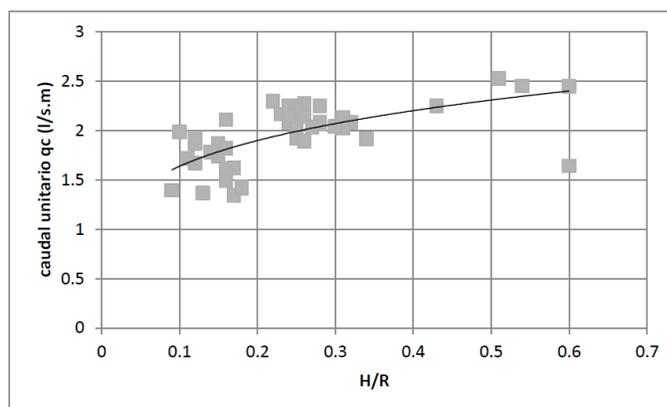
H = Carga hidráulica,

R = Radio de la tubería.

Con el fin de determinar las bases de diseño sobre captaciones tipo Coanda, Pozo (2015) construyó un modelo a escala que sometió a varios experimentos, de los experimentos realizados se obtuvieron datos de la relación H/R y del caudal unitario, como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4

Caudal unitario captado por toma de agua tipo Coanda



Nota. Tomada de (Sandoval, Toma de Agua con Efecto Coanda, 2016).

Entre otras de las ventajas de este tipo de toma, se evidencio la restricción del paso de material flotante a la galería y partículas más gruesas a 0,1 mm son expulsadas fuera del canal de recolección (Sandoval, 2016). En el presente proyecto se utilizaron estos datos experimentales para el dimensionamiento de la obra de toma.

Para calcular el diámetro de tuberías entre tanques, en este caso desde el tanque inicial hacia el tanque de recolección se utiliza la siguiente ecuación como recomienda Sandoval (2016):

$$H = \frac{Q^2}{K^2} * L$$

En donde:

Q = Caudal,

K = Factor de gasto,

L = Longitud de tubería.

El valor del factor de gasto es:

$$K = \frac{F}{n}$$

En donde:

n = Rugosidad de la tubería.

Con los datos obtenidos de los cálculos anteriores se escoge el diámetro óptimo, multiplicando el valor de F por el factor de 10^3 , en base a lo indicado en la Tabla 2.

Tabla 2*Diámetros de tubería según F*

Diámetro mm	F.10³ m³/s
12	0,002
19	0,008
25	0,017
40	0,058
50	0,106
75	0,312
80	0,370
100	0,672

Nota. Tomada de (Sandoval, Principios de la Hidráulica 2, 2013) y modificada por el autor.

Conducción

De acuerdo a la norma denominan conducción a los conductos que permiten transportar agua desde la obra de toma hasta la planta de tratamiento de manera segura e higiénica (SENAGUA, 2018).

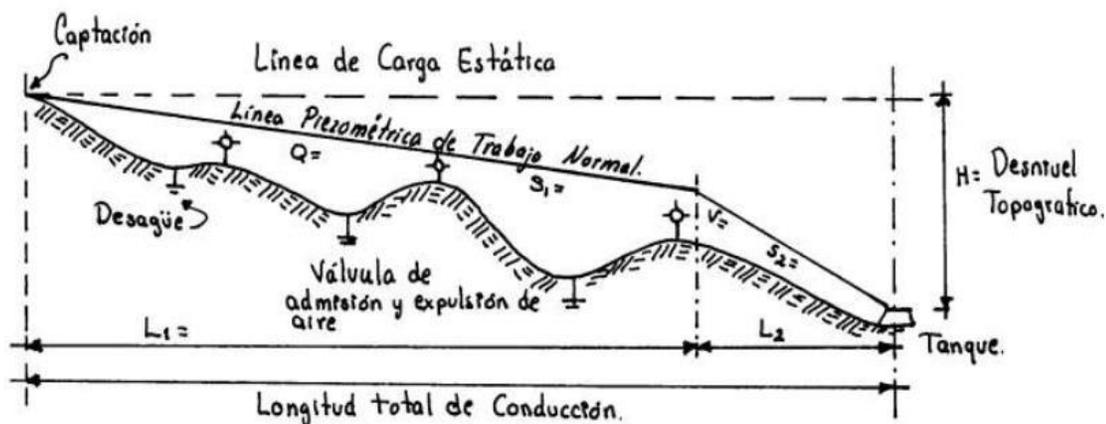
Conducción a Gravedad. Según Rodríguez Ruiz (2001) este tipo de conducción “se presenta cuando la elevación del agua en la fuente es mayor a la altura piezométrica requerida o existente en el punto de entrega del agua, el transporte del fluido se logra por la diferencia de energías aprovechables” (p. 118).

Las líneas de conducción a gravedad tienen dos variantes las cuales son: por canales que trabajan sin presión, es decir cuando la línea piezométrica coincide con la superficie del agua; y por tuberías que sí trabajan a presión, es decir cuando la línea

piezométrica queda por arriba del lomo de los conductos como se puede ver en la Figura 5 (Rodríguez Ruiz, 2001).

Figura 5

Conducción a gravedad



Nota. El gráfico muestra el esquema de una conducción a gravedad que trabaja a presión. Tomada de (Rodríguez Ruiz, 2001).

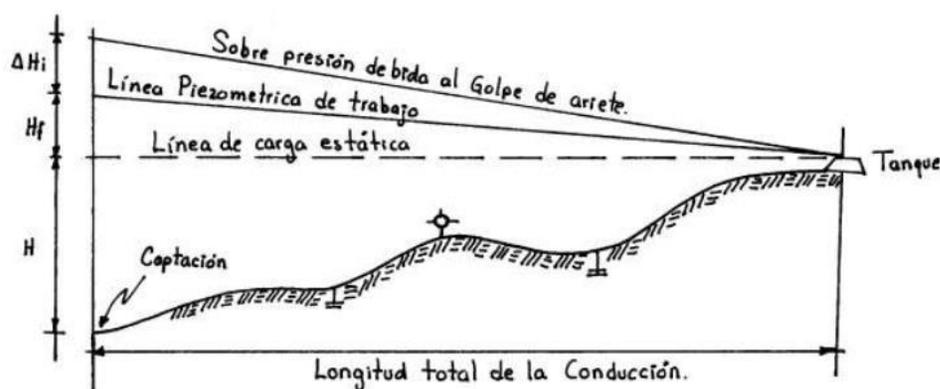
Conducción por Bombeo. Cuando la fuente de abastecimiento se encuentra a un nivel inferior al depósito o a la población, el agua captada se impulsa por bombeo. Cuando se llega a este caso, se elige el diámetro adecuado mediante un análisis económico. En efecto, si el diámetro es pequeño, la pérdida de carga es grande y entonces habrá que usar una bomba de carga elevada que logre vencer las pérdidas, siendo por esta razón muy elevado el costo de la impulsión. Por el contrario, si el diámetro de la tubería es grande, la pérdida de carga es pequeña y la altura a elevar el agua será menor, lo que se traducirá en menor costo de bombeo, pero con una tubería de mayor diámetro y precio. En resumen, en el primer caso, la tubería es barata y el costo de bombeo es

grande; en el segundo, sucede lo inverso: la tubería es costosa y el costo de bombeo es reducido (Rodríguez Ruiz, 2001, p. 207).

En la Figura 6 se puede ver un esquema de conducción por bombeo.

Figura 6

Conducción por bombeo



Nota. El gráfico muestra el esquema de una conducción por bombeo. Tomada de (Rodríguez Ruiz, 2001).

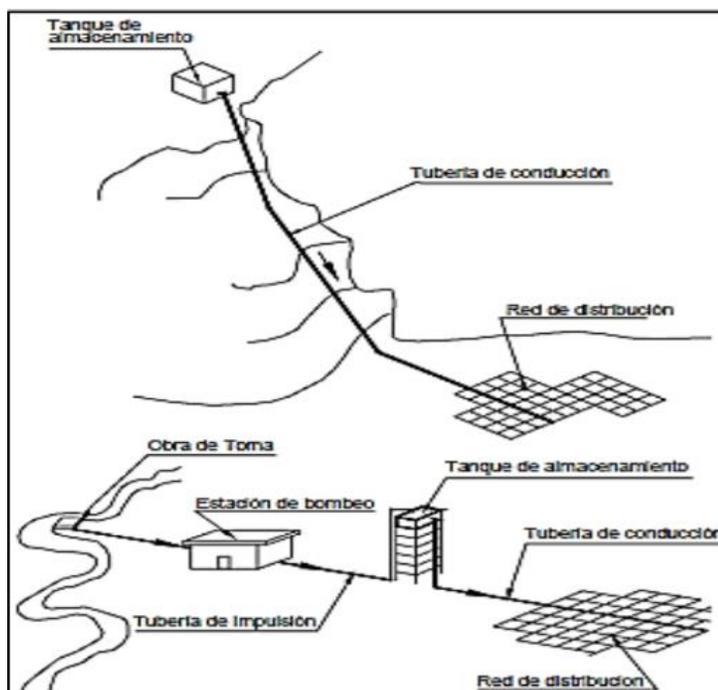
Red de Distribución de Agua Potable

La red de distribución es el conjunto de tuberías de diferentes diámetros, válvulas, grifos y demás accesorios, estas estructuras conducen el agua desde los tanques de almacenamiento a la red de distribución de agua potable, como se puede ver en la Figura 7. Con la finalidad de suministrar el agua en cantidad y presión adecuadas a todos a los beneficiarios del servicio público usando el consumo de manera doméstica, industrial y comercial (Zeledón, 2016).

La clasificación de las redes de distribución de agua potable fue dividida en dos partes: La red matriz es la encargada de transportar el agua a partir de la planta de tratamiento llegando así a los diferentes tanques de almacenamiento y compensación situados aguas arriba de las distintas secciones de abastecimiento. Las redes de agua potable de distribución secundarias transitan a partir de los depósitos de almacenamiento hasta llegar a la acometida del beneficiario final (Saldarriaga, 2007).

Figura 7

Redes de distribución de agua potable



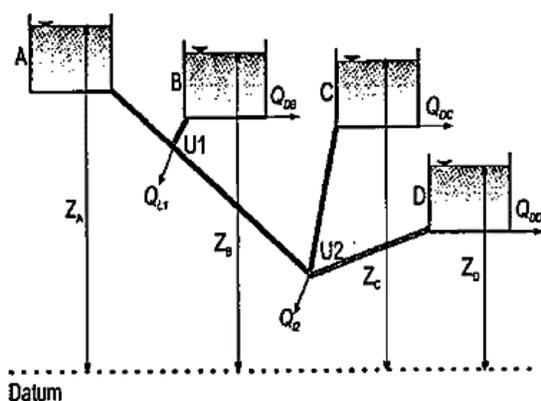
Nota. La figura muestra los elementos de una red de distribución. Tomada del libro de Hidráulica de Tuberías (Saldarriaga, 2007).

Redes Abiertas o Ramificadas. Según Quiguiri (2019), las redes abiertas son aquellas que no cuentan con circuitos cerrados en el sistema, tienen una tubería de

distribución principal que se divide en ramales de distribución que finalizan en puntos ciegos o sin interconexión con otras tuberías en el mismo sistema de red de suministro de agua potable, tal como se puede ver en la Figura 8.

Figura 8

Red abierta



La figura muestra un sistema de tuberías que une cuatro tanques de almacenamiento (A, B, C y D).

El sistema está compuesto por 5 tubos madre (A-U1, U1-B, U1-U2, U2-C y U2-D) con dos uniones (U1 y U2). Las uniones pueden tener caudales laterales de extracción (QL1 y QL2). Los caudales demandados son tomados directamente de los tanques de almacenamiento (QDB, QDC y QDD).

El tanque A funciona como tanque de almacenamiento principal o de suministro primario.

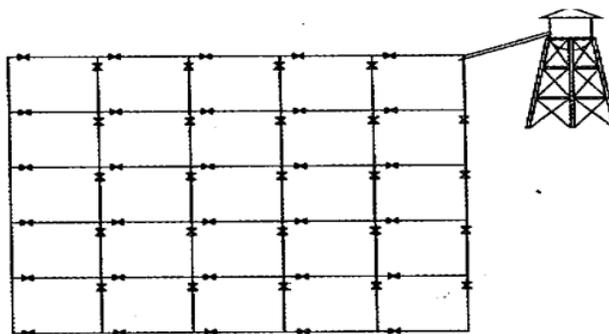
Nota. El gráfico muestra una red de distribución de agua potable abierta. Tomada del libro de Hidráulica de Tuberías (Saldarriaga, 2007).

Redes Cerradas o en Forma de Malla. Son aquellas que están compuestas de mallas o circuitos mediante interconexiones entre los ramales de la red de distribución de agua potable. Su principal objetivo es crear un sistema repetido de tuberías. En cualquier área que se encuentre el sistema debe estar sujeto por más de una tubería, brindando la seguridad del suministro (Quiguiri, 2019).

En las Figuras 9, 10 y 11, se observa diferentes redes de distribución de acuerdo a las normas AWWA de Estados Unidos, colombiana y brasileña.

Figura 9

Red de distribución de acuerdo a la norma AWWA de Estados Unidos

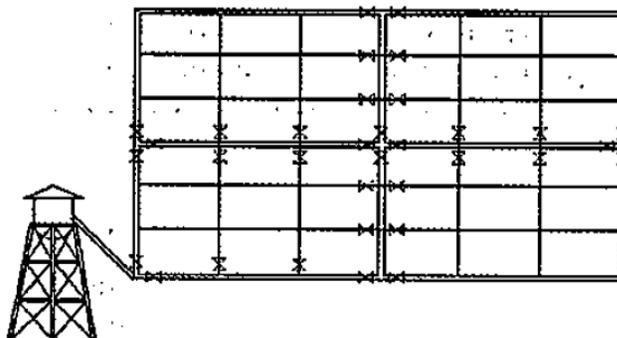


(a) Red de distribución de agua potable de acuerdo con la norma AWWA de Estados Unidos. La disposición de las válvulas permite que se aislen máximo dos tramos de tuberías cerrando máximo cuatro válvulas. Las válvulas se deben localizar en los ramales de importancia en las intersecciones de las mallas principales.

Nota. El gráfico muestra la red de distribución (a). Tomada del libro de Hidráulica de Tuberías (Saldarriaga, 2007).

Figura 10

Red de distribución de acuerdo con la norma colombiana

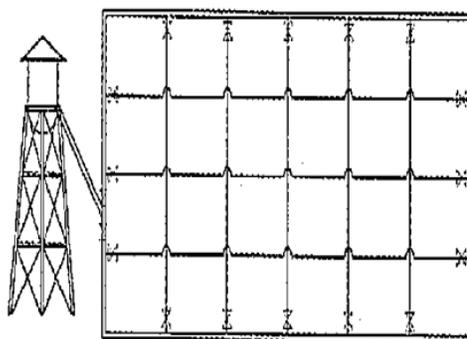


(b) Red de distribución de acuerdo con la antigua norma colombiana (Insfopal, 1954). Con esta disposición de válvulas y tuberías se pueden aislar algunos sectores sin interrumpir el servicio en el resto de la ciudad. Este es el esquema original adoptado en muchas ciudades latinoamericanas.

Nota. El gráfico muestra la red de distribución (b). Tomada del libro de Hidráulica de Tuberías (Saldarriaga, 2007).

Figura 11

Red de distribución de acuerdo con la norma brasileña



(c) Red de distribución de acuerdo con la norma brasileña. El sistema está compuesto por tuberías de relleno sin interconexión, lo cual determinan una gran economía en accesorios.

Nota. El gráfico muestra la red de distribución (c). Tomada del libro de Hidráulica de Tuberías (Saldarriaga, 2007).

Planta de Tratamiento

En la norma se define a una planta de tratamiento como “el conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para llevar a cabo los procesos y operaciones necesarias que faculten obtener agua potable a partir de agua cruda de diferentes fuentes sean estas superficiales o subterráneas” (SENAGUA, 2012, p. 181).

Pérdidas de Agua

De acuerdo con López (2003) las pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento son la diferencia entre el volumen de agua producido y el volumen de agua utilizado. Las pérdidas totales se pueden clasificar como pérdidas técnicas o físicas, inseparables al mismo sistema, como son las fugas en la red, tanques de almacenamiento y errores en las lecturas de mediciones de consumo y las pérdidas comerciales debidas a conexiones ilícitas y a deficiencias en la cobertura de la medición del consumo (p. 58).

Resistividad Eléctrica

Se define a la resistividad eléctrica como la propiedad específica de la materia que puede medir la dificultad que muestra un material para conducir corriente eléctrica a través de él. Mientras la resistividad de un material es más grande, su capacidad para conducir la corriente eléctrica es mucho menor. A diferencia de la resistencia eléctrica, que en si depende sólo de la forma del conductor, la resistividad sólo depende del tipo de material del que está fabricado el conductor, y más no de su forma; debido a esto, se dice que la resistividad es una propiedad intensiva y su unidad de medida es en Ohm-m (Orellana, 1972).

Resistividad Aparente

La resistividad aparente tiene lugar cuando se realizan mediciones sobre un suelo compuesto por diferentes materiales, donde la resistividad medida es ficticia, debido a que es un promedio de las resistividades medidas bajo cada uno de los electrodos. Esta resistividad aparente se suele tomar como la variable experimental con la que expresan los datos tomados en campo de la mayoría de métodos geoeléctricos y

se toma como medida de referencia para su interpretación. Su unidad es el $\Omega.m$ (Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., LTD., 2018).

Sondeo Eléctrico Vertical

Para entender el sondeo eléctrico vertical, se tiene que saber que este consiste en llevar un registro, desde la superficie, de la variación de resistividad aparente bajo la superficie, a medida que los electrodos ubicados sobre una línea recta, se van alejando de la base del equipo de medición, en forma progresiva y regular. Con las mediciones obtenidas, se puede construir la curva de variaciones de resistividad aparente, esto en función de la separación entre los electrodos y el punto base del sistema (Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., LTD., 2018).

A medida que la separación entre los electrodos aumenta, en general también aumenta la profundidad del sondeo. Los pares de valores de resistividad aparente/distancia entre electrodos, se representan en un gráfico bilogarítmico y se obtiene como resultado visual una curva de campo, que luego puede ser interpretada por métodos cualitativos, cuantitativos, manuales y por computadora (Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., LTD., 2018).

Capítulo III

Metodología y Materiales

Aspectos de la Comunidad

Ubicación

La zona del proyecto se denomina barrio Santa Anita, el cual pertenece a la parroquia La Merced. A continuación, se darán algunos detalles de la parroquia, ya que esta abarca al barrio de estudio y se tomó en cuenta algunos aspectos generales para el desarrollo del presente proyecto.

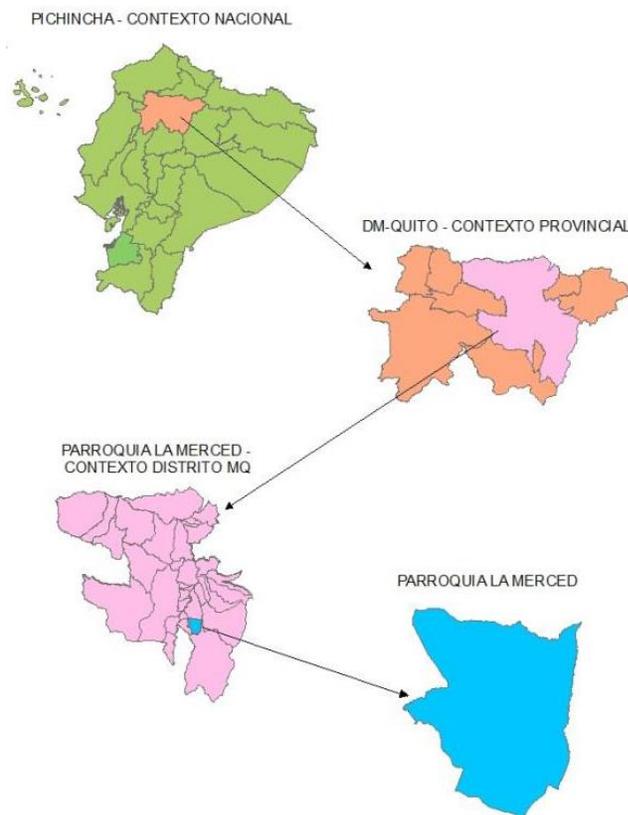
La parroquia La Merced se ubica en la sierra ecuatoriana, en la provincia de Pichincha, cantón Quito. Limita al norte con la parroquia Tumbaco, al sur con las parroquias Alangasí y Píntag, al este con la parroquia Píntag y al oeste con las parroquias Alangasí y Guangopolo (GADP de La Merced, 2015).

Según la Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia La Merced la altura promedio a la que se encuentra la misma es de 2800 msnm, con una elevación mínima de 2500 msnm ubicada hacia el occidente, limitando con Alangasí, y con una elevación máxima de 3140 msnm ubicada en la zona alta del Ilaló al norte (GADP de La Merced, 2015).

Como se indica a continuación, en la Figura 12, se presenta la ubicación de la parroquia en el contexto nacional.

Figura 12

Ubicación de la Parroquia La Merced en el contexto nacional



Nota. El gráfico muestra la ubicación de la parroquia La Merced a nivel nacional.

Tomada de (GADP de La Merced, 2015).

Características del Clima

Hay que recalcar que la zona del proyecto es el barrio Santa Anita y no la parroquia en toda su extensión, por esto se procede a resumir la caracterización climática en general de la parroquia.

Temperatura. El clima de la parroquia La Merced es templado, los registros llevados indican que la temperatura media anual es de 16°C, la temperatura promedio

anual máxima es de 25°C y la temperatura mínima es de 6°C (GADP de La Merced, 2015).

Precipitaciones. Según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y tomando como referencia la estación meteorológica La Tola, estación más cercana a la parroquia La Merced, la precipitación promedio mensual que capta esta estación es de 180,8 mm que se reparten en dos periodos lluviosos más distintivos, entre los meses de marzo y el mes de noviembre. La época de sequía o de estiaje se presenta en los meses de julio y agosto (GADP de La Merced, 2015).

Suelos

La conformación geológica del suelo de la parroquia está representada por la formación volcánica Ilaló (Pleistoceno) en un 17,53% y se caracteriza por presentar sus flancos cubiertos por cangagua (Duripanes); el 82,47% restante de la conformación geológica de los suelos corresponde a la formación volcánica Cotopaxi, estos fueron formados por la acumulación de material piroclástico, flujos de lava y lahares (GADP de La Merced, 2015).

La gran mayoría del terreno de la parroquia está constituido por suelos tipo Mollisoles en un 57,60%, estos son suelos de color oscuro y textura suave que se han formado bajo la vegetación del lugar; los Entisoles constituyen un 24,89% de la parroquia, que son suelos recientemente formados y que se dan en planicies que alguna vez se inundaron; y el 17,51% restante corresponden a suelos con afloramiento de cangagua (GADP de La Merced, 2015).

Respecto al uso del suelo que le dan al suelo los habitantes del sector, se puede apreciar cinco grupos principales, el bosque se ubica en la parte alta del Ilaló y corresponde al 9,17% de la superficie total, los cultivos de ciclos cortos ocupan suelos con pendientes moderadas y corresponden al 26,30%, los cultivos de maíz ocupan suelos de planicies y corresponden al 30,45%, también se identifican suelos erosionados ubicados en los flancos del Ilaló y les corresponde un 17,36% y por último se tienen las zonas pobladas con un 17,73% (GADP de La Merced, 2015).

Encuesta Social

El objetivo de la encuesta social es tener información real y actual de la población existente en el barrio Santa Anita, además también conocer la manera en que se abastecen del líquido vital, ya que como se sabe actualmente el barrio no dispone de un sistema de abastecimiento de agua potable, razón por la que es importante conocer la fuente de abastecimiento que usan actualmente, así como su cantidad, calidad y si esta tiene un costo que este acorde a su consumo, información que puede ser útil al momento de diseñar el sistema de abastecimiento.

Tamaño de la Muestra

Actualmente el barrio Santa Anita se encuentra conformada por 28 familias según información brindada por el presidente de la comunidad, el Sr. Manuel Calugullin. Es por este motivo y al no ser una muestra tan grande se decidió realizar una encuesta por familia, es decir el tamaño de la muestra fue de 28.

Fuente de Abastecimiento

La fuente de abastecimiento del proyecto es la quebrada Guantopugru como se puede observar en la Figura 13. El agua de esta vertiente se origina por infiltración de las partes altas del lugar.

Figura 13

Quebrada Guantopugru



Estudio Hidrológico

Para continuar con el diseño del sistema de abastecimiento fue necesario realizar el estudio hidrológico de la cuenca hidrográfica a la que pertenece el proyecto, para lo cual se utilizó el software libre de información geográfica QGIS. Es necesario disponer de un Modelo Digital de Terreno (DTM), en este caso para el desarrollo de este proyecto el DTM fue facilitado por el maestro de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Central del Ecuador, el señor Carlos Carrera Reyes. M.Sc., mismo

que fue obtenido a través del vuelo de un dron. Con este modelo digital se puede proceder con facilidad a modelar una representación de la microcuenca, esto se puede hacer de forma automática o manualmente dependiendo el caso (Intriago et al., 2021).

Según lo mencionado anteriormente se necesitan algunos parámetros que se desarrollan a continuación:

Parámetros Morfométricos de la Microcuenca

Utilizando el software QGIS, se determinó los parámetros generales de la cuenca hidrográfica mediante los complementos GRASS y SAGA (Intriago et al., 2021), para el resto de cálculos se utilizó varias fórmulas encontradas en documentos investigados.

Trazado de la Microcuenca. Haciendo uso de la herramienta r.watershed, del el software libre QGIS y sus complementos, se determinó que la línea de demarcación está siempre en la parte superior del perfil y que corta las corrientes de agua naturales. De acuerdo a Intriago et al. (2021) se debe considerar las siguientes recomendaciones para el trazado:

- La línea que delimita la cuenta siempre desciende por la parte más cóncava de las curvas de nivel.
- Los ríos siempre descienden por la parte más convexa de las curvas de nivel.

Tomando en consideración las dos reglas mencionadas, se trazó una línea desde el punto de interés en la quebrada hasta la desembocadura del río principal.

Parámetros Generales

Área. El área de la cuenca es el espacio terrestre rodeado por la curva de la cuenca, representada por (A) y sus unidades en (km²), en el software QGIS se obtiene mediante la tabla de atributos del polígono creado para trazar la cuenca. Este parámetro es el más importante para asociar un flujo a una morfometría (Intriago et al., 2021).

Perímetro. El perímetro (P) de una cuenca puede definir su forma, se obtiene del polígono creado para trazar la cuenca utilizando las herramientas de cálculo en la tabla de atributos de QGIS especificando en las opciones de geometría que representan los atributos del perímetro en (km) (Intriago et al., 2021).

Longitud del Cauce Principal. Se define como la longitud (L) del río que predomina la cuenca, se mide desde el punto más alejado del río hasta el lugar en donde desemboca, se la calcula a través de la caja de herramientas de procesos, en las opciones de estadísticas básicas para campos (Mogollón & Sánchez, 2018).

Desnivel Altitudinal. Según Rivas & Moreno (2019) el desnivel altitudinal (DA) de una cuenca es la diferencia de altura entre la cota más alta y la más baja

$$DA = HM - Hm$$

En donde:

HM = Cota Máxima (msnm),

Hm = Cota Mínima (msnm).

Parámetros de Relieve

Pendiente Media del Cauce. Para evaluar de una manera exacta la pendiente media del cauce (j) (%) se utilizó el método de compensación (Ramírez et al., 2021), para lo que se procede de la siguiente manera:

$$j = \frac{Da}{L}$$

En donde:

Da = Desnivel Altitudinal (km),

L = Longitud del cauce principal (km).

Pendiente Media de la Cuenca (J) (%). Para calcular la pendiente media de la cuenca (J) (%), se utilizó el método de Alvord, en el cual se utilizan las pendientes entre las curvas de nivel, para ello se divide el área total de la cuenca en áreas más pequeñas por medio de las curvas antes mencionadas (Ramírez et al., 2021).

$$J = 100 * \frac{\sum Li * E}{A}$$

En donde:

Li = Longitud de cada una de las curvas de nivel (km),

E = Distancia entre curvas de nivel (km),

A = Área de la cuenca (km²).

Parámetros de la Red Hídrica

Tiempos de Concentración. Para determinar el tiempo de concentración de una cuenca existen varias ecuaciones, las más utilizadas son las siguientes (Cárdenas, 2018):

Kirpich.

$$T_c = 0,06628 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$$

En donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas),

L = Longitud del cauce principal (km),

S = Pendiente del cauce principal (m/m).

Témez.

$$T_c = 0,30 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$$

En donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas),

L = Longitud del cauce principal (km),

S = Pendiente total del cauce principal de la cuenca (m/m).

Giandotti.

$$Tc = \frac{4 \sqrt{A} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H}}$$

En donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas),

L = Longitud del cauce principal (km),

A = Área de la cuenca (km²),

H = Elevación media de la cuenca (m).

Parámetros Hidrológicos

Intensidad, Duración y Frecuencia de Lluvia. El diseño hidrológico se realiza a través de métodos probabilísticos que predicen los fenómenos naturales, en este caso la lluvia. Para ello se deben conocer las siguientes variables:

- **Intensidad**

Esta variable se representa como (I), y se define como la relación entre la altura de lluvia (h), y la duración (d), del respectivo lapso de tiempo que provocó su acumulación. Tiene la particularidad de ser un valor local, es decir, es estimado en un punto específico de una cuenca y se suele expresar en mm/h (EMMAAP-Q, 2009).

- **Duración**

Representada como la variable (d), y se define como la persistencia del intervalo de lluvia para el cual se realiza la predicción, normalmente es establecido por el

proyectista después de realizar un análisis a las características de la cuenca (EMMAAP-Q, 2009).

- **Frecuencia**

También se la conoce como el período de retorno anual de un evento, se la define en función de la amenaza y riesgo asumido del proyecto (EMMAAP-Q, 2009).

Todas las variables antes mencionadas pueden sintetizarse por medio de las curvas IDF, relacionando la duración del evento y la probabilidad de que ocurra el mismo.

La estación con suficiente cantidad de datos registrados y la más cercana a la zona del proyecto es La Tola, cuyos datos se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3

Datos generales de la estación pluviométrica La Tola

Estación	Código	Latitud	Longitud	Altitud	Serie de Datos	Años
La Tola	M0002	793125,64	9974612,5	2480	1980-2010	31

Nota: La presente tabla indica los datos generales de la estación pluviométrica La Tola. Tomada de: Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación (p.15), por (INAMHI, 2019).

Topografía

En la elaboración del levantamiento para el presente proyecto se utilizó un equipo topográfico completo, conformado por una estación total, prismas, trípodes, GPS

de precisión o doble frecuencia y por herramientas menores que faciliten el trabajo en el campo como son estacas, clavos, combo, cinta métrica, flexómetro, y pintura.

Hay que mencionar que en el lugar no se cuenta con puntos geodésicos cercanos que permitan tomar una coordenada georreferenciada, por lo que en su lugar se colocaron mojones y se tomaron coordenadas con un GPS de precisión para tener estaciones de referencia que sirvan de base para el levantamiento.

Como se observa en la Figura 14 se realizó el levantamiento y posteriormente se elaboró el plano de la zona de estudio, dicho plano contiene como información la localización de la quebrada de donde se tomó el agua para dar abastecimiento al barrio Santa Anita, las viviendas a las que se dotó del líquido vital y detalles como las áreas de cada lote en que se encuentra dividido el barrio, de donde se puede concluir que el área total de la zona de estudio es de 311 376,12 m². El plano topográfico fue realizado en la escala 1:2500 que corresponde a los planos de las comunidades tal como lo dice la norma dada por (SENAGUA, 2018).

El plano se encuentra georreferenciado en el sistema de coordenadas exigido por el Municipio de Quito, es decir en TMQ-WGS84.

Figura 14*Levantamiento topográfico*

Nota. El gráfico muestra al tesista operando la estación total Sokia.

El informe de los puntos de precisión obtenidos por el GPS se encuentra en el Anexo 1. Los puntos obtenidos del levantamiento topográfico, junto con el plano topográfico se encuentran en el Anexo 2.

Estudio de Resistividad Eléctrica

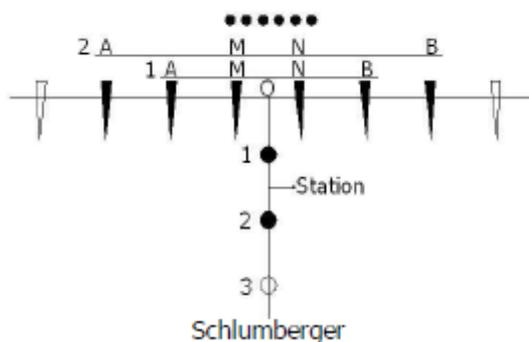
El estudio de resistividad eléctrica se realizó en la fuente de abastecimiento, específicamente en el lugar que se tomó el agua para el proyecto, con el fin de estimar la profundidad a la cual se encuentra la misma, para ello se utilizó el equipo de resistividad eléctrica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, el equipo es un resistímetro modelo WDJJ-4 de la marca Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipement Co., Ltd., como se puede ver en la Figura 15.

Figura 15*Equipo de resistividad eléctrica*

Nota. Equipo de resistividad WDJ-4 usado para el estudio de resistividad eléctrica. Tomado de (Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., LTD., 2018).

Elección del Dispositivo Schlumberg

Entre las distintas configuraciones electrónicas se optó por el dispositivo Schlumberg, ya que brinda la cómoda ventaja que para una misma posición de los electrodos de potencial fijos (MN), los electrodos de corriente móviles (AB) pueden disponerse a la distancia que el calculista desee siempre y cuando se respete la condición $MN \leq AB/5$. Esto permite agilizar el trabajo de campo ya que se ahorran una gran cantidad de operaciones (Figura 16).

Figura 16*Dispositivo Schlumberger*

Nota. Configuración eléctrica del dispositivo Schlumberger. Tomado de (Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., LTD., 2018).

Realización del Ensayo en Campo

El estudio de resistividad fue realizado el 4 de junio de 2021, previo a esto se contó con una capacitación para aprender a usar el equipo sin problemas, ya que al utilizar grandes fuentes de voltaje puede ser peligroso al manipular incorrectamente.

Para la realización del ensayo se contó con la ayuda del director de tesis y de personas de la comunidad, ya que el equipo es bastante pesado y se requiere de varias personas para movilizarlo y de igual manera para realizar los cambios de los electrodos que dependiendo de la profundidad a la que se quiera llegar se deberán hacer algunos arreglos de los mismos. Las lecturas de los datos se realizaron mediante la configuración Schlumberger. Como se puede ver en las figuras siguientes se deja constancia del ensayo realizado en la fuente de abastecimiento del proyecto (Figura 17 y Figura 18).

Figura 17

Equipo de resistividad eléctrica



Nota. Equipo de resistividad WDJD-4 conectado a los electrodos y a la batería, listo para empezar a tomar datos en la zona de estudio.

Figura 18

Cables y electrodos metálicos



Nota. Cables que van conectados a los electrodos de hierro mediante pinzas.

Procesamiento de Datos

Los softwares que se utilizaron para el procesamiento de datos son los siguientes:



SURFER 16: Utilizado para el procesamiento de los datos obtenidos en el campo.



EarthImager 1D: Utilizado para procesar los datos de resistividad

eléctrica y realizar sus inversiones.

Identificación del Tipo de Suelo

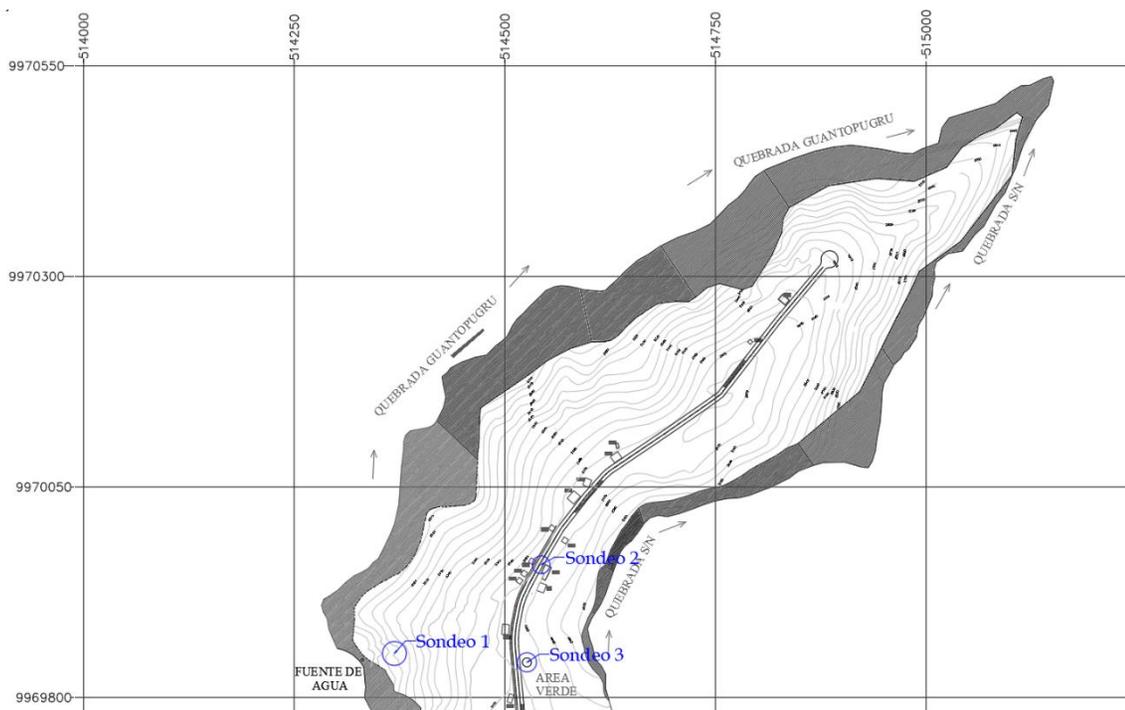
Según recomienda la Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes se debe realizar una caracterización adecuada y completa del suelo de la zona del proyecto, en la misma se menciona que los estudios de suelos se deberán realizar en los lugares donde se asentarán estructuras importantes y también se deberán determinar algunos datos importantes como la localización del nivel freático (SENAGUA, 2012).

También según el Libro VI, Anexo 2 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015), para proyectos lineales (vialidad, sistemas de riego, conducciones de agua potable) se tomará una muestra compuesta de suelo cada 5 km.

Es por esto que para este proyecto se decidió tomar tres muestras de suelo en lugares representativos como son en este caso la línea de conducción, el tanque de almacenamiento y la red de distribución. Los ensayos que se realizaron fueron: Granulometría, Humedad Natural y Límites de Atterberg. En la Figura 19 se indica la localización del lugar que se extrajo las muestras.

Figura 19

Ubicación de los sondeos para la caracterización del suelo



Nota. Se presenta la ubicación de los tres sondeos realizados para la caracterización del suelo.

En el lugar de cada sondeo se tomaron dos muestras de suelo, la primera a una profundidad de 1,00 m y la segunda a una profundidad de 1,50 m como se indica en la Tabla 4, en donde además se incluye información adicional como la coordenada y su respectiva elevación.

Tabla 4*Datos generales de sondeos*

Sondeo	Muestra	Coordenada	Coordenada	Elevación	Profundidad
		Norte (m)	Este (m)	(msnm)	(m)
S1	C1	514368,94	9969852,28	2520,82	1,00
	C2	514368,94	9969852,28	2520,82	1,50
S2	D1	514543,07	9969957,59	2567,24	1,00
	D2	514543,07	9969957,59	2567,24	1,50
S3	T1	514526,24	9969841,75	2568,46	1,00
	T2	514526,24	9969841,75	2568,46	1,50

Nota. La tabla muestra los datos generales de ubicación de los sondeos realizados.

En la Figura 20 se tiene la evidencia del trabajo de toma de muestras realizado por el tesista junto con la ayuda de la comunidad.

Figura 20

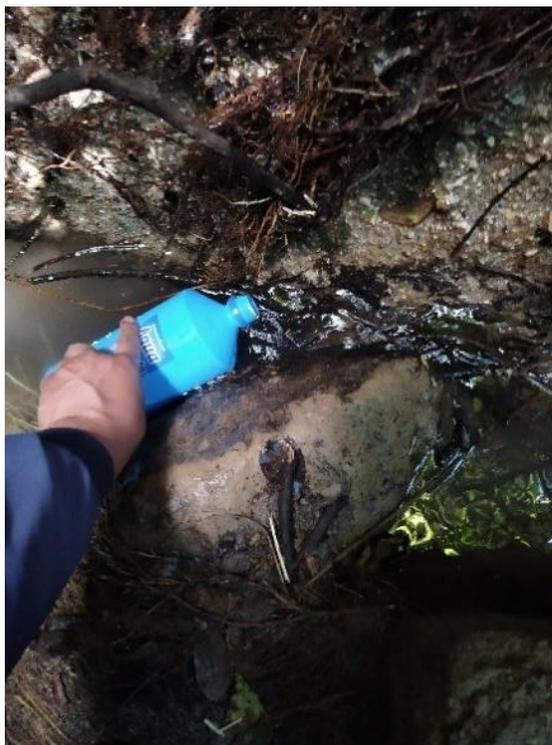
Toma de muestras para la caracterización del suelo

**Calidad del Agua*****Muestreo del Agua***

Para determinar la calidad del agua de la fuente del proyecto se consideró un punto de muestreo en la quebrada Guantopugru, y se tomó una muestra de agua cruda como se puede ver en la Figura 21. La muestra de agua fue recolectada de manera aséptica, utilizando un recipiente plástico esterilizado de 1 litro. La muestra fue trasladada en un cooler con hielo para mantener condiciones de temperatura de 5°C hasta llegar al Laboratorio LASA, donde se realizaron los análisis respectivos.

Figura 21

Toma in situ de muestra de agua cruda



En la Tabla 5 se detalla el sitio de muestreo con sus respectivas coordenadas.

Tabla 5

Sitio de muestreo de agua

Código	Fecha	Coordenada	Coordenada	Elevación (msnm)	Hora
		Este (m)	Norte (m)		
Santa Anita	02/07/2021	514331,07	9969844,79	2503,10	06:30

Parámetros Hidrométricos

Se debe tener en cuenta todos los parámetros hidrométricos ya que estos sirven para medir, registrar, calcular y analizar el volumen de agua que fluye en determinado

periodo de tiempo a través de un río, quebrada, canal o tubería (Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático [ICC], 2017). Es por ello que es muy importante realizar una recopilación de datos hidrológicos precisos y completos para facilitar la toma de decisiones sobre los recursos hídricos.

Medición de Caudal en Campo por el Método Volumétrico

El cauce de la fuente de abastecimiento es bastante irregular, por lo que no se puede realizar la toma de mediciones por el método de los flotadores, por lo que el método de aforo usado para la determinación del caudal que se dispone es el método volumétrico, ya que su metodología es sencilla y directa de aplicar según sea la fuente hídrica para calcular los caudales disponibles. Para esto simplemente se debe tomar el tiempo en que un recipiente de volumen conocido demora en llenarse con la ayuda de un cronómetro tal como se indica en la Figura 22. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{aforo} = \frac{\text{Volúmen del recipiente}}{\text{Tiempo de llenado}}$$

Figura 22

Medición de caudal mediante aforo volumétrico



Capítulo IV

Resultados y Discusión de Estudios Preliminares

Encuesta Social

A continuación, se analizó cada una de las preguntas realizadas a la población, y se interpretó los resultados mediante gráficos de barras y pasteles para tener un mejor análisis visual de la opinión de los usuarios sobre su actual forma de abastecimiento de agua, el modelo de la encuesta aplicada se lo puede observar en el Anexo 3.

- **Número de Habitantes del Barrio**

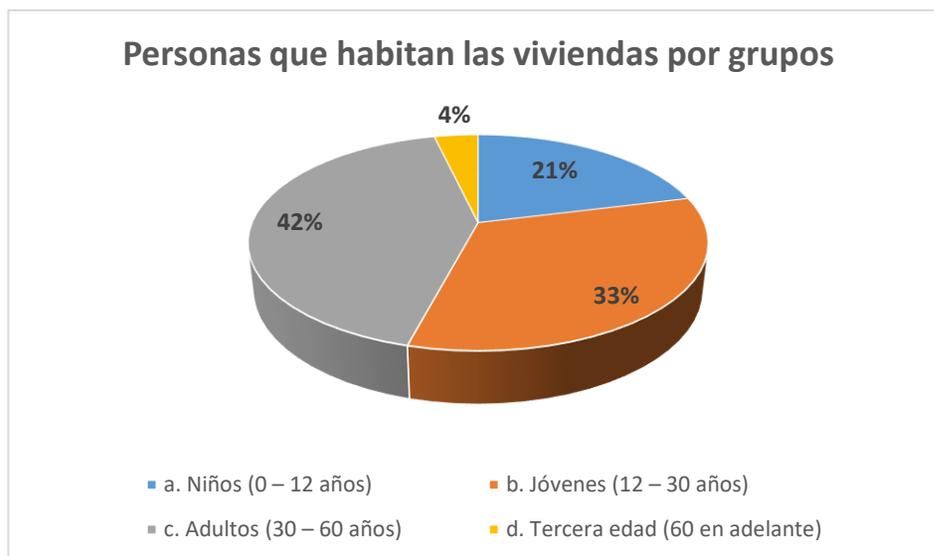
Como se puede observar en la Tabla 6, en los 28 hogares encuestados existe un total de 109 habitantes, de los cuales un 21% son niños, un 33% son jóvenes, un 42% son adultos y un 4% son personas de la tercera edad.

Tabla 6

Personas que habitan las viviendas por grupos

Pregunta 1. Personas que habitan la vivienda		
a. Niños (0 – 12 años)	23	21%
b. Jóvenes (12 – 30 años)	36	33%
c. Adultos (30 – 60 años)	46	42%
d. Tercera edad (60 en adelante)	4	4%
Total	109	100%

En la Figura 23 se presenta un gráfico tipo pastel para entender de mejor manera los grupos de personas que habitan las viviendas.

Figura 23*Composición de la población actual*

- **Disponibilidad del Agua**

Según la encuesta realizada y como se puede observar en la Tabla 7 el 82% de los encuestados no dispone de agua todos los días, lo cual evidencia la falta del líquido vital y la necesidad urgente de contar con un sistema de abastecimiento de agua potable.

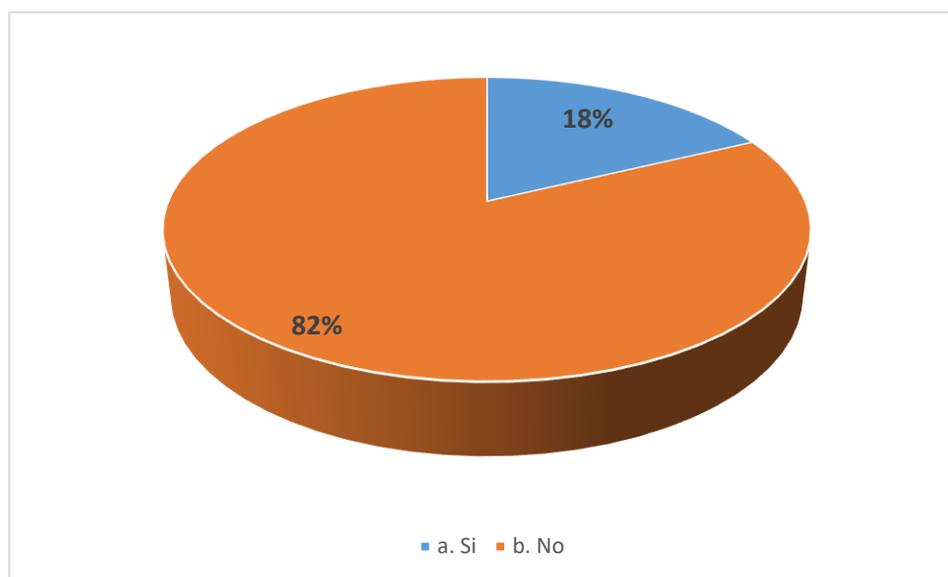
Tabla 7*Disponibilidad de agua*

Pregunta 2. ¿Dispone de agua todos los días?		
a. Si	5	18%
b. No	23	82%
Total	28	100%

En la Figura 24 se presenta un gráfico tipo pastel para entender de mejor manera si las personas disponen de agua.

Figura 24

Disponibilidad diaria de agua



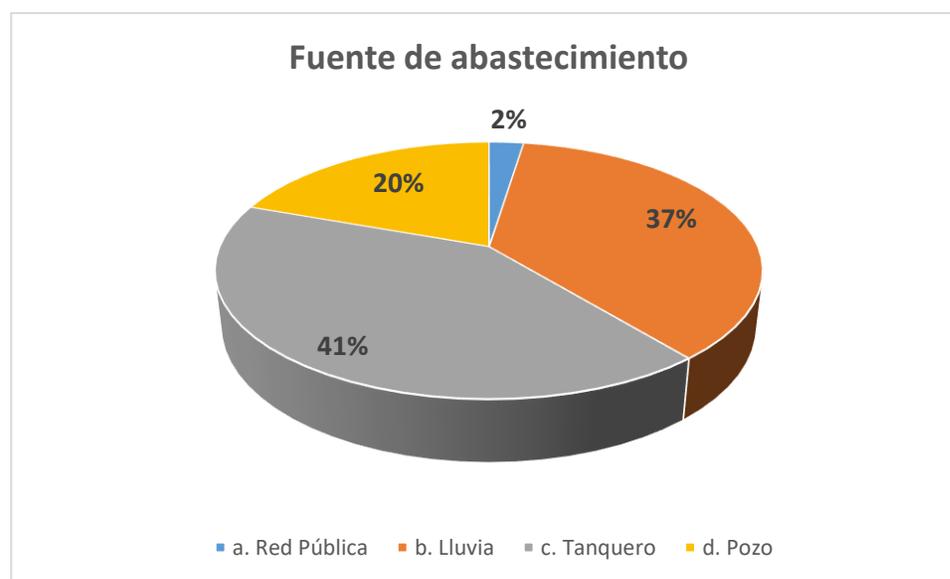
- **Proveniencia del Agua**

Según los datos obtenidos de la Tabla 8, solo el 2% de los encuestados mencionan que el agua que llega al barrio es de la red pública, mientras que un 37% afirman obtener el agua de la lluvia, el 41% asegura que la obtienen a través de tanqueros y un 20% lo hace a través de pozos.

Tabla 8*Fuente de abastecimiento*

Pregunta 3. ¿De dónde proviene el agua que utiliza?		
a. Red Pública	1	2%
b. Lluvia	15	37%
c. Tanquero	17	41%
d. Pozo	8	20%
Total	41	100%

En la Figura 25 se presenta un gráfico tipo pastel para entender de donde viene el agua que utilizan las personas.

Figura 25*Fuente de abastecimiento*

- **Pago por el Servicio de Agua**

En la Tabla 9 el 68% de los encuestados afirman que, si pagan por el servicio de agua, ya que tienen que pagar por los tanqueros que abastecen de este líquido, mientras que el 32% restante no lo hace debido a que ocupan el agua de la lluvia o de pozo, tal como se pudo evidenciar en las respuestas de la pregunta 5.

Tabla 9

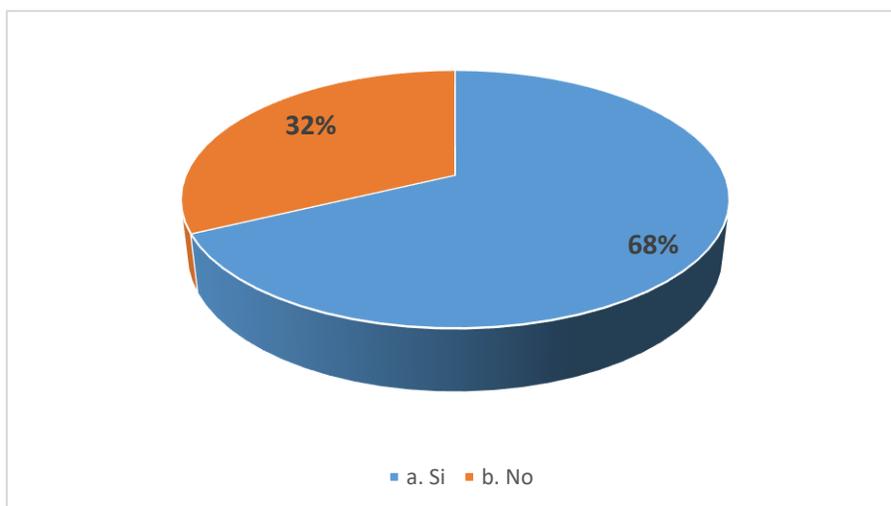
Pago por el servicio de agua

Pregunta 4. ¿Paga usted por el servicio de agua?		
a. Si	19	68%
b. No	9	32%
Total	28	100%

En la Figura 26 se presenta un gráfico tipo pastel para visualizar de mejor manera a las personas que pagan por el servicio de agua.

Figura 26

Pago por el servicio de agua



- **Costo del Agua**

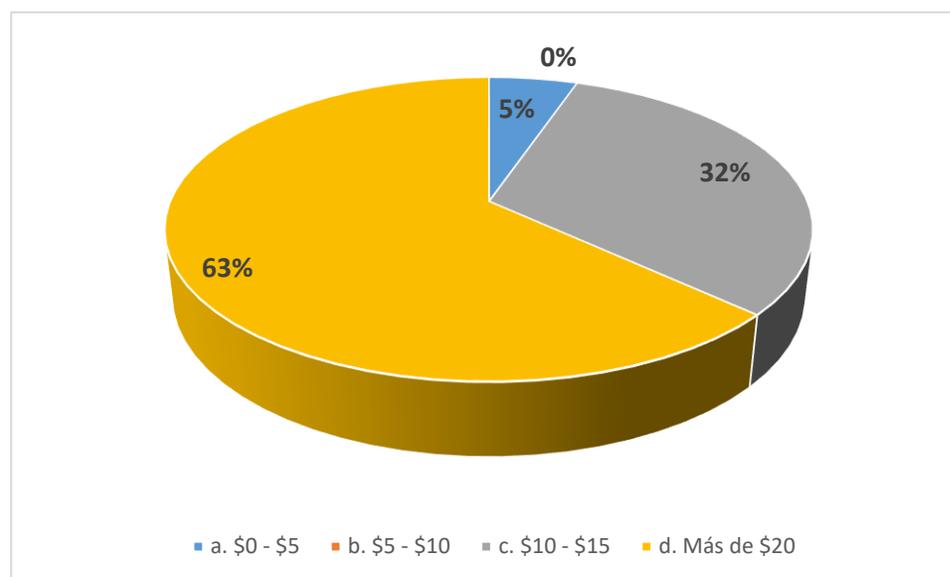
De las 19 familias que pagan por el servicio de agua y como se puede observar en la Tabla 10 solo el 5% pagan un valor menor de \$5, el 32% realizan pagos de entre \$10 - \$15, y el 63% hacen un pago mensual de más de \$20.

Tabla 10

Costo promedio que pagan los pobladores por el agua

Pregunta 6. Si es si, indique el valor promedio:		
a. \$0 - \$5	1	5%
b. \$5 - \$10	0	0%
c. \$10 - \$15	6	32%
d. Más de \$20	12	63%
Total	19	100%

En la Figura 27 se presenta un gráfico tipo pastel para entender de mejor manera el valor que pagan las personas por el agua que utilizan.

Figura 27*Respuestas sobre el costo del servicio de agua*

- **Opinión Sobre el Costo del Agua**

Según la opinión de las 19 familias que pagan por el servicio de agua y como se puede observar en la Tabla 11 el 100% de ellas dicen que el pago que realizan por el servicio de agua es elevado.

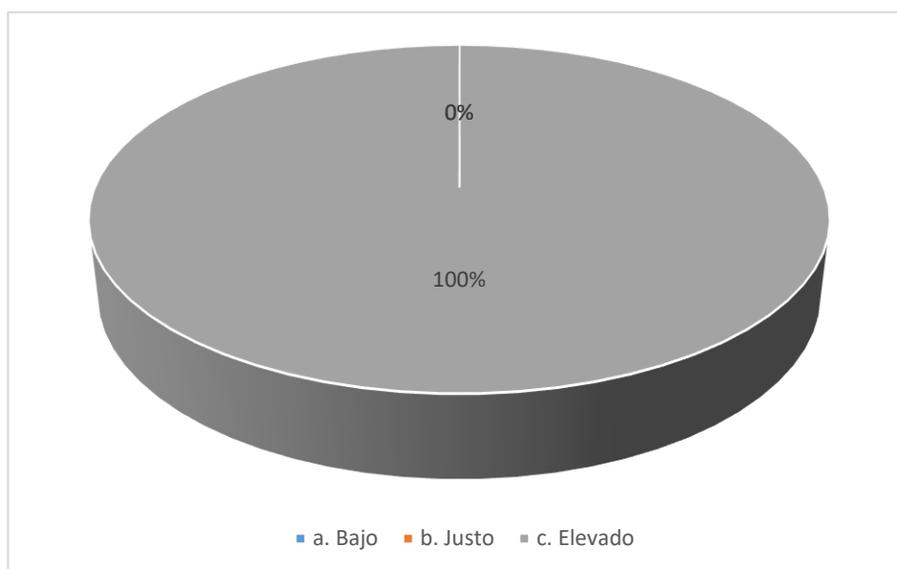
Tabla 11*Opinión de los pobladores sobre el costo del agua*

Pregunta 7. Lo que usted paga por el agua es:		
a. Bajo	0	0%
b. Justo	0	0%
c. Elevado	19	100%
Total	19	100%

En la Figura 28 se presenta un gráfico tipo pastel para entender de mejor la opinión de las personas respecto al costo del agua.

Figura 28

Respuestas sobre opinión del costo de agua



- **Cantidad de Agua Recibida**

Como se puede observar en la Tabla 12 el 100% de las personas encuestadas están de acuerdo en que la cantidad de agua que reciben es insuficiente para cubrir todas sus necesidades básicas.

Tabla 12

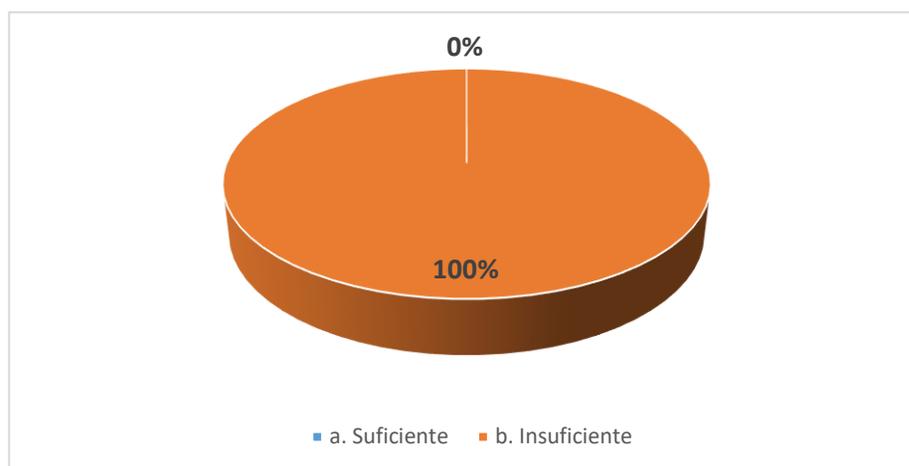
Apreciación del agua recibida por los usuarios

Pregunta 8. Indique la cantidad de agua que recibe su familia:		
a. Suficiente	0	0%
b. Insuficiente	28	100%
Total	28	100%

En la Figura 29 se presenta un gráfico tipo pastel para visualizar de mejor manera la opinión de las personas sobre la cantidad de agua que reciben en sus hogares.

Figura 29

Respuestas sobre la cantidad de agua recibida



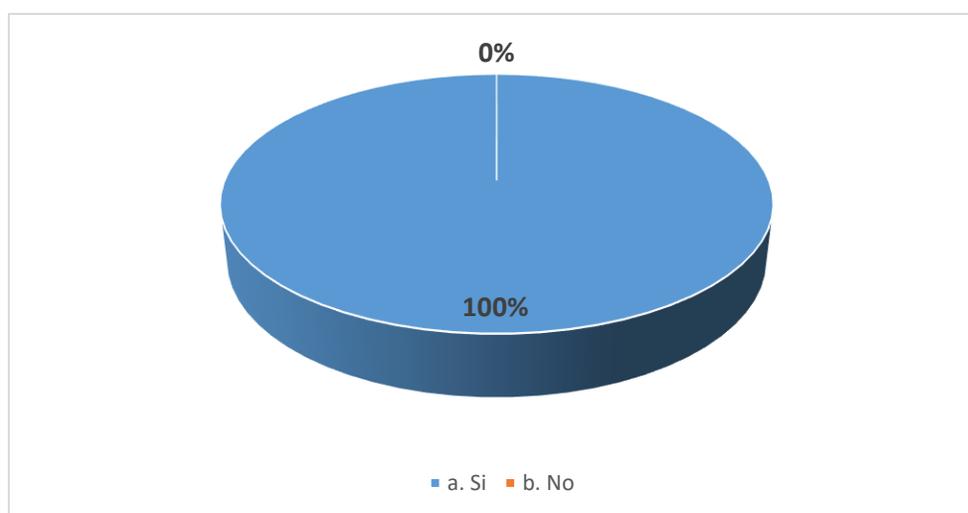
- **Almacenamiento del Agua Recibida**

En lo referente al almacenamiento del agua y como se puede observar en la Tabla 13 el 100% de los encuestados afirmaron que, si almacenan el agua recibida, lo que corrobora los resultados de las preguntas anteriores y denota la necesidad de contar con un sistema que provea agua potable.

Tabla 13*Almacenamiento del agua recibida*

Pregunta 9. ¿Almacena agua para el consumo de su familia?		
a. Si	28	100%
b. No	0	0%
Total	28	100%

En la Figura 30 se presenta un gráfico tipo pastel para visualizar si las personas almacenan o no el agua para su consumo.

Figura 30*Respuestas sobre el almacenamiento del agua recibida*

- **Tipos de Almacenamiento del Agua Recibida**

De los encuestados que almacenan el agua y como se puede observar en la Tabla 14 el 11% almacena el agua en baldes, un 4% afirman que lo hacen en bidones y el 86% restante dice que almacenan el agua en tanques, esto se comprobó al momento

de realizar las encuestas ya que se pudo observar todos estos tipos de almacenamiento junto con las quejas de las personas.

Tabla 14

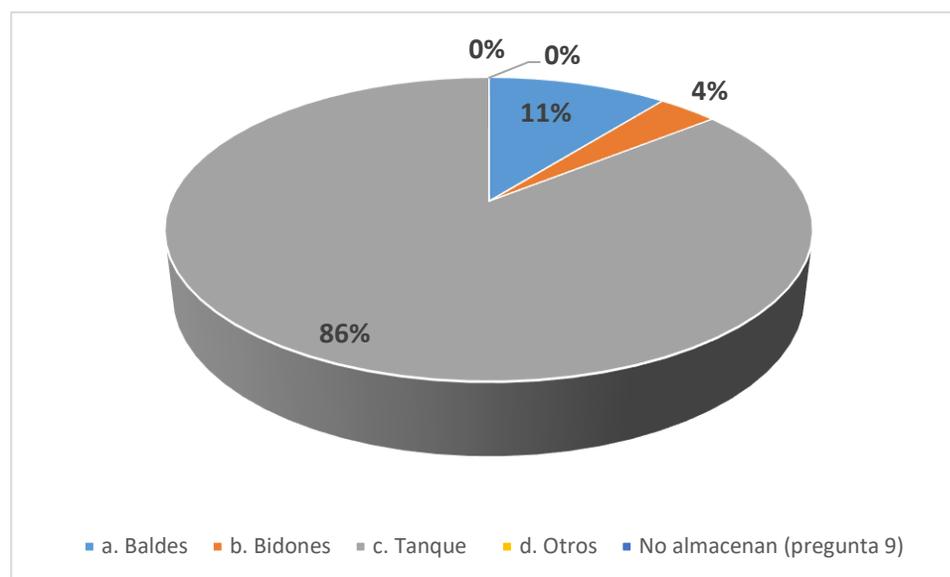
Tipos de almacenamiento del agua recibida

Pregunta 10. Si su respuesta es sí, el agua es almacena en que recipientes:		
a. Baldes	3	11%
b. Bidones	1	4%
c. Tanques	24	86%
d. Otros	0	0%
No almacenan (pregunta 9)	0	0%
Total	28	100%

En la Figura 31 se presenta un gráfico tipo pastel para visualizar la manera la forma en que las personas almacenan el agua para su consumo posterior.

Figura 31

Respuestas sobre los tipos de almacenamiento del agua recibida



- **Calidad del Agua**

En la Tabla 15 se observa que; el 7% de los encuestados afirman que la calidad del agua que reciben es buena, el 29% dice que la calidad del agua es mala y el 64 % afirman que la calidad del agua regular.

Tabla 15

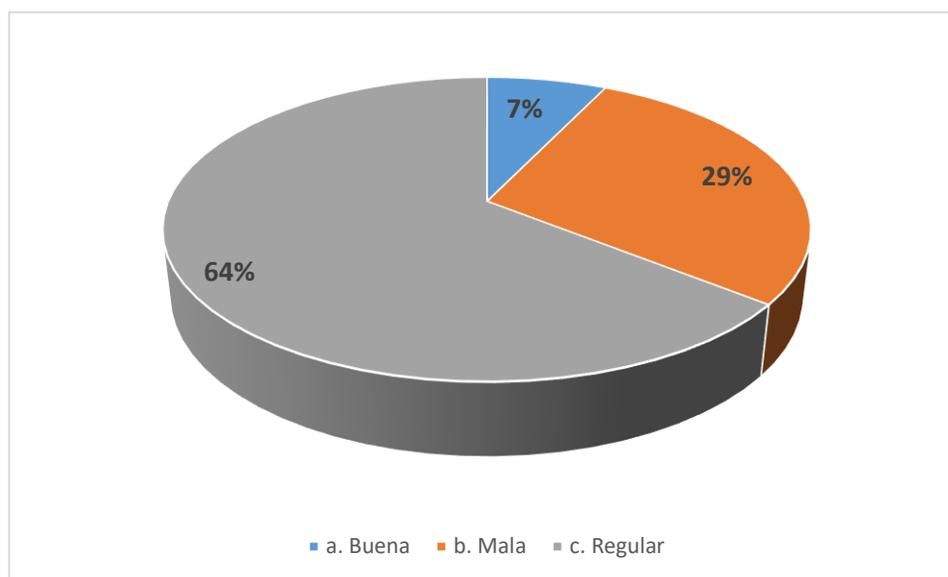
Criterios de la calidad del agua

Pregunta 11. La calidad del agua recibida es:		
a. Buena	2	7%
b. Mala	8	29%
c. Regular	18	64%
Total	28	100%

En la Figura 32 se presenta un gráfico tipo pastel para visualizar de mejor manera lo que piensan las personas sobre la calidad del agua recibida en sus viviendas.

Figura 32

Respuestas sobre la calidad del agua recibida



- **Satisfacción del Servicio de Agua**

En cuanto a la satisfacción por el servicio de agua que reciben los pobladores y como se puede observar en la Tabla 16; el 4% de ellos consideran que el servicio es bueno, el 21% considera que el servicio es malo y el 75% afirma que el servicio es regular.

Tabla 16

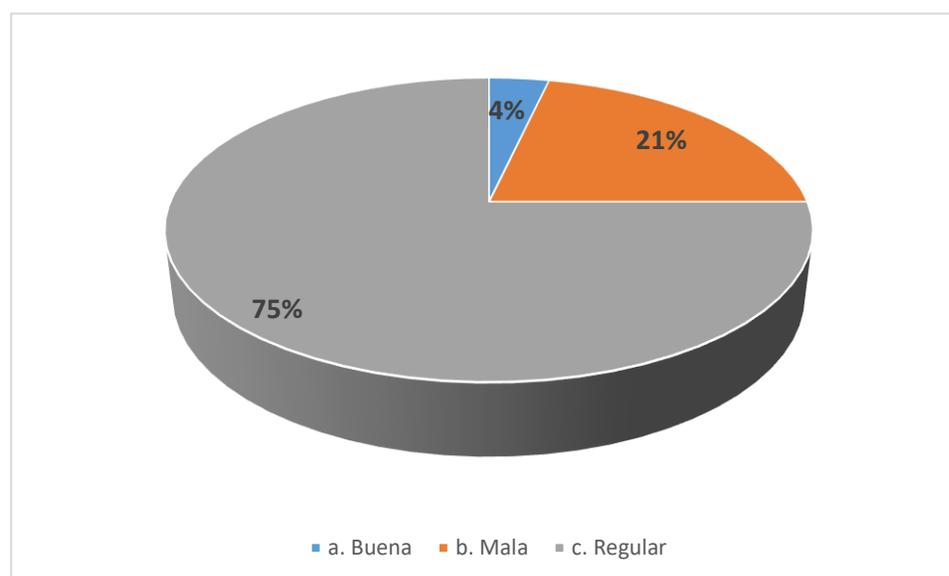
Criterios de la satisfacción del servicio de agua recibido

Pregunta 12. ¿Está usted satisfecho con el servicio de agua? ¿Cómo lo calificaría?		
a. Bueno	1	4%
b. Malo	6	21%
c. Regular	21	75%
Total	28	100%

En la Figura 33 se presenta un gráfico tipo pastel para visualizar de mejor manera la satisfacción de las personas con el servicio de agua que cuentan actualmente.

Figura 33

Respuestas sobre la satisfacción del agua recibida



- **Tratamiento del Agua**

Según la Tabla 17, del total de encuestados un 96% afirman que si le dan un tratamiento al agua antes de ser consumida y solo el 1% dice no hacerlo.

Del 96% de personas que sí dan un tratamiento al agua antes de ser consumida, se puede evidenciar que el tratamiento que le dan a la misma es de hervirla.

Tabla 17

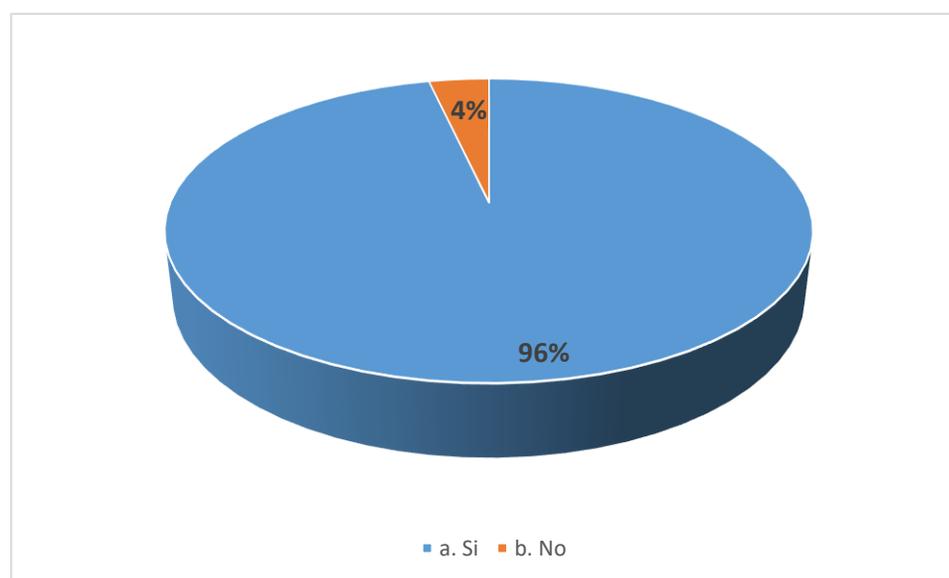
Tratamiento del agua antes de ser consumida

Pregunta 13. ¿Al agua antes de ser consumida le da algún tratamiento?		
a. Si	27	96%
b. No	1	4%
Total	28	100%

En la Figura 34 se presenta un gráfico tipo pastel para visualizar si las personas dan o no un tratamiento al agua que consumen.

Figura 34

Respuestas sobre el tratamiento del agua recibida



- **Uso del Agua**

Según los datos obtenidos y como se puede observar en la Tabla 18; 19 de los 28 encuestados usan el agua para beber, lavar ropa y para la higiene, también 25 de los 28 encuestados usan el agua para preparar alimentos, 15 de los 28 encuestados la usan para la limpieza de las viviendas y 6 de los 28 encuestados usan el agua para el riego.

Tabla 18

Usos del agua en el hogar

Pregunta 14. El agua que llega al barrio la usa para:						
	a. Beber	b. Lavar ropa	c. Preparar alimentos	d. Limpieza vivienda	e. Riego	f. Higiene
Si	19	19	25	15	6	19
No	9	9	3	13	22	9
Total	28	28	28	28	28	28

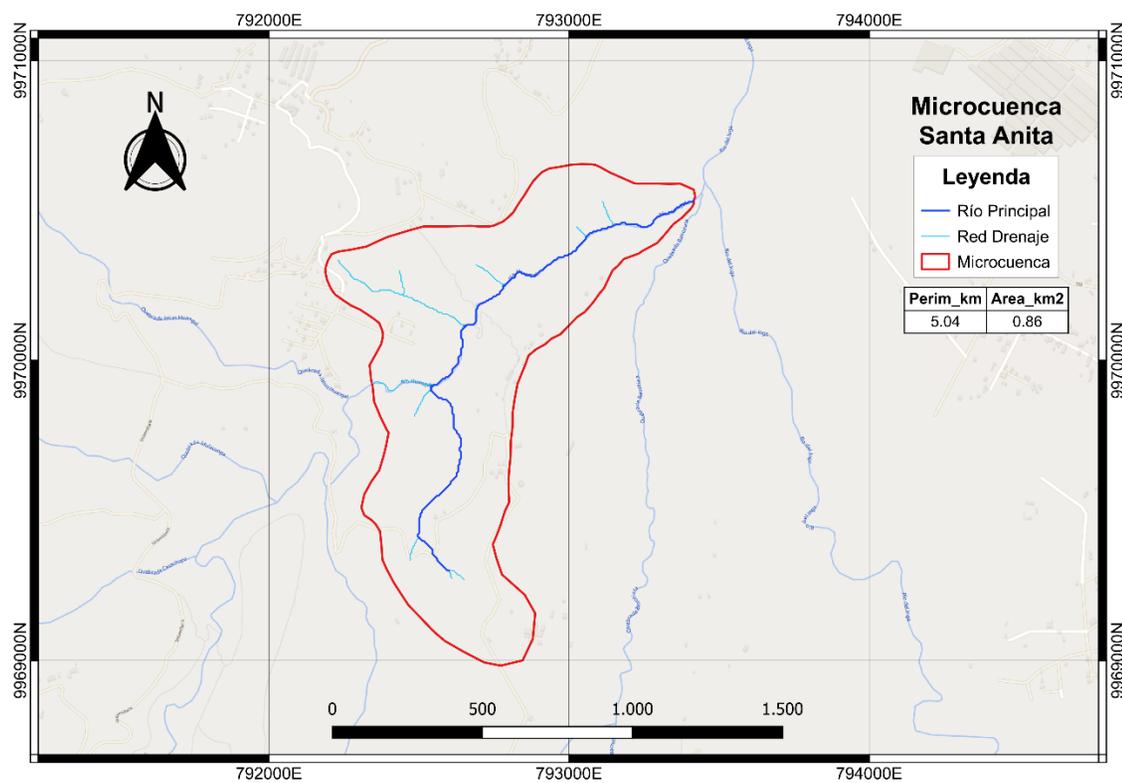
Estudio Hidrológico

Parámetros Morfométricos

Delimitación de la Microcuenca Santa Anita. Se logró delimitar la microcuenca hidrográfica, como se puede observar en la Figura 35, la misma que está formada por la quebrada Guantopugru con coordenadas UTM: 792600,42 – 9969299,50; 793415,42 – 9970534,50; zona 17 S.

Figura 35

Delimitación de la Microcuenca Santa Anita



Parámetros Generales

Como se observa en la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros generales de la microcuenca Santa Anita:

Tabla 19*Parámetros generales de la microcuenca Santa Anita*

Parámetro	Valor	Unidad
Área (A)	0,86	km ²
Perímetro (P)	5,04	km
Longitud del río principal (L)	2,01	km
Desnivel altitudinal (DA)	126,31	msnm
Cota máxima (Cmáx)	2594,04	msnm
Cota mínima (Cmín)	2467,73	msnm
Altura media de la cuenca (Amc)	2540,48	msnm

La microcuenca Santa Anita tiene un área de 0,86 km² y según la Clasificación Ecuatoriana de Cuencas se considera como una cuenca muy pequeña o microcuenca, también se la clasificó como Unidad según la tabla de clasificación de áreas propuesta por Reyes et al. (2014), además cuenta con un perímetro de 5,04 km; estas medidas son de gran utilidad para los próximos cálculos.

Las cotas que determinan la microcuenca son: cota máxima 2594,04 msnm y su cota mínima 2467,73 msnm, con un desnivel altitudinal 126,31 msnm.

Parámetros de Relieve

Como se puede observar en la Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos al realizar la evaluación de los parámetros de relieve de la microcuenca Santa Anita:

Tabla 20*Parámetros de relieve de la microcuenca Santa Anita*

Parámetro	Valor	Unidad	Clasificación
Altitud mayor del cauce	2578,26	msnm	
Altitud menor del cauce	2467,73	msnm	
Pendiente media del cauce	5,50	%	Suave
Pendiente media de la cuenca	6,28	%	Ligeramente inclinada

La pendiente media calculada del cauce principal de la microcuenca fue de 5,50 % que indicó que tiene una clasificación Suave según la tabla de clases de pendientes del cauce propuesta por García & Ollero (2011). La pendiente media obtenida de la cuenca fue de 6,28% lo cual la clasifica como Ligeramente inclinada, según la tabla de clases de pendientes de la cuenca propuesta por Alcántara (2015).

Parámetros de la Red Hídrica

Tiempos de Concentración. Como se puede observar en la Tabla 21 se muestran los resultados obtenidos al calcular los tiempos de concentración de la microcuenca Santa Anita:

Tabla 21*Tiempos de concentración de la microcuenca Santa Anita*

Fórmulas (Tc)	Valor	Unidad	Tomado (min)	Clasificación
Kirpich	0,35	h		
Témez	0,88	h	20,80	Rápido
Giandotti	0,75	h		

Para elegir el tiempo de concentración adecuado para la cuenca se utilizó el programa elaborado por Sandoval (2019), en el que es necesario ingresar los parámetros generales de la cuenca de estudio como se puede observar en la Figura 36, para luego finalmente comparar las velocidades calculadas por el mismo programa con el rango de velocidades propuestas según el relieve de la cuenca, para este caso el relieve de la cuenca es media montaña con un rango de velocidades de 1,0 a 2,0 m/s, por lo que el único valor que entra dentro de este rango es la velocidad calculada según Kirpich, con una velocidad de 1,62 m/s.

Figura 36

Tiempo de concentración de una cuenca

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE UNA CUENCA				
Método: Sandoval-Eraza, W. (2018) - DOI:10.1088/1755-1315/191/1/012117				
NOMBRE DE LA CUENCA:		Santa Anita		
DATOS				
PARÁMETROS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALORES A INGRESAR	
Area de la Cuenca	A	km ²	0,86	
Longitud del Cauce Principal	L	km	2,01	
Diferencia de Alturas	ΔH	m	126,31	
Pendiente del Cauce Principal	J	m/m	0,055	
Caudal Medio Anual	Q	m ³ /s	2,2	
Rugosidad Promedio	n	(0,033 a 0,045)	0,04	
CÁLCULO				
Coefficiente de velocidad	k		0,503	
Coefficiente de Concentración	kc		0,352	
velocidad del cauce	v	m/s	2,31	
Coefficiente de reducción		(0,7 a 0,8)	0,70	
Velocidad de Concentración	vc	m/s	1,62	
Tiempo de Concentración	tc	horas	0,35	
Tiempos de Concentración de Otros Autores	Tiempo de Concentración	Velocidad promedio	Relieves	Rango de velocidades (m/s)
Kirpich	0,35	1,62	Alta Montaña	1,2 a 2,6
Ven T. Chow	1,08	0,52	Media montaña	1,0 a 2,0
Giandotti	0,75	0,75	Llanura	0,6 a 1,0
Témez	0,88	0,64	Zonas bajas	0,3 a 0,5
Nota: Las velocidades obtenidas con las diferentes ecuaciones se deben comparar con la columna F22:F25 de acuerdo al relieve de la cuenca y descartar las que estén fuera del rango				

Nota. La figura indica la interfaz del programa elaborado por Sandoval (2013) para calcular el tiempo de concentración de una cuenca y editado por el autor.

Según lo analizado anteriormente se tomó como tiempo de concentración para la cuenca de estudio el valor calculado según Kirpich, es decir 20,80 minutos, lo cual, en base a la tabla de clasificación de cuencas planteada por Baldeon (2016), el tiempo de concentración es “rápido”.

Parámetros Hidrológicos

Curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia). Se procede a obtener los datos necesarios de la estación pluviométrica La Tola, los mismos que fueron tomados del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

En la Tabla 22 se presentan los datos de intensidades máximas de la estación La Tola.

Tabla 22*Intensidad máxima de la estación La Tola*

t (min)	Periodo de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	85,2	105,2	123,5	152,6	179,1	210,2
10	72,2	89,2	104,7	129,4	151,8	178,2
15	65,5	81,0	95,0	117,4	137,8	161,8
20	62,7	75,0	85,9	102,7	117,6	134,7
30	47,4	56,7	64,9	77,6	88,9	101,8
60	29,3	35,1	40,2	48,1	55,1	63,0
120	18,2	21,6	24,5	29,0	32,9	37,3
360	6,5	7,7	8,7	10,3	11,7	13,3
1440	1,8	2,1	2,4	2,8	3,2	3,6
Intensidad Máxima (mm/h)						

Nota: La presente tabla indica las intensidades máximas de la estación La Tola.

Tomada de: Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación (p.29), por (INAMHI, 2019).

Además, en la Tabla 23 se presentan las ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación La Tola.

Tabla 23

Ecuaciones IDF de la estación La Tola

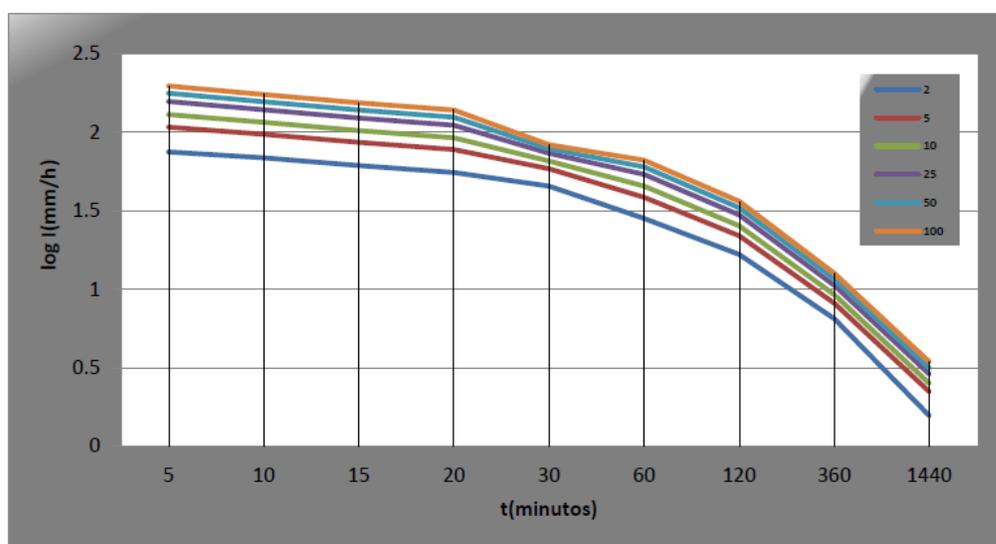
Intervalo de tiempo (min)	Ecuaciones	R	R ²
5 < 20	$i = 106,539 * T^{0,2310} * t^{-0,2386}$	0,9836	0,9675
20 < 120	$i = 433,713 * T^{0,1955} * t^{-0,6909}$	0,9891	0,9783
120 < 1440	$i = 1433,657 * T^{0,1832} * t^{-0,9382}$	0,9987	0,9974

Nota: La presente tabla indica las ecuaciones IDF de la estación La Tola. Tomada de: Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación (p.29), por (INAMHI, 2019).

En la Figura 37 se presentan las gráficas de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación La Tola.

Figura 37

Curvas IDF de la estación La Tola



Nota: La presente figura indica las curvas IDF de la estación La Tola. Tomada de: Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación (p.29), por (INAMHI, 2019).

Estudio de Resistividad Eléctrica

Se realizaron dos tomografías eléctricas, con los cuales se pudieron generar perfiles con los datos adquiridos en campo, tanto en la fuente de captación, así como en la vía por la cual irá ubicada la tubería de la distribución.

El software utilizado para procesar los resultados es EarthImager 1D, este programa utiliza interpolación por los mínimos cuadrados, que es muy bueno para generar el modelo de inversión. Para explicarlo de una manera sencilla, lo que hace el programa es realizar una serie de iteraciones (modelo matemático tratando de asemejarse al valor real del terreno, resistividad aparente), por defecto se realiza hasta 8 iteraciones, pero manualmente se puede iterar más veces hasta llegar a errores menores al 5%. En nuestro caso se usaron varias iteraciones hasta que los datos empiezan a converger, es decir los resultados no cambiarán y siempre serán iguales.

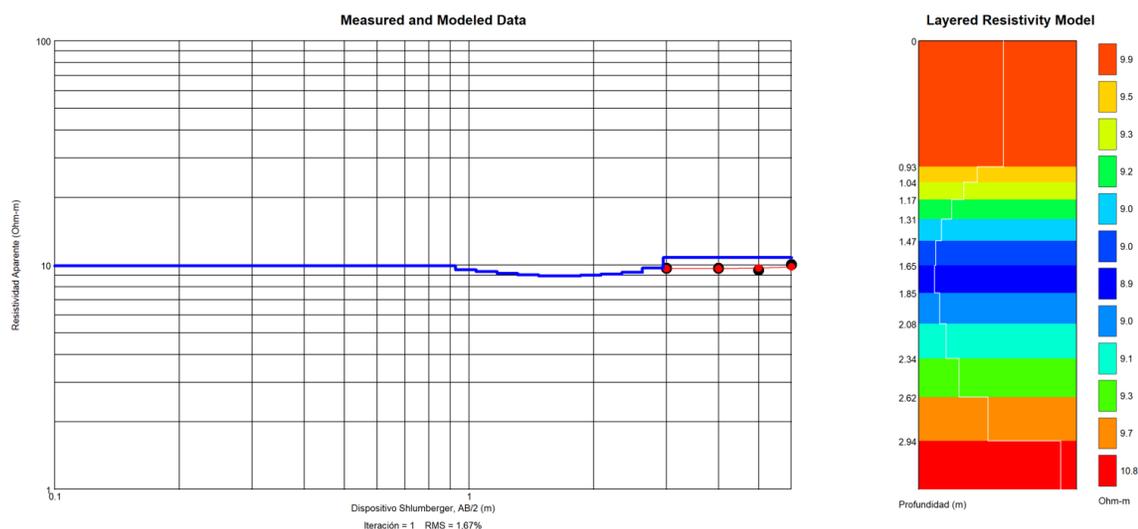
Resultados en Fuente de Abastecimiento

El sondeo eléctrico vertical realizado en la fuente abastecimiento tiene las siguientes propiedades: el arreglo que se realizó es Schlumberg, la cantidad de datos tomados es de 4, la máxima amplitud que se alcanzó fue de 12 metros, llegando a una profundidad aproximada de 3 metros y se realizaron 14 iteraciones alcanzando un margen de error de 1,67%.

A continuación, en la Figura 38 se muestra los resultados del estudio en la fuente de abastecimiento.

Figura 38

Perfil de resistividad eléctrica correspondiente a la fuente de abastecimiento



Nota. El gráfico muestra las resistividades aparentes del suelo de la fuente de abastecimiento. Fuente. EarthImager 1D.

Interpretación. En la Figura 38 se puede apreciar la ventana de resultados devuelta por el programa que corresponden al modelo inverso de resistividad real, en donde se puede observar fácilmente un valor de resistividad de 8,9 Ohm-m como mínimo y un valor de resistividad de 10,8 Ohm-m como máximo. También se puede observar que en el medio de la sección se tiene una zona con bajas resistividades que podrían corresponder a la presencia de agua o de materiales muy finos, esto se puede deducir en base a la experiencia ya que se encuentra en medio de dos materiales de resistividades mucho mayores, las cuales según la geología corresponderían a conglomerados consolidados (cangaguas).

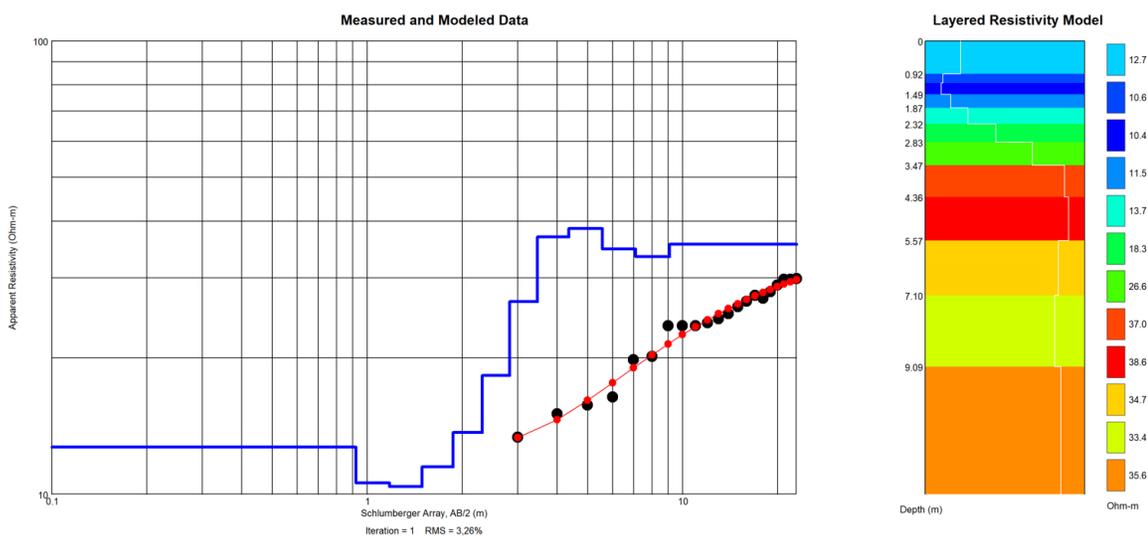
Resultados en Línea de Distribución

El sondeo eléctrico vertical realizado sobre la vía en la cual irá la tubería de distribución tiene las siguientes propiedades: el arreglo que se realizó es Schlumberger, la cantidad de datos tomados es de 21, la máxima amplitud que se alcanzó fue de 46 metros, llegando a una profundidad aproximada de 12 metros y se realizaron 14 iteraciones alcanzando un margen de error de 3,26%.

A continuación, en la Figura 39 se muestra los resultados del estudio sobre la vía en la que irá la tubería de distribución.

Figura 39

Perfil de resistividad eléctrica correspondiente a la vía



Nota. El gráfico muestra las resistividades aparentes del suelo de la vía en la que irá la red de distribución. Fuente. EarthImager 1D.

Interpretación. En la Figura 39 se puede apreciar la ventana de resultados devuelta por el programa que corresponde al modelo inverso de resistividad real, en donde se puede apreciar claramente un valor de resistividad de 10,4 Ohm-m como mínimo y un valor de resistividad de 35,6 Ohm-m como máximo. En la primera parte de la sección se tiene una zona con bajas resistividades que podrían corresponder a la presencia de agua o de materiales muy finos, esto se puede deducir en base a la experiencia ya que se encuentra en medio de dos materiales de resistividades mucho mayores, las cuales según la geología corresponderían a conglomerados consolidados (cangaguas).

Discusión de Resultados

Según los sondeos realizados, específicamente el realizado cerca de la fuente de agua, los valores de resistividad obtenidos están por debajo del orden de 10 Ohm-m, por lo que al compararlos con otros estudios de resistividad eléctrica como el realizado por Custodio & Ramón (2001), en el cual estudia las resistividades de algunos materiales, nos indica que efectivamente estamos ante la presencia de aguas subterráneas.

Para el sondeo realizado sobre el lugar donde se ubicó la red de distribución, los valores de resistividad obtenidos a partir de profundidades mayores a los 7 metros están por el orden de 30 Ohm-m en adelante, por lo que al compararlos con otros estudios de resistividad eléctrica como el realizado por Custodio & Ramón (2001), nos indica que efectivamente estamos ante la presencia de limos, y para las capas más superficiales nos encontramos con arcillas saturadas.

Identificación del Tipo de Suelo

Humedad Natural

El ensayo de humedad fue realizado aplicando la normativa ASTM – D 2216, la misma que define el “contenido de humedad como la razón, en porcentaje, de la masa de agua retenida en los poros, con respecto de la masa del material sólido” (ASTM - D 2216, 1998).

En la Tabla 24, se presentan los resultados para cada una de las muestras analizadas, los cálculos realizados a detalle se presentan en el Anexo 5.

Tabla 24

Humedad natural de las muestras

Sondeo	Muestra	Contenido de Humedad (%)
S1	C1	17,93
	C2	20,70
S2	D1	21,49
	D2	23,47
S3	T1	14,58
	T2	16,59

Nota. La tabla muestra el contenido de humedad natural de las muestras tomadas.

Granulometría

El ensayo fue realizado aplicando la normativa ASTM – D 422, la misma que define el “ensayo de granulometría como el necesario para determinar la distribución, en

porcentaje, de los diferentes tamaños de partículas hallados en un suelo. Se recuerda que la muestra de suelo debe estar completamente seca” (ASTM - D 422, 1998).

En la Tabla 25, se presentan los resultados para cada una de las muestras analizadas, el estudio de suelos completo con sus respectivas curvas granulométricas se presenta en el Anexo 4.

Tabla 25

Granulometría de las muestras

Sondeo	Muestra	% Grava	% Arena	% Finos
S1	C1	0	85	15
	C2	0	65	35
S2	D1	0	85	15
	D2	0	82	18
S3	T1	0	42	58
	T2	0	37	63

Nota. La tabla muestra la distribución de las partículas para cada una de las muestras tomadas.

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Los procedimientos seguidos para los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad son lo que están estipulados en la norma ASTM – D 4318.

El límite líquido, representado por sus iniciales como LL, “se define como el ensayo en el que se utiliza el aparato Casagrande, mismo que sirve para definir el

contenido de agua, expresado en porcentaje, arbitrariamente considerado como el límite entre el estado semilíquido y plástico de un suelo” (ASTM - D 4318, 2005).

El límite plástico, representado por sus iniciales como PL, “se define como el contenido de agua de un suelo, expresado en porcentaje, en el límite entre el estado plástico y semisólido” (ASTM - D 4318, 2005).

El índice de plasticidad, representado por sus iniciales como IP, “se define como el rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se comporta plásticamente, esto es, la diferencia entre el límite líquido, LL y el límite plástico, LP” (ASTM - D 4318, 2005).

En la Tabla 26, se presentan los resultados para cada una de las muestras analizadas, el estudio de suelos completo se presenta en el Anexo 4.

Tabla 26

Límites líquidos, límite plástico e índice de plasticidad de las muestras

Sondeo	Muestra	Límite Líquido LL (%)	Límite Plástico LP (%)	Índice de Plasticidad IP (%)
S1	C1	0	0	0
	C2	0	0	0
S2	D1	0	0	0
	D2	0	0	0
S3	T1	33	25	8
	T2	31	24	7

Nota. La tabla muestra los límites líquidos, límites plásticos e índices de plasticidad de las muestras tomadas.

Clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Según la norma ASTM - D 2487 (2010), una vez determinadas las características del suelo como contenido de humedad, tamaño de las partículas, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad se puede proceder a clasificar el suelo.

En la Tabla 27, se presentan los resultados para cada una de las muestras analizadas, el estudio de suelos completo se presenta en el Anexo 4.

Tabla 27

Clasificación SUCS de las muestras

Sondeo	Muestra	Nombre del Suelo	Símbolo del Suelo
S1	C1	Arena legamosa	SM
	C2	Arena legamosa	SM
S2	D1	Arena legamosa	SM
	D2	Arena legamosa	SM
S3	T1	Limo de baja plasticidad	ML
	T2	Limo de baja plasticidad	ML

Nota. La tabla muestra la clasificación SUCS de cada una de las muestras tomadas.

Calidad del Agua

Resultados de Laboratorio

Los parámetros base tomados para el presente estudio son los parámetros ya establecidos por el Distrito Metropolitano de Quito, estos fueron analizados por Laboratorio LASA de la ciudad de Quito.

En la Tabla 28 se muestran los resultados del análisis y los límites establecidos por la Norma INEN 1108-2, el análisis completo de la muestra se encuentra en el Anexo 5.

Tabla 28

Resultados del análisis de laboratorio de la muestra de agua

Parámetros	Unidades	Valor	Límite máximo permisible NTE INEN 1108
Cloro Libre Residual	mg/l	< 0,10	0,3 a 1,5
Conductividad	µS/cm	572,8	-
pH	Unidades de pH	7,63	6,5 - 8
Turbidez	N.T.U	3,28	5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	430	< 1,1

En base a los parámetros analizados, se puede observar que los coliformes fecales no cumplen con el límite permisible establecido en la norma INEN 1108, por lo que se debería dar un tratamiento al agua antes de cualquier consumo humano.

Discusión de Resultados

En lo referente al pH, de acuerdo a los límites máximos permisibles de agua, el valor de pH para consumo humano y doméstico va de 6 a 9, para la preservación de la flora y fauna el rango es más amplio pudiendo variar entre 5 y 9. Comparando los valores obtenidos con los del estudio de diferentes quebradas cercanas a la fuente del proyecto, realizado por la Secretaría de Ambiente (2013), se puede evidenciar que los valores obtenidos en ambos casos son muy similares. Por lo anterior, el valor de pH de la zona de estudio está dentro de los límites permisibles, para sus diferentes usos.

En lo referente a coliformes fecales, la Secretaría de Ambiente (2013), señala que el causante principal de la contaminación desde el punto de vista bacteriológico es la erosión del suelo por precipitación y las prácticas agropecuarias lo que se hace evidente a través del contenido de sólidos en suspensión que lleva el agua. En ambos estudios realizados se encontraron valores similares de coliformes fecales.

Parámetros Hidrométricos

Medición de Caudal en Campo

En el aforo volumétrico realizado, para tener una mayor precisión en los resultados se tomó varias mediciones en algunos días y a diferentes horas tal como se indica en la Tabla 29.

Tabla 29*Mediciones de Caudales en la quebrada Guantopugru*

Fecha	Hora	Volumen Recipiente (l)	Tiempo de Llenado (s)	Caudal (l/s)
31/07/2021	13:10	9,46	11,01	0,86
31/07/2021	13:15	9,46	10,89	0,87
31/07/2021	13:20	9,46	11,05	0,86
06/08/2021	16:38	9,46	11,07	0,85
06/08/2021	16:40	9,46	10,88	0,87
06/08/2021	16:45	9,46	10,95	0,86
07/08/2021	17:00	9,46	10,91	0,87
07/08/2021	17:03	9,46	10,87	0,87
07/08/2021	17:05	9,46	10,96	0,86
Caudal promedio (l/s)				0,86

En la Tabla 20 se observan los resultados de las mediciones realizadas, siendo 0,86 l/s en caudal promedio del cauce principal de la microcuenca Guantopugru.

Cálculo del Caudal por el Método Racional

El método Racional es el que más usa en el diseño de obras hidráulicas para el cálculo de caudales máximos según explican Sandoval & Aguilera (2014), lo cual se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = K * C * I * A$$

En donde:

Q = Caudal máximo anual (m^3/s),

K = Valor que depende de las unidades que se utilice para expresar la intensidad I (16,67 para mm/min y 0,278 para mm/h),

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional),

I = Intensidad de precipitación (mm/h),

A = Área de la cuenca (km^2).

Para poder realizar el cálculo del caudal con el método racional se procede a determinar el coeficiente de escorrentía y las intensidades de precipitación para la cuenca de trabajo.

Coeficiente de Escorrentía. Según Chow et al. (2000) se denomina escorrentía al agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno, es decir el coeficiente de escorrentía es la relación entre la cantidad de escorrentía y la cantidad de precipitación en un tiempo determinado. El coeficiente es adimensional y presenta valores grandes para áreas con baja infiltración, y valores más pequeños para zonas permeables o con abundante vegetación.

Sandoval (2019) propone y recomienda diversos métodos para el cálculo de este coeficiente entre los cuales los más usados y los que se usaron para este proyecto son los siguientes:

- **Fórmula de Nadal.** (Ibañez et al., 2011).

$$C = 0,25 * K_1 * K_2 * K_3$$

En donde:

$$K_1 = 3,7 * A^{-0,152}$$

$$K_2 = 0,71 * \ln(P) - 3,51$$

$K_3 = 0,5$ a $0,7$ – Cuenca llana y permeable,

$K_3 = 0,5$ a $1,2$ – Cuenca ondulada y,

$K_3 = 1,2$ a $1,5$ – Cuenca montañosa e impermeable.

Según lo descrito se procede a calcular el coeficiente de escorrentía y se resume en la Tabla 30:

Tabla 30

Datos para calcular el coeficiente de escorrentía según Nadal

Área	0,85	km ²
Perímetro	5,04	km
K1	3,79	
K2	0,91	
K3	0,5	
C	0,43	

- **Fórmula de Raws.** (Ibañez et al., 2011). Se lo determina de acuerdo con la Tabla 31.

Tabla 31

Coefficiente de escorrentía según Raws

Tipo	Relieve	C
Bosque	Ondulado	0,18
	Quebrado	0,21
Pasto	Ondulado	0,36
	Quebrado	0,42
Cultivos	Ondulado	0,60
	Quebrado	0,72

Nota. Tomada de (Sandoval, Diseño de Obras Hidrotécnicas, 2019).

Analizando los resultados anteriores se tomó el coeficiente de escorrentía propuesto por Raws, ya que considera el relieve y el tipo de vegetación existente en la cuenca, es por esto que se asumió $C = 0,36$.

Intensidad de Precipitación. Para el cálculo de la intensidad de precipitación se usó la ecuación propuesta por el INAMHI. La ecuación usada en la siguiente:

$$i = 433,713 * T^{0,1955} * t^{-0,6909}$$

A continuación, se procede a calcular la intensidad asociada a un tiempo de concentración inicial de 20,80 min y para diferentes periodos de retorno como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32

Intensidades calculadas para diferentes periodos de retorno

	Periodo de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
I (mm/h)	61,02	72,99	83,58	99,98	114,49	131,10

Cálculo del Caudal. En la Tabla 33 se presentan los caudales calculados para diferentes periodos de retorno.

Tabla 33

Caudales calculados para diferentes periodos de retorno

	Periodo de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
Q (m³/s)	5,25	6,28	7,19	8,60	9,85	11,28

Según los cálculos realizados se puede observar que el caudal máximo determinado según el método racional para los diferentes periodos de retorno se mantiene por encima del caudal aforado en la época de sequía, con este análisis se puede decir que la cuenca del proyecto siempre contará con agua en su cauce principal, siendo el caudal mínimo de diseño el aforado en la fuente de abastecimiento.

Capítulo V

Diseño del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

Parámetros de Diseño

Periodo de Diseño

Se tiene como referencia la Norma Para el Estudio y Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Residuos Líquidos en el Área Rural, en donde se dice que las obras civiles referente a sistemas de agua potable, se diseñan para un periodo de 20 años y los equipos se diseñan para el periodo de vida útil dado en las especificaciones técnicas de los fabricantes (SENAGUA, 2018).

De la misma manera, según se recomienda en el Libro 4 de la norma dada por la Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2019), en infraestructuras como redes de agua potable y alcantarillado tengan un periodo de diseño de entre 10 y 20 años.

Tomando estas recomendaciones el periodo de diseño tomado para el proyecto es de 20 años.

Población Actual

La población actual de esta comunidad se obtuvo a través de una encuesta social realizada a sus habitantes, puesto que los datos que existen en el INEC detallan poblaciones de la provincia en general pero no de la comunidad en específico que se desea estudiar.

De la encuesta que se realizó en el mes de septiembre de 2021 se obtuvo como resultado que 109 personas habitan actualmente este barrio.

Población Futura

Es importante conocer cuál será la población que hará uso del agua cuando el sistema de agua potable se encuentre operando durante todos los años para la cual se escogió el periodo de diseño, es por esto que se procede a calcular la población futura.

Para determinar la población futura, la Norma para el Estudio y Diseño de Sistemas de Abastecimiento Agua Potable y Disposición de Residuos Líquidos en el Área Rural, dice que se debe emplear el método geométrico; para la tasa de crecimiento se utilizó la del área rural, tomada de la revista Analitika (2012) que fue elaborada en conjunto con el INEC, ya que este factor concuerda con la zona del proyecto:

$$P_{fg} = P_a * (1 + r)^n$$

En donde:

P_{fg} = Población futura (habitantes),

P_a = Población actual (habitantes),

r = Tasa de crecimiento geométrico de la población expresada como fracción decimal,

n = Período de diseño (años).

Por lo tanto, se tiene:

$$Pf_g = 109 * (1 + 0,0147)^{20}$$

$$Pf_g = 145,94 \approx 146 \text{ hab}$$

Recordando las recomendaciones de la norma se debe considerar que la población futura no puede ser mayor a 1,25 veces la población actual (SENAGUA, 2018).

$$Pf = 1,25 * Pa$$

$$Pf = 1,25 * 109$$

$$Pf = 136,25 \approx 137 \text{ hab}$$

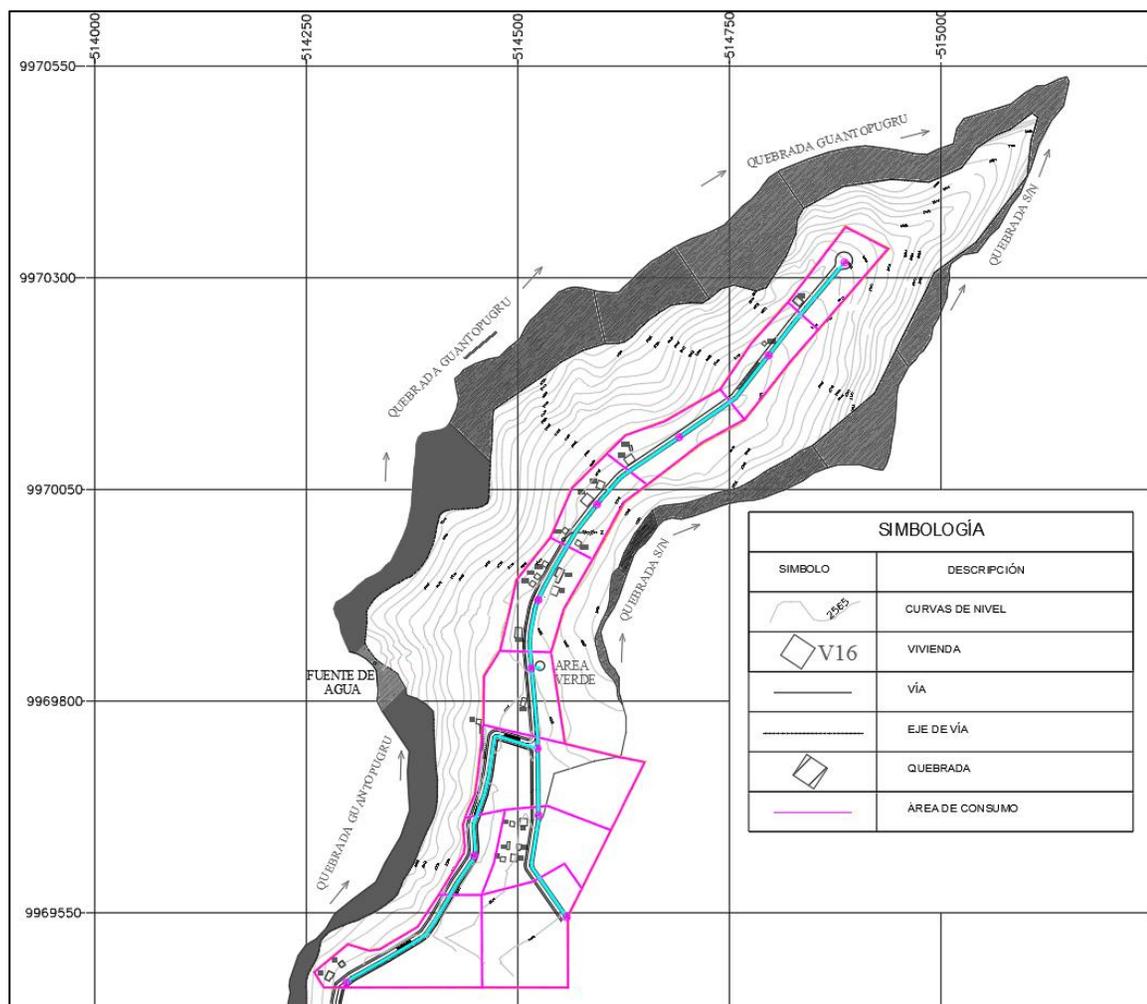
Según lo calculado se toma el menor valor y por lo tanto la población futura a beneficiarse con el desarrollo del presente proyecto será de 137 habitantes.

Distribución de las Áreas de Consumo

Para determinar la distribución de las áreas de consumo y la asignación de la demanda de cada nudo, se realizó en base a lo descrito en el Libro 13 de la norma dada por CONAGUA (2019), y fueron trazadas con ayuda del Software AutoCAD, tal como se observa en la Figura 40.

Figura 40

Distribución de áreas en el barrio Santa Anita



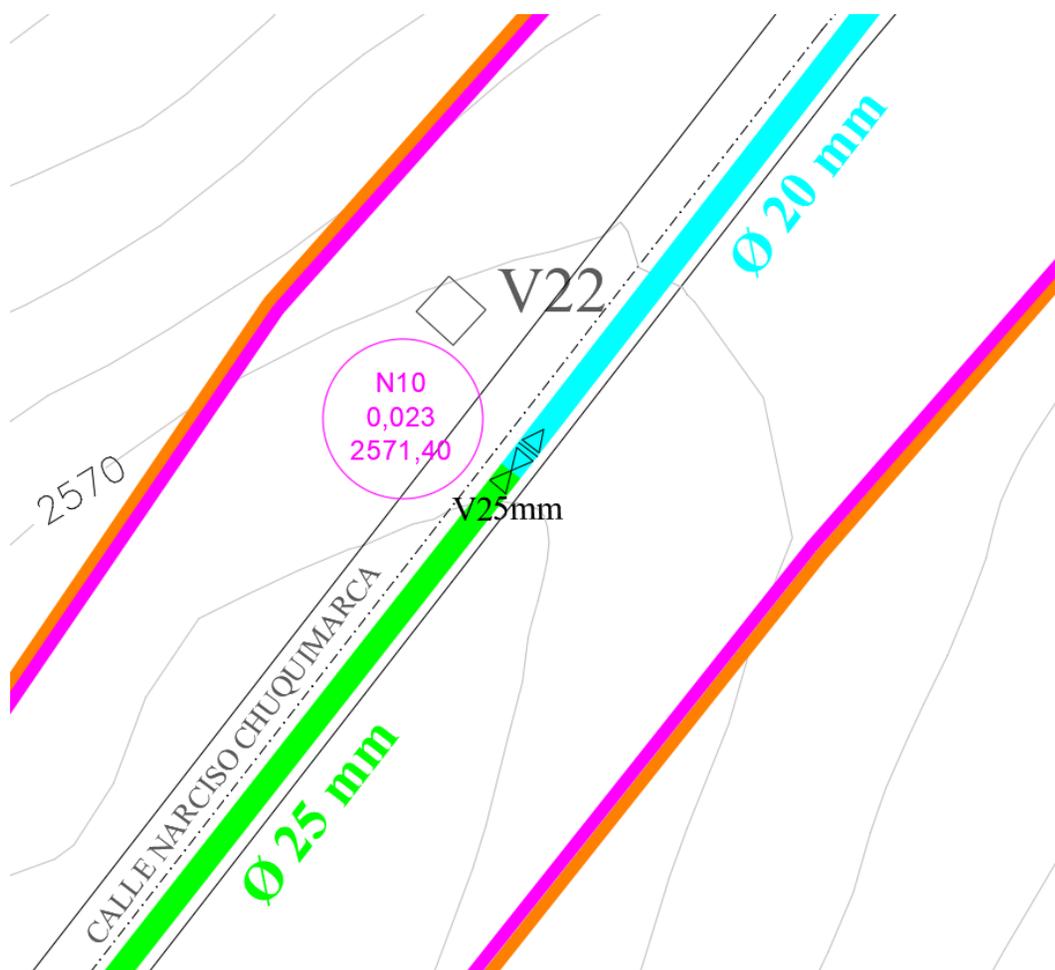
Nota. La imagen muestra el trazado de las áreas de aportación a cada nudo, en base a la asignación nodo por nodo según el Libro 13 de la norma dada por (CONAGUA, 2019).

Ubicación de los Nodos

Para determinar la mejor ubicación de los nodos de la red, se establecieron aspectos claves para el modelamiento y se tomaron en cuenta las recomendaciones de del Libro 13 de la norma dada por CONAGUA (2019), de tal forma que representen las condiciones más reales del sistema de abastecimiento a construirse, en la Figura 41 se muestra el formato usado para cada nudo junto con su respectiva nomenclatura.

Figura 41

Nomenclatura de los nodos



Nota. La imagen muestra la nomenclatura de los nodos ubicados en el plano: # nudo, caudal máximo diario, cota.

Nivel de Servicio

Para determinar el nivel de servicio se basó en la tabla 5.2 (Niveles de Servicio Para Sistemas de Abastecimiento de Agua, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos) de la norma, la misma que se puede observar en la Tabla 34.

Tabla 34

Niveles de servicio

Nivel de servicio	Sistema	Descripción
0	AP	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario
	EE	
Ia	AP	Grifos públicos
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa
	EE	Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa
	ERL	Sistema de alcantarillado sanitario

Nota. La tabla muestra los niveles de servicio. Tomada de la norma dada por (SENAGUA, 2018).

Analizando la tabla anterior se determinó que el nivel de servicio adoptado para este proyecto es el IIb-AP, debido a que en nuestro diseño se consideran conexiones domiciliarias con más de un grifo por casa.

Dotación

Dotación Básica. El clima de la comunidad es frío, ya que el barrio se encuentra en la parte sierra del país, según lo establecido en la norma y como se muestra en la Tabla 35 el nivel de servicio correspondiente al proyecto es el IIb; por lo tanto, la dotación básica correspondiente es de 75 l/hab*día.

Tabla 35

Dotaciones según niveles de servicio considerados

Nivel de servicio	Clima frío (l/hab*día)	Clima cálido (l/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
Ila	60	85
IIb	75	100

Nota. La tabla muestra las dotaciones según el nivel de servicio. Tomada de la norma (SENAGUA, 2018).

Dotación Según la OMS. Tener acceso al agua en casi todos los países del mundo está concebido como un derecho fundamental, ya que el mismo que comprende a la salud, la alimentación y la vivienda adecuada. Como se puede ver en la Tabla 36 y según la Organización Mundial de la Salud (2003), una persona necesita como mínimo 50 litros diarios de agua para satisfacer sus necesidades básicas y 100 litros para

satisfacer en su totalidad sus necesidades de manera óptima, es por esto que la dotación elegida para el proyecto es de 100 L/hab*día.

Tabla 36

Requerimientos de nivel de servicio de agua para promover la salud

Nivel de servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel de efecto en la salud
Sin acceso (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/hab/d)	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 l/hab/d)	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 l/hab/d)	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 l/hab/d)	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

Nota. Tomada de (OMS, 2003).

Fugas

Se considera como fugas en un sistema de agua potable a la cantidad no contabilizada de agua, perdida por escape del sistema. Este factor es muy importante para el cálculo de los diferentes caudales de diseño, por lo que se tomó como factor de fugas los porcentajes indicados en la Tabla 37 (SENAGUA, 2018).

Tabla 37

Porcentajes de fugas a considerarse en el diseño

Nivel de servicio	Porcentajes de fugas
la y lb	10%
IIa y IIb	20%

Nota. La tabla muestra los porcentajes de fugas a considerarse según el nivel de servicio. Tomada de la norma (SENAGUA, 2018).

Variaciones de Consumo

Caudal Medio Diario. De acuerdo a la norma es el promedio aritmético de los consumos diarios registrados en un año y fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{f * (P * D)}{86400}$$

En donde:

Q_m = Caudal medio (l/s),

f = Factor de fugas,

D = Dotación futura (l/hab*día),

P = Población al final del periodo de diseño.

$$Q_m = \frac{1,2 * (137 \text{ hab} * 100 \text{ l/hab} * \text{ día})}{86400}$$

$$Q_m = 0,19 \text{ l/s}$$

Caudal Máximo Diario. Es el caudal medio consumido por los habitantes del barrio en el día de máximo consumo y se determina multiplicando el caudal medio diario al final del periodo de diseño por un coeficiente de mayoración máximo diario (KMD) cuyo valor es de 1,25 para todos los niveles de servicio como lo dice la normativa (SENAGUA, 2018).

$$QMD = KMD * Qm$$

$$QMD = 1,25 * 0,19 \text{ l/s}$$

$$QMD = 0,24 \text{ l/s}$$

Caudal Máximo Horario. Se define como el caudal de agua consumido por los habitantes del barrio durante la hora de máximo consumo en un día y se determina multiplicando el caudal medio diario por un coeficiente de mayoración máximo horario (KMH) cuyo valor es de 3 para todos los niveles de servicio como lo dice la normativa dada por (SENAGUA, 2018).

$$QMH = KMH * Qm$$

$$QMH = 3,0 * 0,19 \text{ l/s}$$

$$QMH = 0,57 \text{ l/s}$$

Caudales de Diseño

Caudal en la Fuente de Abastecimiento. En base a las mediciones realizadas el caudal aforado fue de 0,86 l/s, y según la Norma Para el Estudio y Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Residuos Líquidos en el

Área Rural, el caudal mínimo en la fuente tiene que ser de por lo menos dos veces el caudal máximo diario, por lo que se tiene:

$$Q_{(mínimo)} = 2 * QMD$$

$$Q_{(mínimo)} = 2 * 0,24$$

$$Q_{(mínimo)} = 0,48 \text{ l/s}$$

Si se compara con el caudal de aforo y con los caudales obtenidos con el método racional para un periodo de retorno de 2 años, se puede observar que cumple con lo estipulado en la norma.

$$Q_{\text{racional}} > Q_{\text{aforo}} > Q_{\text{mínimo}}$$

$$5250 \text{ l/s} > 0,86 \text{ l/s} > 0,48 \text{ l/s}$$

Según el análisis realizado, se puede continuar con los siguientes conceptos y análisis de caudales para el desarrollo del proyecto, y así, se acepta la hipótesis inicialmente planteada.

Caudal en la Captación. El sistema de captación para el barrio Santa Anita esta abastecido por la quebrada Guantopugru, por lo que se toma el caudal de diseño de acuerdo a las especificaciones para captaciones de aguas superficiales; (numeral 4.1.6 Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes), en donde se tiene que:

$$Q = QMD + 20\%$$

$$Q = 0,24 * 1,2$$

$$Q = 0,29 \text{ l/s}$$

Debido a las condiciones del proyecto se optó por una captación tipo Coanda que facilite el ingreso del agua de la fuente sin tanto material grueso. En el apartado 5.2.1.2 de este mismo proyecto se calculó el caudal para la dicha toma, por lo que en este caso se toma como caudal de diseño el siguiente:

$$Q = 0,76 \text{ l/s}$$

Caudal en la Conducción. Según la norma dada por SENAGUA (2018), en sistemas de conducción a bombeo, y debido a que la conducción del presente proyecto se realizó mediante bombeo, el caudal de diseño se estableció en función del consumo máximo diario y el número de horas de bombeo, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q_B = 1,05 * QMD * \frac{24}{N^\circ \text{ horas de bombeo al día}}$$

En donde:

Q_B = Caudal de bombeo,

QMD = Caudal máximo diario.

$$Q_B = 1,05 * 0,24 * \frac{24}{8}$$

$$Q_B = 0,76 \text{ l/s}$$

Una vez obtenido el caudal de diseño se debe verificar que el caudal de la fuente de abastecimiento sea suficiente para satisfacer las demandas del diseño. Para lo cual se realizó el siguiente análisis:

$$Q \text{ aforo} > Q \text{ bombeo}$$

$$0,86 \text{ l/s} > 0,76 \text{ l/s}$$

Según el análisis realizado, se determinó que el caudal de bombeo es menor al caudal de la fuente de abastecimiento, por lo que se puede continuar con el cálculo de los demás parámetros de diseño.

Caudal en la Planta de Tratamiento. El caudal de diseño para la planta, de acuerdo a lo establecido en la norma (numeral 5.4 Norma Para el Estudio y Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Residuos Líquidos en el Área Rural), es el siguiente:

$$Q = QMD + 10\%$$

$$Q = 0,24 * 1,1$$

$$Q = 0,26 \text{ l/s}$$

Como el sistema de conducción es por bombeo, la planta de tratamiento se debe abastecer del mismo caudal que la conducción para mantener un caudal constante hasta el tanque de almacenamiento, es decir para este caso en específico en caudal de la planta de tratamiento será de:

$$Q = 0,76 \text{ l/s}$$

Caudal en la Red de Distribución. En el numeral 5.4 de la Norma Para el Estudio y Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Residuos Líquidos en el Área Rural, se dice que cualquiera que sea el nivel de servicio, la capacidad de la red de distribución se calculará para el consumo máximo horario

(QMH). En poblaciones rurales pequeñas no se considera el incremento de volumen contra incendios, por lo que el caudal de diseño es:

$$Q = QMH + incendio$$

$$Q = 0,57 \text{ l/s}$$

A continuación, en la Tabla 38 se muestra un resumen de todos los caudales del proyecto.

Tabla 38

Resumen de caudales de diseño

Caudales de Diseño		
Caudal en la fuente de abastecimiento	0,48	l/s
Caudal en la captación	0,76	l/s
Caudal en la conducción	0,76	l/s
Caudal en la planta de tratamiento	0,76	l/s
Caudal en la red de distribución	0,57	l/s

Nota. La tabla muestra los caudales de diseño a usarse en el proyecto.

Diseño del Sistema de Agua Potable

La fuente de agua del proyecto es una fuente superficial, que se encuentra ubicada dentro de los predios de la comunidad en estudio, por lo que el sistema a desarrollar está compuesto de las siguientes unidades:

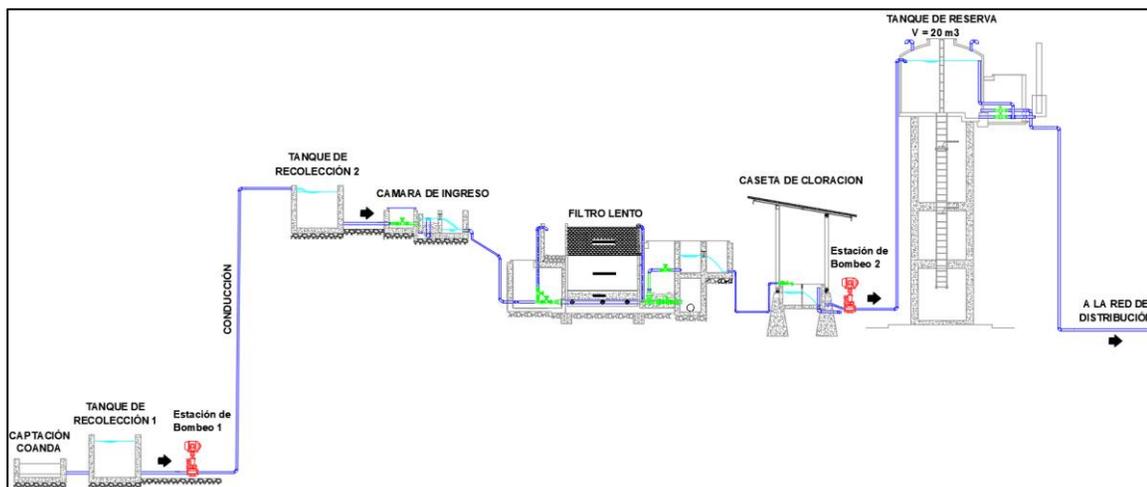
- Captación tipo Coanda, con un tanque inicial y un primer tanque de recolección de agua,

- Primera estación de bombeo ubicada después del tanque de recolección 1,
- Línea de impulsión desde la estación de bombeo hacia el segundo tanque de recolección,
- Planta de tratamiento, tanque y caseta de cloración,
- Segunda estación de bombeo ubicada después del tanque de cloración,
- Tanque de reserva elevado de PVC,
- Red de distribución a gravedad a partir del tanque de reserva elevado de PVC,
- Conexiones domiciliarias dotadas de un medidor en cada vivienda,
- Obras complementarias que involucran el cerramiento de la captación, estaciones de bombeo, planta de tratamiento y caseta de cloración, además de una línea de energía eléctrica con su respectivo transformador para las estaciones de bombeo.

Para entender mejor la distribución de los elementos del sistema de agua potable se presenta un esquema tal como se puede ver en la Figura 42.

Figura 42

Vista en perspectiva de los elementos del sistema de agua potable



Parámetros y Diseño de la Captación

Debido a que el agua proveniente de la quebrada es limpia y de baja velocidad se optó por el diseño de una captación tipo Coanda, la misma que está formada por una tubería lisa que permita el ingreso del agua de la fuente sin sedimentos, un tanque inicial y un primer tanque de recolección en donde se considera un tiempo de retención para que la misma sirva como desarenador.

Como el caudal calculado para la conducción por bombeo es mayor que el calculado para la captación, para el diseño de esta parte del sistema se tomó en cuenta el caudal de la conducción, ya que este es el caudal necesario para que la bomba funcione sin entrar en cavitación, es decir $Q = 0,76 \text{ l/s}$. El tiempo de retención se fijó en 180 minutos para que el tanque de recolección funcione como depósito para captar el volumen necesario para que trabaje la bomba, y a su vez sirva como desarenador.

Cálculo del Volumen del Tanque de Recolección 1

$$V = Q * t$$

Dónde:

V = volumen del tanque (m^3)

Q = caudal (m^3/s)

t = tiempo de retención (s)

$$V = 0,00076 \text{ m}^3/s * 10800 \text{ s}$$

$$V = 8,21 \text{ m}^3$$

Cálculo de las Dimensiones del Tanque de Recolección 1

$$V = L * b * h$$

Dónde:

L = longitud del tanque (m),

b = base del tanque (m),

h = altura del tanque (m).

Para calcular la longitud (L) del tanque nos imponemos, $b = 2,5 \text{ m}$ y $h = 1,6 \text{ m}$.

$$8,21 \text{ m}^3 = L * 2,5 \text{ m} * 1,6 \text{ m}$$

$$L = 2,05 \text{ m}$$

Por facilidades constructivas y para recolectar un volumen igual al del tanque de almacenamiento se asumió una $L = 2,50 \text{ m}$, dándonos un volumen real de $V = 10,0 \text{ m}^3$.

Diseño de la Captación Tipo Coanda. Al momento de diseñar la captación con toma tipo Coanda, se eligió una relación de $H/R = 0,1$ y un $R = 0,1 \text{ m}$, es decir, una tubería lisa de diámetro $D = 200 \text{ mm}$. Al tener en cuenta estas consideraciones en el diseño, se garantiza que la lámina de agua que sobrepasa la tubería lisa sea de una altura mínima de $H = 1 \text{ cm}$.

Según el gráfico de caudal unitario captado por una toma de agua tipo Coanda desarrollado por (Sandoval, Toma de Agua con Efecto Coanda, 2016), se visualiza que, con una relación de $H/R = 0,1$, se capta un caudal unitario de $q = 1,65 \frac{l}{s \cdot m}$; es decir que, por cada metro que se tenga de tubería lisa, se va a captar dicho caudal. Se puede reducir esta longitud cuando el caudal de diseño sea menor al unitario, en este caso debido a que, el caudal de diseño $Q = 0,76 \text{ l/s}$ es menor al unitario, se reduce la longitud de la tubería de la siguiente manera:

$$q = 1,65 \frac{l}{s} \rightarrow 1 \text{ m}$$

$$Q = 0,76 \frac{l}{s} \rightarrow 0,46 \text{ m}$$

Por lo tanto, se considera una longitud de tubería de $0,46 \text{ m}$, captando un caudal igual al caudal necesario para el bombeo, es decir $Q = 0,76 \text{ l/s}$.

Por otro lado, la tubería que recolecta el agua hacía el tanque inicial tiene un diámetro de $D = 200 \text{ mm}$ y se decidió colocarla en base a la topografía de terreno a una

pendiente del 10% para que la velocidad de circulación del agua sea la adecuada. La longitud de la tubería se estableció en 5,50 m, de esta manera, se logra que el tanque quede fuera de peligros en casos de crecidas.

Para el tanque inicial se establecieron unas dimensiones interiores de 50x50 cm, para facilitar su construcción y se seleccionó una profundidad de 30 cm desde la tubería hasta el fondo del mismo.

A continuación, se calcula el diámetro de la tubería desde el tanque inicial hasta el tanque de recolección 1, para lo cual se estableció una longitud de tubería de 3 m a una pendiente del 3%, de igual manera tomando en cuenta la topografía del terreno.

En las Figuras 43 y 44 se muestran esquemas representativos de las vistas en planta y en perspectiva del diseño de la estructura.

Figura 43

Vista en planta de la estructura de captación

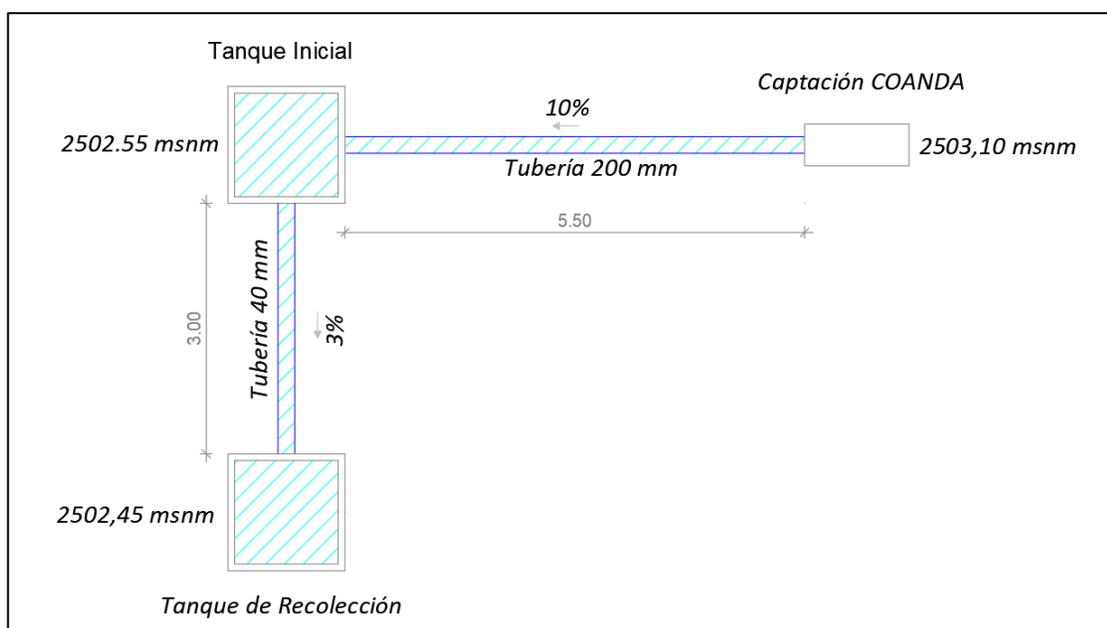
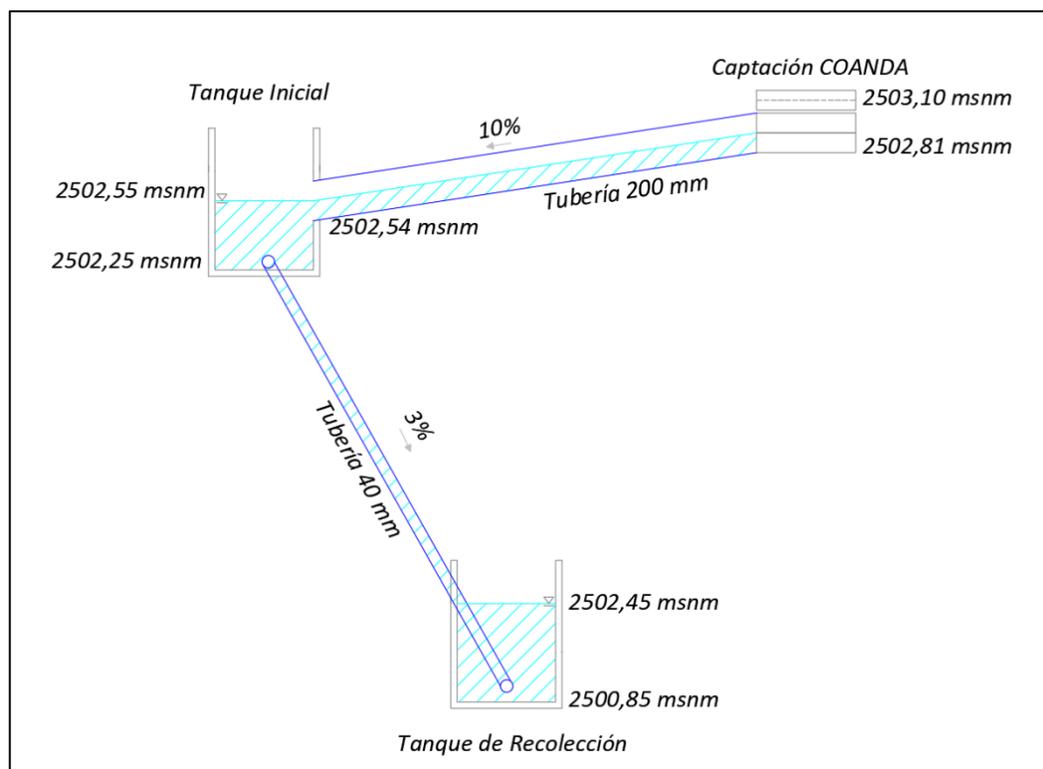


Figura 44

Vista en perspectiva de la estructura de captación



Como se observa en la Figura 44, la carga de agua desde el tanque inicial hasta el tanque de recolección 1 es de una altura de $H = 0,10 \text{ m}$. Con esto se debe calcular el factor de gasto, como se indica a continuación:

$$H = \frac{Q^2}{K^2} * L$$

$$K = Q * \sqrt{\frac{L}{H}}$$

$$K = 0,00076 * \sqrt{\frac{3,00}{0,10}}$$

$$K = 0,0041$$

Para escoger el diámetro de la tubería también se debe calcular el factor F:

$$K = \frac{F}{n}$$

$$F = K * n$$

$$F * 10^3 = 0,0041 * 0,009 * 10^3$$

$$F * 10^3 = 0,037$$

Se escoge el diámetro $D = 40 \text{ mm}$ según la tabla de factor de gasto propuesta por (Sandoval, Principios de la Hidráulica 2, 2013), dado que, es el valor que más se aproxima con $F * 10^3 = 0,058$. En la Figura 45 se indica un esquema de las partes que conforman en si la captación con toma de agua tipo Coanda.

Figura 45

Esquema de captación tipo Coanda



Nota. La imagen muestra las diferentes partes de una captación con toma tipo Coanda.

Tomada de (Sandoval, Toma de Agua con Efecto Coanda, 2016).

Parámetros de la Línea de Conducción (Impulsión)

La conducción fue diseñada tomando en cuenta el concepto de conducción forzada, los parámetros a considerar para el diseño de la conducción se tomaron de la Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos sólidos en el área rural que indica lo siguiente:

- El tipo de conducción en este caso se será por bombeo debido a la diferencia de nivel entre la fuente de abastecimiento y la población.
- La presión dinámica mínima será de 5 m.c.a. en la línea de conducción.

- Se debe considerar que la presión de trabajo a lo largo de toda la tubería, no supere la especificada por el fabricante.
- Para el diseño se tomaron en cuenta las presiones estáticas, dinámicas y las sobrepresiones provocadas por el golpe de ariete.
- El diámetro mínimo de las tuberías en línea de conducción fue mayor a 25 mm.

Estación de Bombeo 1. La estación de bombeo está compuesta por las siguientes unidades:

- El equipo de bombeo,
- La línea de impulsión,
- Piezas complementarias o de acople,
- Edificación de protección.

La estación está ubicada después del primer tanque de recolección. El volumen de agua bombeado en exceso durante los horarios de menor demanda será almacenado para ser utilizado en los horarios de mayor demanda.

Se ha previsto la construcción de una caseta de para proteger el equipo de bombeo de las condiciones climáticas, contaminación y manipulación de personas no autorizadas. La estación debe tener iluminación suficiente y debe estar ventilada adecuadamente, además, debe contar con el espacio necesario para el montaje y desmontaje de la bomba, ubicación de tuberías, accesorios y colocación del tablero de control eléctrico.

Diseño de la Bomba de Agua. El cálculo de la potencia de la bomba y del motor se realizó en base a las Guías Para el Diseño de Estaciones de Bombeo de Agua

Potable de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005), para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$Pb = \frac{Qb * Hb}{76}$$

En donde:

Pb = Potencia de la bomba y del motor (HP),

Qb = Caudal de bombeo (l/s),

Hb = Altura manométrica total (m).

El caudal de bombeo a considerar debe ser suficiente para dar abastecimiento a la planta de tratamiento y posteriormente al tanque de almacenamiento, es decir: $Q = 10 \text{ m}^3/h$ y la altura a la que se debe bombear el agua es de $H = 80 \text{ m}$.

$$Pb = \frac{2,78 \text{ l/s} * 80 \text{ m}}{76}$$

$$Pb = 2,93 \text{ HP}$$

Según lo calculado se necesita una bomba de 3 HP, por lo que se procede a analizar los catálogos de bombas existentes en las casas comerciales del país, en donde se encontró que la mejor bomba para dar abasto a este proyecto es una bomba centrífuga de la marca GRUNDFOS, en la Tabla 39 se dan algunas características de la misma y en el Anexo 6 se presentan todas las especificaciones técnicas de la misma.

Tabla 39*Características de la bomba seleccionada*

Tipo	CR-10-9	
Caudal nominal	12,1	m ³ /h
Altura nominal	107,1	m
Potencia	7,3	HP

Cálculo del Tiempo de Vaciado del Tanque de Recolección 1. El cálculo del tiempo que demora en vaciarse el tanque de recolección con la nueva capacidad de bombeo, dada por el fabricante, se realiza de la siguiente manera:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{10 \text{ m}^3}{12,1 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$t = 0,83 \text{ h} \approx 50 \text{ min}$$

Según lo calculado el tiempo de funcionamiento de la bomba es de 50 min para evitar que entre en cavitación.

Diámetros de Tubería y Presión de Trabajo. El diámetro de la tubería de conducción fue seleccionado en base a las especificaciones del fabricante de la bomba de agua, para este caso en específico el diámetro de las conexiones y de la tubería es de 40 mm y la presión a la presión máxima que soporta es de 240 psi (168,74 m.c.a.).

Con el diámetro de la tubería seleccionado se garantiza que el sistema de conducción trabaje sin problemas llevando el agua desde el tanque de recolección 1 hasta el tanque de recolección 2.

Parámetros de la Planta de Tratamiento

Como se indica en la Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos sólidos en el área rural, la capacidad de la planta de tratamiento será de 1,10 veces el caudal máximo diario al final del periodo de diseño, pero en este caso al ser una conducción por bombeo y para dar un abastecimiento constante al tanque de almacenamiento se toma el caudal de la conducción, es decir 0,76 l/s; en donde además la norma señala que para cualquier tipo de agua se tomará la desinfección como tratamiento mínimo.

Análisis de la Calidad de Agua Cruda. Para determinar las características del agua que se utilizó en el diseño del sistema de agua potable del barrio Santa Anita se ha tomado una muestra procedente de la fuente de abastecimiento.

En los resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de la muestra, se observa que el agua presenta un elevado nivel de coliformes fecales que no cumplen con los parámetros establecidos en la norma.

Selección de la Tecnología para Tratamiento de Agua Cruda. El agua tomada de la quebrada presenta un nivel de 430 NMP/100 ml de coliformes fecales, por lo que se puede observar en la Tabla 40 de la norma dada por SENAGUA (2012), solo exige métodos convencionales de tratamiento.

Tabla 40*Calidad bacteriológica*

Clasificación	NMP/100 ml de Bacterias Coliformes (*)
a) Exige solo tratamiento de desinfección	0 – 50
b) Exige métodos convencionales de tratamiento	50 – 5000
c) Contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos.	5000 – 50000
d) Contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales. Estas fuentes se utilizarán solo en casos extremos.	más de 50000

(*) Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el índice NMP pertenecen al grupo coliforme fecal, habrá que incluir la fuente de agua en la categoría próxima superior respecto al tratamiento necesario.

Nota. La tabla muestra la clasificación de los tratamientos de agua. Tomada de la norma (SENAGUA, 2012), numeral 5.2.3 Tabla IV.

Así mismo, de acuerdo a la misma norma y como se puede observar en la Tabla 41 para aguas subterráneas o superficiales provenientes de cuencas no protegidas, el tratamiento que se le dio al agua según los niveles de turbiedad medidos es la filtración lenta.

Tabla 41*Tratamientos probables*

Características del Agua	Tratamiento Probable
Turbiedad media < 10 UNT NMP < 1000 col/100 ml	Filtración lenta
Turbiedad media < 50 UNT NMP < 1000 col/100 ml	Filtración lenta con pretratamiento
Turbiedad media < 150 UNT NMP < 5000 col/100 ml	Filtración lenta con sedimentación simple y pretratamiento

Nota. La tabla muestra los tratamientos probables del agua. Tomada de la norma (SENAGUA, 2012), numeral 4.1.8.2 Tabla VI.

Según el análisis realizado en el laboratorio indica que el agua a usar en el proyecto presenta el problema que contiene coliformes fecales, por lo que el tratamiento seleccionado para eliminar los mismos son los filtros lentos de arena, que a su vez también reducen los niveles de turbiedad, dejando al agua tratada lista para finalmente concluir con la desinfección por medio de la adición de cloro.

Estructura de la Planta de Tratamiento. Según todos los análisis realizados anteriormente la planta de tratamiento está formada por los siguientes elementos:

- Tanque de recolección 2,
- Filtro lento de arena,
- Caseta de cloración (desinfección),
- Estación de bombeo 2,

- Tanque de almacenamiento.

Tanque de Recolección 2. Por ser el tanque que recolecta el agua proveniente de la conducción por bombeo tiene la misma capacidad y las mismas dimensiones del tanque de recolección 1, es decir un volumen igual a $V = 10,0 \text{ m}^3$.

Diseño del Filtro Lento de Arena. Dentro del diseño se debe considerar un filtro lento de arena, debido a que se necesita limpiar la mayoría de contenidos de coliformes fecales, y a su vez reducir los sólidos en suspensión y la presencia de metales.

El diseño de los filtros en general, está compuesto por un tanque con un lecho de arena fina colocada sobre una camada de grava, que conforman el medio de soporte y de transición. Los fondos de un filtro cuentan con un sistema de drenaje conformado por ladrillos o bloques porosos. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$Q_d = 0,76 \text{ l/s}$$

- **Cálculo del nivel del agua sobre el vertedero rectangular de pared gruesa (entrada)**

$$H = \left(\frac{Q_e}{M * b} \right)^{2/3}$$

b = Longitud de la cresta del vertedero (m) = 1,00 m.

M = Coeficiente para vertedero de pared gruesa = 1,84

$$H = 0,0055 \text{ m} = 0,55 \text{ cm}$$

La altura de agua sobre el vertedero de entrada debe ser 0,55 cm para que ingrese el caudal requerido.

- **Cámara de Filtración**

El caudal a filtrar será el 65% del caudal de la planta.

$$Q_f = 0,49 \frac{l}{s} = 1,78 \frac{m^3}{h}$$

Según las normativas vigentes, la tasa de filtración recomendada debe estar entre 0,1 y 0,2 m/hora o sea 2,4 a 4,8 m³/m²/día.

Área de cámara de filtración:

$$A_f = \frac{Q_d * 65\%}{Tf \text{ adoptada}}$$

$$A_f = 8,89 \text{ m}^2$$

Para la construcción del filtro se consideró un tanque de hormigón circular, debido a que son los más comunes y los más utilizados por su bajo costo de fabricación con respecto a otro tipo de estructuras.

Para diseñar el filtro de ferrocemento circular, su área se calculó con la fórmula:

$$A_f = \frac{\pi * \emptyset^2}{4}$$

$$\emptyset = 3,36 \text{ m}$$

Se asume un diámetro del filtro igual a 3,5 m.

Área del filtro: $A_f = 9,62 \text{ m}^2$.

- **Sistema de Drenaje y Recolección de Agua Filtrada**

Caudal por filtrar: $Q_f = 1,78 \text{ m}^3/h$

La velocidad de filtración (V_f) debe estar comprendida en el rango de 0,10 -0,20 m/h:

Velocidad de filtración = Q/A

$$V_f = 0,18 \text{ m/h}$$

Diámetro de cada orificio (adoptado) = 10 mm

Área de cada orificio (A_o) = $7,85 \text{ E} - 05 \text{ m}^2$

Velocidad en cada orificio (V_o) = 0,1 m/s (adoptada).

El caudal de ingreso en cada orificio (Q_o) se calculó con:

$$Q_o = A_o * V_o$$

$$Q_o = 7,85 \text{ E} - 06 \text{ m}^3/s$$

Nº de orificios = Caudal filtrado / caudal en cada orificio

Nº de orificios = Q_f / Q_o

Nº de orificios = 62,90

Se asume 63 orificios con un espaciamiento de 15 cm cada uno.

Asumimos 12 laterales, seis a cada lado del colector principal.

Calculamos el caudal que ingresa al lateral de mayor longitud.

Lateral central $L = 1,55$ m. N° de orificios = 10

Caudal que ingresa en el lateral = N° orificios x Q_0

Caudal que ingresa en el lateral = $7,85 E - 05 m^3/s$

La velocidad en la tubería no debe ser mayor a 0,50 m/s.

Velocidad adoptada = 0,2 m/s.

Área del tubo lateral = $Q / V = 0,00039 m^2$

Calculamos el diámetro interior del tubo lateral = 20 mm

Se asume tubería de diámetro = 40 mm x 1,25 Mpa

Diámetro int. = 36,8 mm

Área = $0,0011 m^2$

Comprobamos la velocidad de circulación con este diámetro:

$V = 0,074$ m/s, este resultado es menor a 0,50 m/s, se acepta.

Comprobamos la velocidad en el lateral del extremo:

Lateral del extremo $L = 1,25$ m. N° de orificios = 8

Caudal en el lateral = $6,28 E - 05 m^3/s$

Área del Lateral = $0,0011 m^2$

Velocidad = 0,059, m/s es menor que 0,50 m/s, se acepta.

- **Cálculo del colector central**

Velocidad adoptada = 0,20 m/s.

Área del colector = $QL / V = 0,0024 \text{ m}^2$

Diámetro interior del colector = 0,056 m = 40,76 mm

Se asume tubería de diámetro = 63 mm x 1,00 Mpa.

Diámetro int. = 58,0 mm

Área = 0,0026 m²

Comprobamos la velocidad de circulación con este diámetro:

$V = 0,19 \text{ m/s}$, es menor que 0,50 m/s, se acepta.

Resumen:

Número de laterales = 12, (6 a cada lado)

Longitud de cada lateral 1 = 1,55 m. Son 4 laterales.

Longitud de cada lateral 2 = 1,15 m. Son 8 laterales.

Perforaciones por c/lateral = 10 en el lateral N° 1.

Un par de orificios, cada 15,00 cm.

Perforaciones por c/lateral = 8 en el lateral N° 2.

Un par de orificios, cada 15,00 cm.

Diámetro de perforación = 10 mm.

- **Material Filtrante**

De acuerdo a las especificaciones técnicas dadas por las normas para filtros lentos, se indica que el material a usar como lecho filtrante debe cumplir con las siguientes características, tal como se puede ver en la Tabla 42:

Tabla 42*Espesores de capas de materiales filtrantes*

Posición en el lecho	Espesor de capa (m)	Diámetro (mm)
Borde libre sin agua	0,20	
Altura de agua	0,80	
Capa de arena	1,00	0,15 – 0,35 coef. uniform. < 3
Capa de soporte		
1º capa	0,10	1,00 – 2,40
2º capa	0,10	4,00 - 5,60
3º capa	0,15	16,00 - 23,0
Altura total del FLDA	2,35	

- **Cálculo de las Pérdidas de Carga**

$$h_f = \frac{0,00608 * V * L_0}{d^2}$$

En donde:

h_f = Pérdida en el lecho filtrante, en (cm),

d = Diámetro de las partículas del material filtrante en (cm),

V = Velocidad de filtración, en cm/s,

L_0 = Espesor o altura de la capa filtrante.

Arena seleccionada

Lo (espesor de la capa) = 100 cm

d (diámetro efectivo arena) = 0,015 cm

$$h_{f1} = 15,13 \text{ cm}$$

Primera capa de soporte

L (espesor de la capa) = 10,0 cm

d (diámetro efectivo grava) = 0,20 cm

$$h_{f2} = 0,0085 \text{ cm}$$

Segunda capa de soporte

L (espesor de la capa) = 10,0 cm

d (diámetro efectivo grava) = 0,50 cm

$$h_{f3} = 0,0013 \text{ cm}$$

Tercera capa de soporte

L (espesor de la capa) = 15,0 cm

d (diámetro efectivo grava) = 1,6 cm

$$h_{f4} = 0,00020 \text{ cm}$$

$$H_t = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{f4}$$

$$H_t = 15,14 \text{ cm en los orificios.}$$

- **Fórmula de Torricelli**

$$H_o = \frac{Q^2}{Cd^2 * A^2 * 2 * g}$$

Dónde:

H_o = Pérdida de carga en orificios,

C_d para orificios: 0,60

A_o = Área de cada orificio: $7,85 E - 05 m^2$

Número de orificios = 63

A = área total de orificios = $4,95 E - 03 m^2$

g = aceleración de la gravedad: $9,81 m/s^2$

Q = Caudal a filtrarse: $Q_f = 0,49 l/s$

$$H_o = 0,0014 m$$

Pérdida total:

$$HT = H_t + H_o$$

$$HT = 15,15 cm$$

- **Cálculo de la Tubería de Entrada al Filtro**
- **Cálculo del número de orificios**

$$Q_f = C_d * A * \sqrt{2 * g * h}$$

Asumimos una carga $h = 0,20 m$.

$$A = \frac{Q_f}{C_d * \sqrt{2 * g * h}}$$

$$A = 0,00042 m^2$$

Imponemos el diámetro del orificio $D_o = 8 \text{ mm}$.

$$A_o = 5,03 E - 05 \text{ m}^2$$

Nº orificios = A / A_o

Nº orificios = 1,01

Nº orificios adoptado = 45

Caudal en cada orificio $q = Q / \text{Nº orificios} = 0,01 \text{ l/s}$

La tubería de entrada al filtro lento será de 63 mm con 45 orificios cada 10 cm.

Longitud del neplo de entrada es = 4,55 m.

El detalle completo del filtro lento se encuentra en el Anexo 7.

Cloración. La cloración del agua se realiza una vez que esta haya terminado su pasado a través del filtro lento, únicamente después de este proceso pasará directamente a la caseta de cloración para ser almacenada y a la vez dar el tratamiento respectivo.

Para el cálculo del volumen de agua desinfectar se debe considerar el agua consumida por la población durante un día:

$$V = Q_{\text{diseño}} * t$$

$$V = 0,76 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 86400 \frac{\text{s}}{\text{día}}$$

$$V = 65664,0 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

Para realizar una correcta desinfección del agua se aplicó el compuesto químico conocido como hipoclorito de calcio, el mismo que se coloca en el tanque antes de ser

bombeario hacia el tanque de almacenamiento. La dosificaci3n se realizar1 de tal manera que se pueda llevar un valor de cloro residual hacia los puntos m1s lejanos de la red de entre 0,10 y 0,50 mg/l.

Para el caso de estudio, el agua a la que se le aplicar1 cloraci3n proviene de un proceso de filtraci3n, por lo que se utiliz3 una dosificaci3n de 2,5 mg/l.

Por lo tanto, la dosis total de cloro necesaria ser1 de:

$$D = 2,5 \frac{mg}{l} + 0,3 \frac{mg}{l} = 2,8 \text{ mg/l}$$

Para calcular la cantidad de hipoclorito de calcio necesaria se procedi3 de la siguiente manera, tomando en consideraci3n que este compuesto se comercializa en presentaci3n s3lida, con una concentraci3n del 70%:

$$P = \frac{V * D}{C}$$

$$P = \frac{65664,0 \frac{l}{d\acute{a}a} * 2,8 \frac{mg}{l}}{0,7}$$

$$P = 262,66 \frac{gr}{d\acute{a}a}$$

Se debe garantizar que la mezcla del agua con el cloro se realice correctamente, por lo que se ha decidido ubicar el hipoclorador dentro del tanque de recolecci3n que recoge el agua proveniente del filtro lento. El tiempo de retenci3n para lograr una correcta desinfecci3n se cumple, ya que el agua que llega del filtro lento al tanque de recolecci3n se demora en vaciar m1s de 15 minutos, con lo que se asegura una buena desinfecci3n.

Considerando que el proceso de cloración se realiza durante las horas de bombeo, el contenido del hipoclorador será adicionado al tanque de cloración durante ese tiempo.

Los detalles constructivos y accesorios necesarios se encuentran en los planos en el Anexo 7.

Estación de Bombeo 2. La estación de bombeo 2 está compuesta por las siguientes unidades:

- El equipo de bombeo,
- La línea de impulsión,
- Piezas especiales o complementarias.

La estación está ubicada después del tanque de cloración. Los excesos de agua bombeada durante los horarios de menor demanda pueden ser almacenados en el tanque elevado.

Se ha previsto la construcción de una caseta de para proteger el equipo de bombeo de las condiciones climáticas, contaminación y manipulación de personas no autorizadas. La estación debe tener iluminación suficiente y debe estar ventilada adecuadamente, además, debe contar con el espacio necesario para el montaje y desmontaje de la bomba, ubicación de tuberías, accesorios y colocación del tablero de control eléctrico.

Diseño de la Bomba de Agua 2

El cálculo de la potencia de la bomba y del motor se realizó en base a las Guías Para el Diseño de Estaciones de Bombeo de Agua Potable de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005), para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$Pb = \frac{Qb * Hb}{76}$$

En donde:

Pb = Potencia de la bomba y del motor (HP),

Qb = Caudal de bombeo (l/s),

Hb = Altura manométrica total (m).

El caudal de bombeo a considerar debe ser suficiente para dar abastecimiento al tanque de almacenamiento, es decir: $Q = 10 \text{ m}^3/h$ y la altura a la que se debe bombear el agua es de $H = 7 \text{ m}$.

$$Pb = \frac{2,78 \text{ l/s} * 7 \text{ m}}{76}$$

$$Pb = 0,25 \text{ HP}$$

Según lo calculado se necesita una bomba de $\frac{1}{4}$ HP, pero para dar continuidad al sistema se usó la misma bomba de la estación de bombeo 1, con la finalidad de poder bombear un caudal mayor en un tiempo reducido para siempre tener lleno el tanque de almacenamiento en los periodos de máximo consumo.

Cálculo del Tiempo de Vaciado del Tanque de Cloración

El cálculo del tiempo que demora en vaciarse el tanque de cloración con la nueva capacidad de bombeo, dada por el fabricante, se realiza de la siguiente manera:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{10 \text{ m}^3}{12,1 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$t = 0,83 \text{ h} \approx 50 \text{ min}$$

Según lo calculado el tiempo de funcionamiento de la bomba se encuentra cerca de una hora, por lo que puede funcionar sin problemas según el requerimiento del tanque de almacenamiento.

Diámetro de la Tubería

El diámetro especificado por el fabricante de la bomba es de 40 mm, con esto se garantiza que la estación de bombeo trabaje sin problemas llevando el agua desde el tanque de cloración hasta el tanque de almacenamiento.

Diseño del Tanque de Almacenamiento. De acuerdo al capítulo 6, numeral 5.5 de la Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos sólidos en el área rural, la capacidad del tanque de almacenamiento debe ser del 50% del volumen medio diario futuro y no debe ser inferior a 10 m³.

Para el cálculo del volumen del tanque de almacenamiento se consideró lo siguiente:

$$V = 0,5 * \left(Qm * \frac{86400}{1000} \right)$$

Donde:

Qm = caudal medio diario (m^3/s)

$$V = 0,5 * \left(0,19 * \frac{86400}{1000} \right)$$

$$V = 8,21 m^3$$

El volumen del tanque de almacenamiento calculado es menor al estipulado en la norma, por lo que se tomó un volumen de 20 m^3 recomendado para el diseño, ya que al momento de realizar el modelamiento en EPANET este volumen fue el requerido para que el sistema trabaje sin problemas durante el análisis dinámico.

Por facilidades constructivas y por economía de la comunidad se eligió un tanque de PVC de capacidad de 20 m^3 . Se optó por un tanque de almacenamiento elevado, ya que con el mismo se logra un diseño óptimo de distribución a gravedad, el mismo que vuelve económico al sistema de distribución y se mantiene las presiones adecuadas a lo largo de todos los puntos de la red, con diámetros de tuberías económicos.

El tanque se ubicó justo después de la caseta de cloración que coincide con la zona central del barrio y por estar en un terreno comunitario, desde donde se distribuirá a gravedad a la red de distribución, con lo que se consiguen pérdidas de carga uniformes en cualquier dirección de la red, esto debido a que la topografía de la zona es plana.

Cálculo de la Altura de la Torre para el Tanque Elevado

Analizando las características topográficas de la zona de estudio, se determinó que esta es una zona plana, por lo tanto, el almacenamiento será ubicado lo más cerca posible de la población y del centro de gravedad de la demanda, en el lugar cuya topografía minimice el costo, tanto de la reserva como de la red de distribución (SENAGUA, 2012, p. 259). También es importante que: “en lo que se refiere a presión, se establece un mínimo de 5 m de columna de agua en los puntos y condiciones más desfavorables de la red” (SENAGUA, 2012, p. 264).

Para determinar la altura de la torre para el tanque elevado se asumió una elevación desde el nivel del terreno hasta el fondo del reservorio, lo que constituye la altura de la torre donde se asienta el tanque, en este caso se tomó 6 metros para empezar a realizar el análisis.

Luego de definir la geometría de la red, ubicar los nodos, determinar el caudal de aportación de cada nudo y de asumir diámetros mínimos de la tubería principal, se procede a ingresar los datos en el programa EPANET. El cálculo se realizó con el consumo máximo diario.

Luego de correr el programa se observa hay que cambiar los diámetros de las tuberías por unos de mayor tamaño para cumplir con las presiones y velocidades recomendadas. Los valores calculados para la presión en los diferentes nodos pueden variar al momento de realizar el cambio de diámetros de tuberías para optimizar el sistema de la red, pero estos no son de mayor significancia, por lo que la altura de 6 m para la torre del tanque es la adecuada para el proyecto, los valores de diámetros, presiones y velocidades se detallan más adelante.

Parámetros de la Red de Distribución

La Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos sólidos en el área rural da las siguientes pautas para el diseño de la red de distribución:

- La red de distribución se diseñó para el caudal máximo diario.
- El diseño de la red solamente está conformado por ramales abiertos.
- Las presiones que debe cumplir son las siguientes:
 - Presión estática máxima: 70 m.c.a.
 - Presión dinámica máxima: 50 m.c.a.
 - Presión dinámica mínima: 5 m.c.a.
- El diámetro nominal mínimo de las tuberías que conforman la red será de 19 mm es decir de $\frac{3}{4}$ ".
- La red contará con válvulas que permitirán independizar sectores para su operación o mantenimiento, esto sin que se suspenda el servicio a todo el barrio.
- La localización de las tuberías principales y secundarias fue ubicada en los costados norte y este de las calzadas.
- Las tuberías de agua potable, deberán estar separadas de las de alcantarillado por lo menos 3 m horizontalmente y 30 cm verticalmente, entre sus superficies exteriores.
- Las tuberías deberán estar instaladas a una profundidad mínima de 1 m sobre la corona del tubo.

Conexiones Domiciliarias. Para las conexiones domiciliarias se deberá tomar en cuenta los siguientes parámetros que la norma indica para un correcto diseño y funcionamiento de las mismas:

- Las conexiones deberán ser una por vivienda.
- La conexión deberá estar formada por todos los elementos necesarios para que se conecten perfectamente a la tubería principal y debe además ser económicamente accesible al medio rural.
- Los medidores deberán estar en lugares seguros y de fácil acceso.

Modelamiento del Sistema

Para el modelamiento del sistema se utilizó el software libre EPANET. En lo referente a la geometría de la red (longitudes de tubería, válvulas, etc.) se modeló en función de la topografía realizada, esto con la ayuda del software EPACAD que permite exportar la red desde AutoCAD hacia el EPANET, teniendo en cuenta todas las recomendaciones y cuidados para un correcto proceso. Cabe recalcar que las expresiones utilizadas para el cálculo de las pérdidas por fricción son las de Hazen-Williams.

Para tener una correcta interpretación de cómo funciona el sistema fue necesario dividirlo en dos partes, la primera que abarca al sistema de conducción por bombeo y la segunda que corresponde a la red de distribución que se realizó por gravedad desde el tanque de almacenamiento hacia las viviendas. La tubería usada es de PVC con una rugosidad de 0,0015.

Cotas en los Nodos

Se tomo la consideración que, a las cotas de los nodos del sistema, se les reste 1,00 m, que corresponde a la profundidad a la que se colocaron las tuberías matrices, tal como se indica en la Tabla 43.

Tabla 43

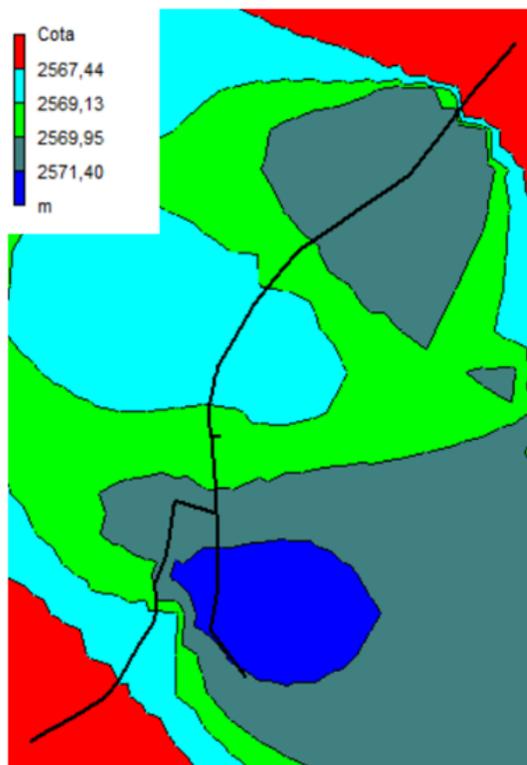
Cotas de nodos

N° Nodo	Ubicación			Área (m ²)
	Este	Norte	Elevación	
1	514297,13	9969467,48	2561,51	13365,49
2	514557,76	9969544,97	2574,12	13112,54
3	514448,41	9969617,40	2568,88	4192,09
4	514524,64	9969665,07	2573,84	9771,99
5	514523,31	9969744,07	2569,95	15619,22
6	514515,91	9969838,90	2569,82	8154,99
7	514524,14	9969919,49	2567,44	8140,19
8	514593,56	9970032,31	2569,13	6676,53
9	514690,61	9970111,69	2570,91	7275,64
10	514796,44	9970208,39	2571,40	6329,84
11	514886,14	9970318,11	2550,98	6088,00

En la Figura 46 se encuentran representadas las cotas correspondientes a cada nodo del sistema.

Figura 46

Mapa de Contorno-Cotas del proyecto



Nota. El gráfico muestra los rangos de altura de todo el proyecto agrupados por intervalos iguales y cada uno con un color diferente. EPANET, genera isolíneas, similares a las curvas de nivel.

Demandas Bases y Caudales en los Nodos

Las demandas base de cada uno de los nodos del sistema se indican en la Tabla 44, las mismas que son ingresadas en el programa EPANET, se utilizó el caudal máximo diario en el modelamiento.

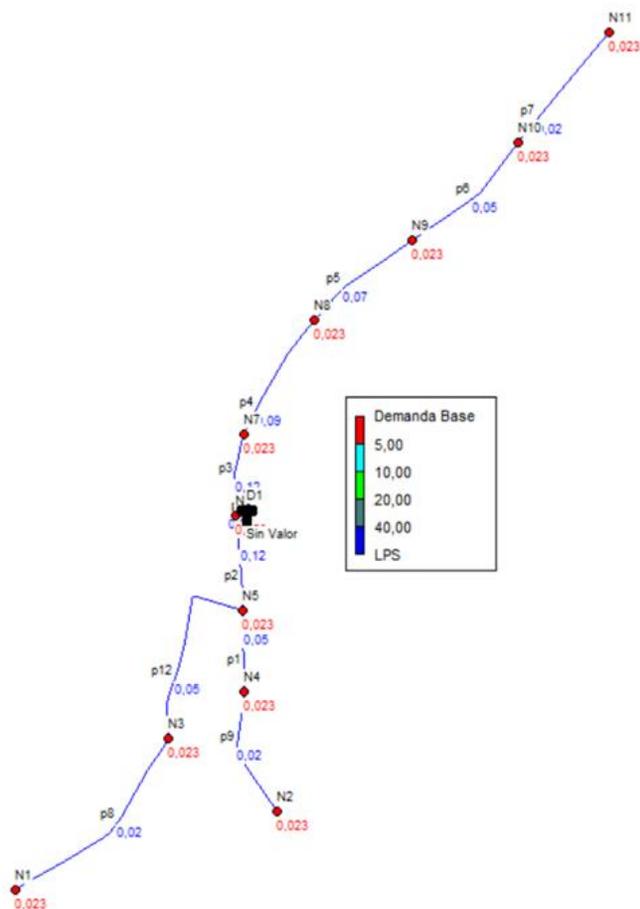
Tabla 44*Caudales en nodos*

N° Nodo	Área (m²)	Población (Hab)	Caudal Medio (l/s)	Caudal Máximo Diario (l/s)	Caudal Máximo Horario (l/s)
1	13365,49	13	0,018	0,023	0,054
2	13112,54	13	0,018	0,023	0,054
3	4192,09	13	0,018	0,023	0,054
4	9771,99	13	0,018	0,023	0,054
5	15619,22	13	0,018	0,023	0,054
6	8154,99	13	0,018	0,023	0,054
7	8140,19	13	0,018	0,023	0,054
8	6676,53	13	0,018	0,023	0,054
9	7275,64	13	0,018	0,023	0,054
10	6329,84	13	0,018	0,023	0,054
11	6088,00	13	0,018	0,023	0,054

En la Figura 47 se encuentran representadas las demandas correspondientes a cada nodo del sistema.

Figura 47

Demanda base en cada nodo del sistema



Nota. El gráfico muestra la demanda base correspondiente a cada nodo del sistema, identificada por una paleta de colores.

Modelamiento del Sistema de Distribución

Se modeló el sistema de distribución, el mismo que debe cumplir con los valores de presiones y velocidades admisibles como especifica la norma dada por SENAGUA (2018).

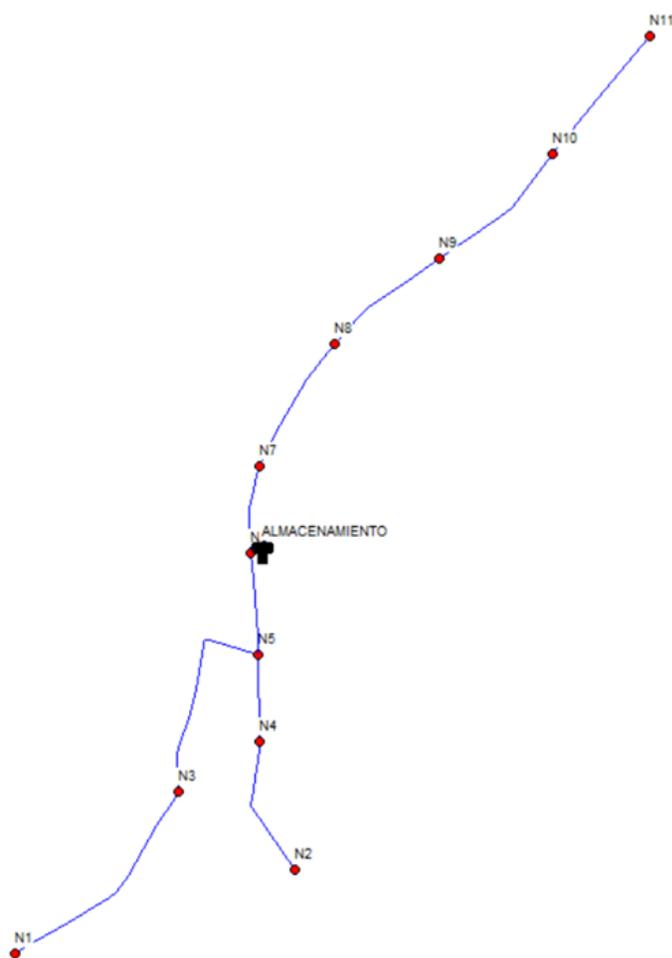
El tanque de almacenamiento es un tanque elevado y se encuentra a una altura de 2574,46 msnm, para después hacer una distribución del agua potable por gravedad.

Trazado de la Tubería

El trazado de la tubería, se indica en la Figura 48, y se lo realizó desde el tanque de almacenamiento hasta los nodos más alejados de la tubería. La tubería está enterrada a una profundidad de 1m.

Figura 48

Trazado de la tubería de la red de distribución



Análisis en Estado Estático. Para la corrida del sistema en estado estático, se tomó el caudal máximo, el cual representa al caudal que circula por las noches en la red.

Presiones Calculadas en EPANET

En la Figura 50 y en la Tabla 45 se indican las presiones calculadas del sistema en estado estático, siendo la presión mínima de 4,31 m.c.a. que está por debajo de la presión mínima recomendada, y la presión máxima de 27,49 m.c.a., cumpliendo con los límites establecidos en la norma dada por SENAGUA (2018).

Figura 50

Presiones de la red de distribución en estado estático

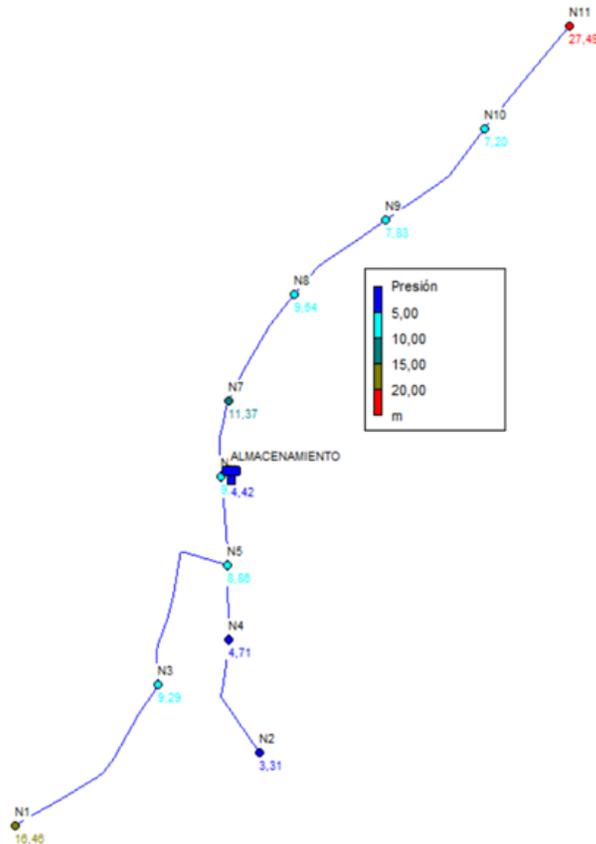


Tabla 45*Presiones de la red de distribución en estado estático*

ID Nodo	Cota (msnm)	Demanda Base (l/s)	Altura (msnm)	Presión (m.c.a.)
N4	2573,84	0,023	2578,55	4,71
N5	2569,95	0,023	2578,81	8,86
N6	2569,82	0,023	2578,86	9,04
N7	2567,44	0,023	2578,81	11,37
N8	2569,13	0,023	2578,77	9,64
N9	2570,91	0,023	2578,74	7,83
N10	2571,4	0,023	2578,6	7,20
N11	2550,98	0,023	2578,47	27,49
N3	2568,88	0,023	2578,17	9,29
N1	2561,51	0,023	2577,97	16,46
N2	2574,12	0,023	2578,43	4,31
Almacenamiento	2574,46	-	2578,88	4,42

Velocidades Calculadas en EPANET

En la Figura 51 se indican las velocidades calculadas en la red con el modelamiento del sistema, siendo la velocidad máxima de 0,75 m/s, la cual se encuentra dentro del límite señalado en la norma dada por SENAGUA (2018). Así mismo en la Tabla 46 se indican las pérdidas calculadas para cada tramo de la línea de conducción.

Figura 51

Velocidades de la red de distribución en estado estático

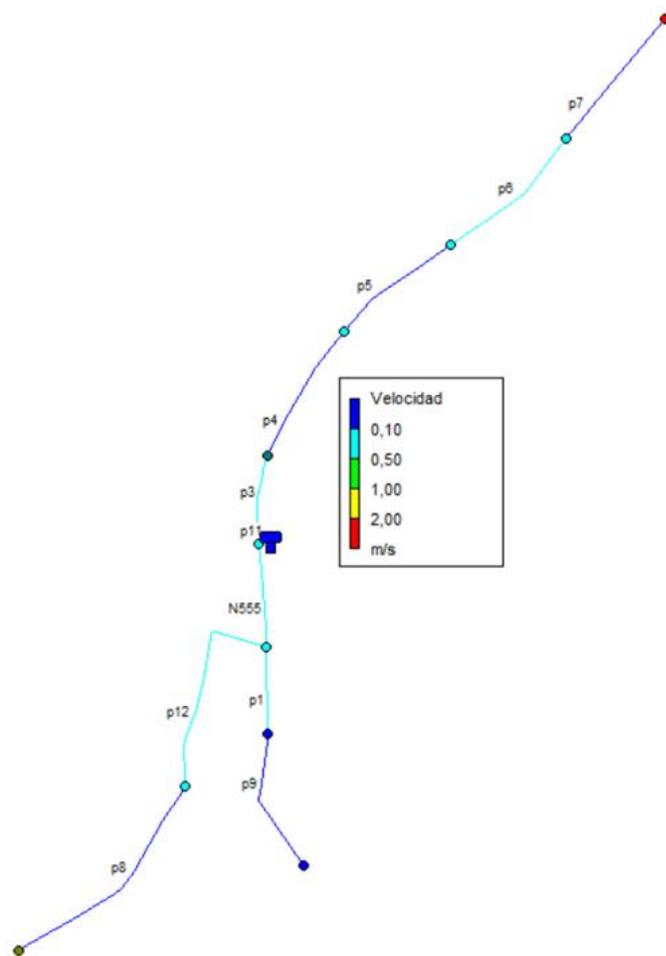


Tabla 46

Velocidades y pérdidas de la red de distribución en estado estático

ID Línea	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérdida Unit.
	(m)	(mm)	(l/s)	(m/s)	(m/km)
Tubería p1	79,46	17,6	0,05	0,69	3,25
Tubería p2	95,17	36,2	0,12	0,61	0,53
Tubería p3	81,78	36,2	0,12	0,61	0,53
Tubería p4	132,9	36,2	0,09	0,59	0,35
Tubería p5	126,2	36,2	0,07	0,57	0,21
Tubería p6	144,9	22,4	0,05	0,62	1,00
Tubería p7	141,8	17,6	0,02	0,59	0,90
Tubería p8	219,5	17,6	0,02	0,59	0,90
Tubería p9	133,4	17,6	0,02	0,59	0,90
Tubería p11	10,41	36,2	0,25	0,75	2,29
Tubería p12	196,6	17,6	0,05	0,69	3,25

Análisis en Estado Dinámico. Para este tipo de análisis se debe considerar las variaciones de consumo que sufre la red durante todo el día. Cuando se trata de variaciones de consumo y su modelación en EPANET se deben tener en cuenta los diferentes coeficientes que afectan el caudal máximo ingresado en los nodos de la red, estos coeficientes varían dependiendo del tipo de clima de la localidad, el nivel de vida socioeconómico y otros factores de sus habitantes.

El barrio Santa Anita no cuenta con estos datos, debido a que no hay una red existente en la que se pueda llevar un registro. Debido a esto, se aplicó los siguientes

coeficientes de variación horaria como se observa en la Tabla 47, tomados del Libro 12 de la norma dada por CONAGUA (2019), correspondientes a coeficientes de variación horaria para pequeñas comunidades.

Tabla 47

Coeficientes de variación horaria

Hora	Coeficiente	Hora	Coeficiente
1:00	0,45	13:00	1,40
2:00	0,45	14:00	1,40
3:00	0,45	15:00	1,30
4:00	0,45	16:00	1,30
5:00	0,60	17:00	1,20
6:00	0,90	18:00	1,00
7:00	1,35	19:00	1,00
8:00	1,50	20:00	0,90
9:00	1,50	21:00	0,90
10:00	1,50	22:00	0,80
11:00	1,40	23:00	0,60
12:00	1,20	0:00	0,45

Nota. Tomada del Libro 12 de la norma dada por (CONAGUA, 2019, p.91).

Presiones Calculadas en EPANET

En las Figura 52 y en la Tabla 48 se indican las presiones calculadas del sistema en estado dinámico, la hora de análisis fue las 08:00, siendo la presión mínima de 3,20

m.c.a. que está por debajo de la presión mínima recomendada, y la presión máxima de 25,89 m.c.a., cumpliendo con los límites presentados en la norma dada por SENAGUA (2018).

Figura 52

Presiones de la red de distribución en estado

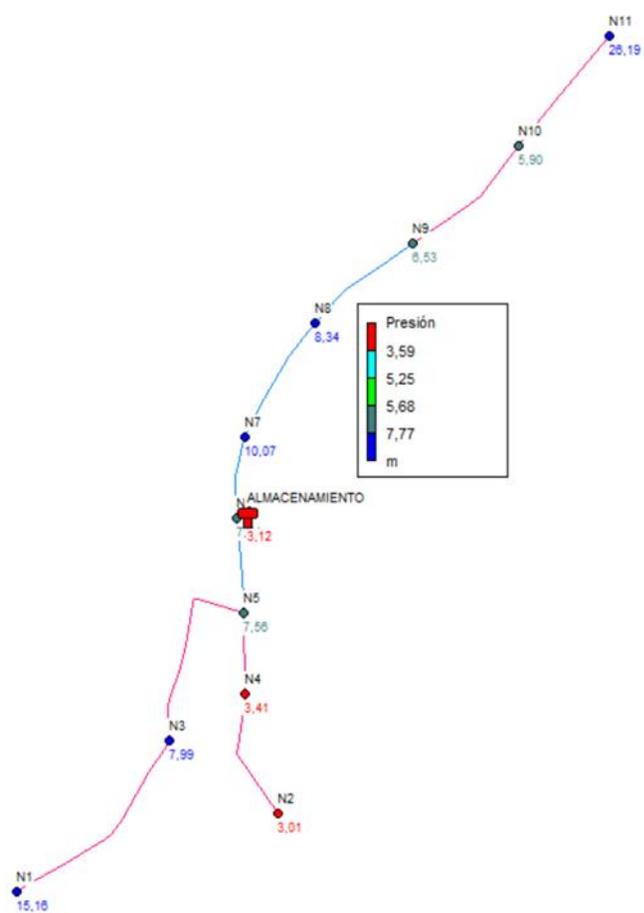


Tabla 48*Presiones de la red de distribución en estado dinámico*

ID Nodo	Cota (msnm)	Demanda Base (l/s)	Altura (msnm)	Presión (m.c.a.)
N4	2573,84	0,023	2577,04	3,20
N5	2569,95	0,023	2577,58	7,63
N6	2569,82	0,023	2577,69	7,87
N7	2567,44	0,023	2577,6	10,16
N8	2569,13	0,023	2577,5	8,37
N9	2570,91	0,023	2577,44	6,53
N10	2571,4	0,023	2577,14	5,74
N11	2550,98	0,023	2576,87	25,89
N3	2568,88	0,023	2576,23	7,35
N1	2561,51	0,023	2575,81	14,30
N2	2574,12	0,023	2576,78	2,66
Almacenamiento	2574,46	-	2577,74	3,28

Velocidades Calculadas en EPANET

En la Figura 53 se indican las velocidades calculadas en la red con el modelamiento del sistema, la hora de análisis fue las 08:00, siendo la velocidad máxima de 0,77 m/s, la cual se encuentra dentro del límite señalado en la norma dada por SENAGUA (2018). Así mismo en la Tabla 49 se indican las pérdidas calculadas para cada tramo de la línea de conducción.

Figura 53

Velocidades en la red de distribución estado dinámico

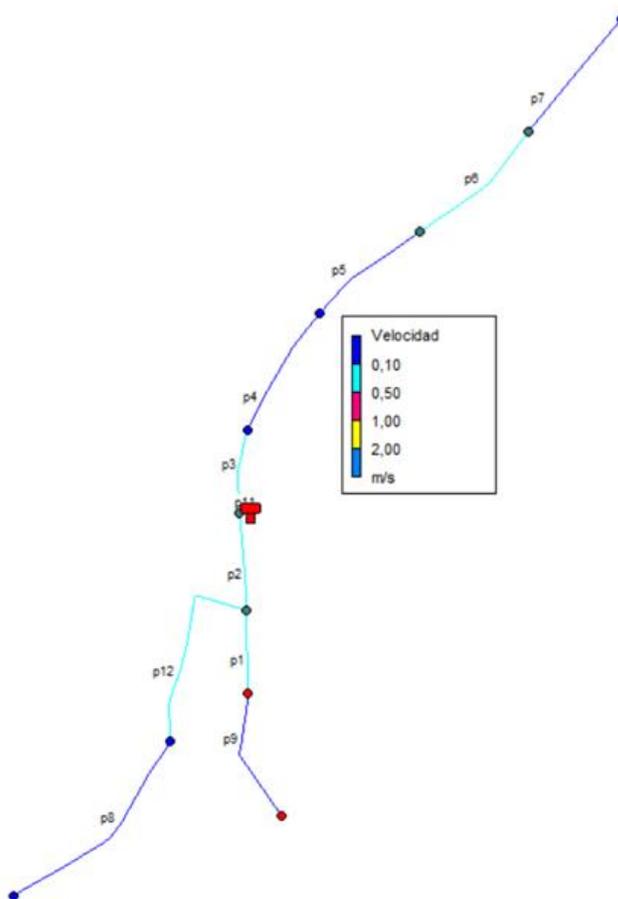


Tabla 49*Velocidades y pérdidas de la red de distribución en estado dinámico*

ID Línea	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérdida Unit.
	(m)	(mm)	(l/s)	(m/s)	(m/km)
Tubería p1	79,46	17,6	0,07	0,68	6,88
Tubería p2	95,17	36,2	0,17	0,57	1,12
Tubería p3	81,78	36,2	0,17	0,57	1,12
Tubería p4	132,9	36,2	0,14	0,53	0,74
Tubería p5	126,2	36,2	0,1	0,50	0,43
Tubería p6	144,9	22,4	0,07	0,58	2,13
Tubería p7	141,8	17,6	0,03	0,54	1,91
Tubería p8	219,5	17,6	0,03	0,54	1,91
Tubería p9	133,4	17,6	0,03	0,54	1,91
Tubería p11	10,41	36,2	0,38	0,77	4,83
Tubería p12	196,6	17,6	0,07	0,68	6,88

Los planos a detalle de todo el sistema de abastecimiento de agua potable se encuentran en el Anexo 7.

Capítulo VI

Presupuesto

Al momento de realizar el cálculo del presupuesto referencial, se consideraron los precios unitarios de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) del año 2021.

Proyecto: Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el barrio Santa Anita, parroquia La Merced, cantón Quito, provincia de Pichincha				
Presupuesto Referencial				
Descripción del Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Captación				
Toma Tipo Coanda				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal	m ²	12,00	1,02	12,24
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m ²	12,00	1,15	13,80
Excavación a mano	m ³	4,75	9,25	43,94
Hormigón simple f'c = 210 kg/cm ²	m ³	0,61	152,67	93,13
Encofrado/desencofrado tablero triplex corriente e=18 mm	m ²	5,10	21,08	107,51
Acero refuerzo fy=4200 kg/cm ²	kg	41,52	1,67	69,34
Tubería PVC ø 200 mm desagüe (mat/trans/inst)	m	1,00	24,84	24,84
Tanque De Recolección 1				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal	m ²	6,25	1,02	6,38
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m ²	6,25	1,15	7,19
Excavación a mano	m ³	3,15	9,25	29,14
Encofrado/desencofrado tablero triplex corriente e=18 mm	m ²	4,89	21,08	103,08
Acero refuerzo fy=4200 kg/cm ²	kg	242,73	1,67	405,36
Hormigón simple f'c = 210 kg/cm ²	m ³	3,34	152,67	509,92
Estación De Bombeo 1				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal	m ²	2,25	1,02	2,30
Bomba centrífuga 7.5 HP (provisión/montaje/accesorios)	u	1,00	2386,39	2386,39
Tubería PVC U/E ø 40 mm 1.25 Mpa (mat/trans/inst)	m	1,00	6,66	6,66
Medidor de energía eléctrica 3F x 460 V	u	1,00	230	230,00

Tablero de control eléctrico para bomba centríf. 7.5 HP, 3F 220 V	u	1,00	266	266,00
Acometida eléctrica cable flexible 3#8	m	186,00	8,54	1588,44
Válvula check ø 4" (mat/trans/inst)	u	1,00	426,94	426,94
Cerramiento Captación				
Excavación de zanja a mano H = 0.00 @ 2.00 m	m ³	4,00	9,25	37,00
Malla de cerramiento	m ²	27,00	14,69	396,63
Mampostería de piedra	m ³	0,80	68,82	55,06
Acero refuerzo fy=4200 kg/cm ²	kg	5,13	1,67	8,57
Hormigón simple f'c = 210 kg/cm ²	m ³	3,40	152,67	519,08
Puerta metálica 0.90 x 2.10 cm (provisión/instalación)	u	1,00	146,79	146,79
Tubo galvanizado ø 2" x 1.5 mm	m	6,00	5,98	35,88
Conducción				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal (equipo pesado)	m ²	139,85	1,02	142,65
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m ²	139,85	1,15	160,83
Excavación de zanja a mano H = 0.00 @ 2.00 m	m ³	139,85	9,25	1293,61
Tubería PVC U/E ø 40 mm 1.25 Mpa (mat/trans/inst)	m	279,69	6,66	1862,74
Resanteo y cama de arena	m ³	13,98	6,59	92,13
Relleno compactado (mat. excavación)	m ³	125,87	4,75	597,88
Accesorios línea de conducción	glob.	1,00	325,67	325,67
Planta De Tratamiento				
Tanque De Recolección 2				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal	m ²	6,25	1,02	6,38
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m ²	6,25	1,15	7,19
Excavación a mano	m ³	3,15	9,25	29,14
Encofrado/desencofrado tablero tríplex corriente e=18 mm	m ²	4,89	21,08	103,08
Acero refuerzo fy=4200 kg/cm ²	kg	242,73	1,67	405,36
Hormigón simple f'c = 210 kg/cm ²	m ³	3,34	152,67	509,92
Filtro Lento De Arena D = 3,5 m				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal	m ²	16,00	1,02	16,32
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m ²	9,62	1,15	11,06
Excavación a mano	m ³	2,89	9,25	26,73
Replanteo de piedra e=15 cm	m ²	2,89	6,26	18,09
Encofrado/desencofrado tablero tríplex corriente e=18 mm	m ²	56,08	21,08	1182,17
Mampostería bloque carga 15 cm (mortero 1:6)	m ²	5,65	13,85	78,25

Acero refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	kg	488,20	1,67	815,29
Hormigón simple $f'c = 210$ kg/cm ²	m ³	5,61	152,67	856,48
Malla electrosoldada R-238	m ²	8,92	7,14	63,69
Enlucido vertical paleteado inc. impermeabilizante	m ²	28,04	11,87	332,83
Malla electrosoldada R-188	m ²	16,85	4,6	77,51
Sistema Recolector Del Filtro				
Arena gruesa para filtros	m ³	9,62	23,3	224,15
Grava clasificada para filtros	m ³	3,37	19,04	64,16
Tubería PVC 40mm perforada (mat/trans/inst)	m	15,40	8,16	125,66
Accesorios filtros (provisión/instalación)	u	1,96	1166,05	2289,54
Caseta Y Tanque De Cloración				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal (equipo pesado)	m ²	6,25	1,02	6,38
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m ²	6,25	1,15	7,19
Replantillo de piedra e=15 cm	m ²	6,25	6,26	39,13
Encofrado/densofrado tablero tríplex corriente e=18 mm	m ²	9,40	21,08	198,15
Acero refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	kg	242,73	1,67	405,36
Hormigón simple $f'c = 210$ kg/cm ²	m ³	3,34	152,67	509,92
Enlucido vertical paleteado inc. impermeabilizante	m ²	22,25	11,87	264,11
Cubierta de fibrocemento (incl. estructura de madera)	m ²	9,00	54,52	490,68
Sum. instal. equipo clorad 450 l o similar	u	1,00	1910,26	1910,26
Hipoclorito de calcio (suministro e inyección de solución)	kg	95,87	3,3	316,37
Estación De Bombeo 2				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal	m ²	2,25	1,02	2,30
Bomba centrífuga 7.5 HP (provisión/montaje/accesorios)	u	1,00	2386,39	2386,39
Tubería PVC U/E \varnothing 40 mm 1.25 Mpa (mat/trans/inst)	m	1,00	6,66	6,66
Medidor de energía eléctrica 3F x 460 V	u	1,00	230	230,00
Tablero de control eléctrico para bomba centríf. 7.5 HP, 3F 220 V	u	1,00	266	266,00
Acometida eléctrica cable flexible 3#8	m	12,56	8,54	107,26
Válvula Check \varnothing 40 mm (mat/trans/inst)	u	1,00	426,94	426,94
Torre De H. A. Para Tanque De Reserva H = 6 m				
Limpieza de terreno, incl. retiro capa vegetal (equipo pesado)	m ²	9,00	1,02	9,18
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m ²	9,00	1,15	10,35
Replantillo de piedra e=15 cm	m ²	1,00	6,26	6,26

Encofrado/desencofrado tablero tríplex corriente e=18 mm	m ²	7,20	21,08	151,78
Acero refuerzo fy=4200 kg/cm ²	kg	923,32	1,67	1541,94
Hormigón simple f'c = 210 kg/cm ²	m ³	9,36	152,67	1428,99
Escalera marinera tubo cuadrado 1/2", platina 1/2" L=6.20 m, ancho=0.60 m	u	1,00	510,6	510,60
Tanque De Reserva				
Tanque de Polietileno Standar 20000 lits	u	1,00	3611,11	3611,11
Accesorios adicionales instal. tanque reserva	glob.	1,00	340,4	340,40
Cerramiento Planta De Tratamiento				
Excavación de zanja a mano H = 0.00 @ 2.00 m	m ³	6,00	9,25	55,50
Malla de cerramiento	m ²	60,00	14,69	881,40
Mampostería de piedra	m ³	9,00	68,82	619,38
Acero refuerzo fy=4200 kg/cm ²	kg	15,21	1,67	25,40
Hormigón simple f'c = 210 kg/cm ²	m ³	1,80	152,67	274,81
Puerta metálica 0.90 x 2.10 cm (provisión/instalación)	u	1,00	146,79	146,79
Tubo galvanizado ø 2" x 1.5 mm	m	20,00	5,98	119,60
Red De Distribución				
Replanteo y nivelación zanja	m	1362,55	0,66	899,28
Excavación de zanja a máquina H = 0.00 - 2.75 m (altamente consolidado)	m ³	817,53	7,68	6278,63
Resanteo y cama de arena	m ³	47,69	6,59	314,27
Relleno compactado (mat. excavación)	m ³	769,84	4,75	3656,74
Acometida domicil. taponada PVC ø 1/2"	u	28,00	187,84	5259,52
Accesorios red de distribución	glob.	1,00	445,51	445,51
Tubería PVC U/E ø 20 mm 1.25 Mpa (mat/trans/inst)	m	770,59	2,99	2304,06
Tubería PVC U/E ø 25 mm 1.25 Mpa (mat/trans/inst)	m	144,93	3,38	489,86
Tubería PVC U/E ø 40 mm 1.25 Mpa (mat/trans/inst)	m	447,03	6,66	2977,22
Precio Total				59181,76
IVA 12%				7101,81
Total				66283,57

Capítulo VII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Los resultados de la encuesta social indican que el nivel y la calidad de vida de los pobladores del barrio Santa Anita se puede catalogar como baja, lo que determinó el nivel de servicio del sistema de agua potable.

Mediante el cálculo de caudales por el método racional se comprobó que existe la suficiente cantidad de agua superficial para el consumo humano de todo el barrio, previamente dando el tratamiento necesario al agua.

El levantamiento topográfico se realizó utilizando GPS de precisión y estación total, con los datos obtenidos se modeló la topografía para posteriormente establecer los lugares más adecuados para ubicar las estructuras de captación, bombeo, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua.

El estudio de suelos sirvió para demostrar que no existe nivel freático en toda la zona del proyecto, esto permitió escoger para el diseño del sistema el material PVC para las tuberías.

El ensayo de calidad de agua correspondiente a la muestra tomada en la fuente determinó que la mayor parte de parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos por la norma, sin embargo, la presencia de coliformes fecales en dicha muestra es notable, debido a esto fue necesario dar un tratamiento de potabilización al agua con un filtro lento de arena e hipoclorito de calcio.

El proceso de tratamiento del agua conformado por la construcción de un filtro lento de arena y el sistema de cloración por adición de hipoclorito de calcio (sólido), ha demostrado ser el método más adecuado para el tratamiento del agua acorde a los resultados de los análisis realizados en el laboratorio previo a su distribución e ideal para zonas rurales, por ser económico, de fácil mantenimiento y por haberse probado en otras comunidades rurales.

Al utilizar la captación tipo Coanda se tiene las ventajas de que esta sirva como estructura de control y regulación de caudal, además se evita el ingreso al sistema de material vegetal, partículas gruesas y sólidos en suspensión, prescindiendo de la necesidad de incluir un desarenador.

En el de conducción se utilizó tubería de PVC de diámetro 40 mm, cumpliendo los valores máximos de presión. Para la planta de tratamiento de diseño un filtro lento de arena seguido de un tanque para la cloración. Para el almacenamiento se eligió un tanque elevado de PVC de capacidad de 20 m³, con el propósito de almacenar el volumen correspondiente a 24 horas. En el sistema de distribución se utilizó tubería de PVC de diámetro 20 mm, 25 mm y 40 mm, cumpliendo de igual manera los valores máximos y mínimos de velocidad y presión.

El conjunto de todas las obras, es decir, captación, conducción, planta de tratamiento, almacenamiento y distribución, se presupuestaron en un valor de \$ 66 283,57 dólares, considerando valores estimados basados en los precios unitarios de la CAMICON del año 2021.

Recomendaciones

Se recomienda a los habitantes de esta comunidad que se utilicen los resultados de este diseño como su sistema de agua potable, ya que ha sido realizado técnicamente, cumpliendo todas las normativas vigentes para proyectos en el área rural, factor que ayudará al momento de buscar los recursos económicos para la construcción del mismo.

Es aconsejable previa a la puesta en marcha del sistema, realizar una calibración, con el fin de supervisar el funcionamiento de todos los elementos constitutivos, de modo sistemático, para lograr un trabajo eficiente del sistema.

Cuando se de inicio al funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable se recomienda verificar la calidad del agua, para lo que se deberá determinar que el valor del cloro residual esté dentro de la norma, lo cual servirá para establecer la dosificación adecuada del cloro en el tanque hipoclorador.

Se aconseja realizar mediciones de la demanda de agua potable cada cierto periodo de tiempo para verificar que se encuentren dentro de los parámetros del estudio realizado, caso contrario se deben realizar las correcciones necesarias.

En el caso de los nodos con bajas presiones se debe pensar en colocar un tanque hidroneumático en las viviendas que se abastecerán de los mismos, con el fin de entregar agua en las presiones recomendadas.

Capacitar y concientizar a los habitantes de la comunidad en el correcto manejo y aprovechamiento del agua, así como también y el cuidado y protección de las fuentes de agua, respetando el principio de eficiencia en la provisión y uso racional de parte de los consumidores, complementándose con un control preciso mediante el uso de

medidores de volumen colocados en cada vivienda. El presidente del barrio en colaboración con los pobladores debe realizar un plan de autogestión para mantener y administrar el sistema.

Al momento de seleccionar el personal que se encargará de la operación y mantenimiento del sistema, se dará preferencia a los habitantes del sector, a quienes se les dictará cursos de capacitación y adiestramiento periódicos para conseguir un rendimiento óptimo en sus funciones y por ende en todo el sistema de agua potable.

Referencias Bibliográficas

- Alcántara, J. (2015). *Caracterización Hidromorfométrica de la Microcuenca Puyllucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de ARCGIS*. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/102>
- Aragón, J., Aguilar, G., Velázquez, U., Jiménez, M., & Maya, A. (2019). Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación. *Ingeniería Investigación y Tecnología*.
doi:<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n2.023>
- ASTM - D 2216. (1998). *Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa*.
- ASTM - D 2487. (2010). *Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos)*.
- ASTM - D 422. (1998). *Método de análisis del tamaño de las partículas de suelo*.
- ASTM - D 4318. (2005). *Los métodos estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos*.
- Baldeon, L. (2016). *Modelamiento Hidrológico de la Sub Cuenca del Río Achamayo*. Huancayo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4588>
- Buchar, A., Hernández, D., López, C., & Robles, E. (2018). Estrategia para la recuperación hidráulica del río Sevilla entre las abscisas K7+951.94 y K17+086.63 (desde la C.G.S.M), como aporte al restablecimiento de la dinámica hidrológica de la ciénaga grande de Santa Marta. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/158274997.pdf>

- Cárdenas, M. (2018). Modelación de base de la distribución temporal de un evento de lluvia intensa ocurrido sobre la quebrada de Cunduana, perteneciente al cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10246>
- Céspedes, M. J. (2016). *Diseño de la red de distribución de agua potable de la parroquia El Rosario del Catón San Pedro de Pelileo, Provincia de Tungurahua [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato]*. Repositorio Universitario, Ambato.
- Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., LTD. (2018). *Electrode Array User's Manual [versión PDF]*.
- Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., LTD. (2018). *Geophysical exploration instrument Catalogue [versión PDF]*.
- Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., LTD. (2018). *WDJD-4 Multi-Function Digital DC Resistivity/IP Meter User's Manual [versión PDF]*.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (2000). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. Obtenido de <https://baixardoc.com/documents/hidrologia-aplicada-ven-te-chow-5cae52662105a>
- Comisión Nacional del agua [CONAGUA]. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado. Libro 4*. México. Obtenido de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Redes de Distribución de Agua*

Potable. Libro 12. México. Obtenido de

<https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución. Libro 13.* México. Obtenido de

<https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>

Cueva, V. D. (2018). *Cálculo y diseño del sistema de agua potable para la parroquia El Placer del Toachi, del Cantón Santo Domingo [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]*. Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15066>

Custodio, E., & Ramón, M. (2001). *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Omega.

Duque, P., Cajamarca, R., Wemple, B. C., & Delgado, M. (2019). Estimación Del Balance Hídrico De Una Cuenca Andina Tropical. *La Granja*. Obtenido de <http://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.05>

EMMAAP-Q. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado para la EMAAP-Q*. Quito. Obtenido de https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/08/NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP.pdf

Espejo, P. A. (2013). *Estudios y diseños del sistema de agua potable del barrio San Vicente, parroquia Nambacola, cantón Gonzanamá [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Particular de Loja]*. Repositorio Universitario, Loja.

GADP de La Merced. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2025*. Obtenido de

http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/PDOT%20LA%20MERCED%202012.pdf

GADP de La Merced. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [versión PDF]*. Obtenido de http://www.lamerced.gob.ec/web/images/la_merced/descargas/lotaip2016/docu_extras/DOCUMENTO-FINAL-DE-LA-MERCED-final-2.pdf

García, H., & Ollero, A. (2011). Clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de sistemas de información geográfica (S.I.G.). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 56*, 373-396. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/259977814_Clasificacion_Geomorfologica_de_cursos_fluviales_a_partir_de_Sistemas_de_Informacion_Geografica_SIG

Garrido, L. F., & Haro, H. M. (2020). *Evaluación y diseño de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de la Vivienda Fiscal del Fuerte Militar "Marco Aurelio Subia" [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]*. Repositorio Universitario, Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/22371>

Ibañez, A., Moreno, R., & Gisbert, B. (2011). *Métodos para la Determinación del Coeficiente de Escorrentía*. Universidad Politécnica de Valencia.

INAMHI. (2019). *Determinación de Ecuaciones Para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación*. Obtenido de https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf

INEC. (2010). *VII Censo de población y VI de vivienda*. Quito.

Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático [ICC]. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Obtenido de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>

Intriago, P., Rodríguez, M., Caicedo, M., Espinales, F., & Cabrera, E. (2021). Estudio hidromorfológico de la cuenca efímera Maconta con relación al riesgo de inundaciones repentinas. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. Obtenido de <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2597>

López, M., Zambrano, J., & Obando, J. (2020). Análisis en el nivel de precipitaciones por medio de la elaboración de los mapas de isohietas y curvas IDF (intensidad, duración, frecuencia) del departamento de Cundinamarca. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/28467/3/2020_analisis_en_el.pdf.pdf

López, R. (2003). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados* (2da. ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Obtenido de <https://www.udocz.com/read/27116/elementos-de-diseno-para-acueductos-y-alcantarillado---ricardo-lopez-cualla>

Loya, J. A. (2017). *Evaluación y rediseño del sistema de agua potable entre el Parque Central de Cotogchoa y la cooperativa Eloy Alfaro, cantón Rumiñahui [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]*. Repositorio Universitario. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13281>

- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2002). *División Hidrográfica del Ecuador*. Obtenido de http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EMAB_IX_dt%203_Ax2.pdf
- Mogollón, D., & Sánchez, E. (2018). Análisis de Estabilidad de Cauces en ríos de montaña empleando el método químico. *Ciencia e Ingeniería*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557607002/html/>
- OMS. (2003). *Cantidad de Agua Doméstica, Nivel de Servicio y Salud*. Geneva: WHO Document Production Services. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf
- ONU. (25 de Septiembre de 2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- OPS. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. Lima. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b%20Guia%20dise%C3%B1o%20de%20bombeo.pdf
- OPS. (2009). *Guía de Orientación en Saneamiento Básico para alcaldías en municipios rurales y pequeñas comunidades*. Lima. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BARRIOS%20et%20a%202009%20Guia%20de%20orientacion%20alcaldes.pdf
- Orellana, E. (1972). *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua*. Madrid: Paraninfo.
- Palacios, C., & Alarcón, J. (2021). Estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. *Revista Dilemas*

Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

doi:<https://doi.org/10.46377/DILEMAS.V8I.2598>

Piñero, D. (2009). *Henry Marie Coanda y el "efecto Coanda"*. Scielo. Obtenido de

<http://www.scielo.org.mx/pdf/acm/v80n1/v80n1a12.pdf>

POMCA. (2015). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río

Aburrá. Obtenido de [https://www.metrocol.gov.co/ambiental/recurso-](https://www.metrocol.gov.co/ambiental/recurso-hidrico/pomca/2018/Documento_POMCA/DOCUMENTO_POMCA%20dic.pdf)

[hidrico/pomca/2018/Documento_POMCA/DOCUMENTO_POMCA%20dic.pdf](https://www.metrocol.gov.co/ambiental/recurso-hidrico/pomca/2018/Documento_POMCA/DOCUMENTO_POMCA%20dic.pdf)

Pozo, B. (2015). *Investigación de una obra de toma de agua sumergida con efecto*

Coanda. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí. Obtenido de

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10791>

Quiguiri, R. (2019). *Evaluación del sistema de almacenamiento y distribución de agua*

potable del cantón Marcelino Maridueña de la provincia del Guayas [Tesis de

Ingeniería Civil, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional. Obtenido

de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/42687>

Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua - Evaluación y Diagnóstico [versión PDF]*.

Medellín: Digiprint Editores E.U. Obtenido de

[https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=calidad+del+agua+&ots=cdXSNh-)

[PA33&dq=calidad+del+agua+&ots=cdXSNh-](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=calidad+del+agua+&ots=cdXSNh-)

[O5j&sig=nwcl5T6xIB5F6NhYzXJOeYKJD8A&redir_esc=y#v=onepage&q=calida](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=calidad+del+agua+&ots=cdXSNh-O5j&sig=nwcl5T6xIB5F6NhYzXJOeYKJD8A&redir_esc=y#v=onepage&q=calida)

[d%20del%20agua&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=calidad+del+agua+&ots=cdXSNh-O5j&sig=nwcl5T6xIB5F6NhYzXJOeYKJD8A&redir_esc=y#v=onepage&q=calidad%20del%20agua&f=false)

Ramírez, P., Alfaro, K., Álvarez, M., Solís, L., & Catro, J. (2021). Morfometría de la

subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de*

América Central. Obtenido de <https://doi.org/10.15359/RGAC.67-2.5>

- Reyes, A., Barroso, F., & Carvajal, Y. (2014). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Bogotá. Obtenido de <https://www.digitaliapublishing.com/a/39137/guia-basica-para-la-caracterizacion-morfometrica-de-cuencas-hidrograficas>
- Rivas, D., & Moreno, M. (2019). Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrico de la cuenca del río Metica. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12494/11680>
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). *Calidad del Agua, E. coli y su Salud [versión PDF]*. Obtenido de <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Rodríguez Ruiz, P. (2001). *Abastecimiento de Agua*. México: Instituto Tecnológico de Oaxaca. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34792833/ABASTECIMIENTO_DE_AGUA_Pedro_rodriguez_Ruiz_ITO-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1628143136&Signature=g9R9LRkb0h6r6dubU8B6QH~lqQ1t~gJOG~5nMP4OHqbhxAq-CYLhDmZhiqKIC3o-b8MBwzln4OvEgchpNyq50FE9gfNQLazGQyM5W8YlaXLE
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes, riegos*. Bogotá: Alfaomega Colombiana S.A.
- Sánchez, A., García, R., & Palma, A. (2003). *La Cuenca Hidrográfica: Unidad Básica de Planeación y Manejo Recursos Naturales*. México. Obtenido de http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_hidrografica.pdf

- Sánchez, N. (2017). Cálculo de la precipitación media sobre la península de la guajira usando el método Thiessen. *CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA*.
Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16671>
- Sandoval, W. (2013). *Principios de la Hidráulica 2*.
- Sandoval, W. (2016). Toma de Agua con Efecto Coanda. *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/327245599_TOMA_DE_AGUA_CON_EFECTO_COANDA
- Sandoval, W. (2019). *Diseño de Obras Hidrotécnicas*.
- Sandoval, W., & Aguilera, E. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Revista Ciencia UNEMI*, 100-110. Obtenido de <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/108/108>
- Secretaría de Ambiente. (2013). *Caracterización del Área de Intervención Especial y Recuperación Volcán Ilaló y Bosque Protector Flanco Oriental del Volcán Pichincha y Cinturón Verde de Quito (Bloque 8)*. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Obtenido de <https://docer.com.ar/doc/1xxes>
- SENAGUA. (2012). *Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*.
- SENAGUA. (2018). *Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural*.
- Tobón, M., Valdés, J., & Marín, L. (2020). Caracterización geomorfológica de la cuenca del Río Negro utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Investigación e innovación en ingeniería de software. Volumen 4. Obtenido de <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1108>

TULSMA. (2015). *Libro VI. Norma de Calidad Ambiental Recurso Suelo y Criterios de Remediación Para Suelos Contaminados.* Obtenido de <https://maeorellana.files.wordpress.com/2015/11/anexo-2-suelo.pdf>

Vega, X. (2020). Diferentes soluciones para la delimitación y codificación de cuencas superficiales cubanas. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000200075

Villacís, B., & Carrillo, D. (2012). País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador. *Edición especial revista Analitika. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).* Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Economia/Nuevacarademograficadeecuador.pdf>

Villota, M. (2019). Metodología para el cálculo de los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica por medio de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio – Río Mulaló (Yumbo - Colombia). Obtenido de <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/843>

Zeledón, H. (2016). *Diseño de sistema de agua potable en la comunidad los Jobos, municipio de Estelí [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad de Ingeniería].* Repositorio Institucional, Managua. Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/1756/1/90038.pdf>

Zucarelli, G. (2017). Regionalización hidrológica con métodos estadísticos multivariados. Obtenido de

https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/19463/Zucarelli_GracielaViviana

—

Anexos

Anexo 1. Informe de puntos obtenidos con el GPS de precisión.

Anexo 2. Plano topográfico de la zona de estudio.

Anexo 3. Modelo de la encuesta aplicada.

Anexo 4. Estudio de suelos.

Anexo 5. Estudio de calidad del agua.

Anexo 6. Especificaciones técnicas de bombas de agua usadas.

Anexo 7. Planos a detalle del diseño del sistema de agua potable.