

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO CIVIL

TEMA:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD
DE COTAMA, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA,
ECUADOR**

AUTOR:

DAVID FERNANDO ROSADO ORDÓÑEZ

TUTORA:

MARÍA GABRIELA SORIA PUGO

Quito, octubre de 2017

Cesión de derechos de autor

Yo David Fernando Rosado Ordóñez, con documento de identificación N° 100254269-2, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE COTAMA, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA, ECUADOR”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



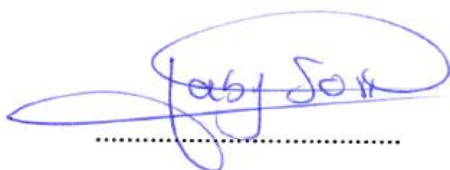
.....
David Fernando Rosado Ordóñez
100254269-2

Octubre, 2017

Declaratoria de coautoría de la docente tutora

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, DISEÑO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE COTAMA, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA, ECUADOR, realizado por David Fernando Rosado Ordóñez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, octubre de 2017



María Gabriela Soria Pugo

180398121-4

Dedicatoria

Dedico este trabajo a incontables personas que han sido mi luz y guía en este mundo. Sobre todo a mi familia, que me apoyó y brindó su amor en el caminar, de manera especial a mi Papá Raúl, ejemplo de hombre trabajador, amoroso, y consejero irremplazable.

David Rosado

Agradecimiento

Agradezco al personal que conforma la empresa Hidrosoft, quienes permitieron el uso de sus desarrollos tecnológicos para elaborar el proyecto, recibiendo a cambio únicamente la gratitud y reconocimiento de los beneficiarios.

Además quiero agradecer a los miembros de la Junta de Aguas de la comunidad de Cotama, que facilitaron información pertinente a la zona.

Finalmente, agradezco a todo el personal Docente de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes infundieron sus conocimientos en mi persona de la mejor forma, de manera especial expreso mi gratitud al Ingeniero Fernando Ulloa, quien reconoció mi potencial como futuro profesional, y a la Ingeniera Gabriela Soria, quien es un gran ejemplo profesional, humano, y excelente tutora.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	1
1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO.....	1
1.1 NOMBRE DEL PROYECTO.....	1
1.2 UBICACIÓN Y LÍMITES DEL PROYECTO.....	1
1.3 ASPECTOS DE LA COMUNIDAD DE COTAMA	2
1.4 MONTO.....	4
1.5 PLAZO DE EJECUCIÓN.....	5
1.6 PARTICIPACIÓN SOCIAL.....	5
1.6.1 Socialización del proyecto:.....	5
1.6.2 Entrega de información:	5
1.6.3 Reconocimiento del sistema de abastecimiento actual y área de proyecto:5	
1.6.4 Encuestas Socio-Económicas:	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. DIAGNÓSTICO Y PROBLEMA	7
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN DEL PROYECTO	7
2.1.1 Factor Económico.....	7
2.1.2 Población	8
2.1.3 Vivienda	9
2.1.4 Viabilidad y transporte	9
2.1.5 Educación	10
2.1.6 Salud... ..	11
2.1.7 Servicios Públicos Básicos	12
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EXISTENTES.....	13
2.2.1 Aspectos legales	13
2.2.2 Fuentes a utilizar.....	13
2.2.3 Apangora – Sistema de abastecimiento existente.....	15
2.2.4 Cotama Pogyo – Sistema de abastecimiento existente.....	23
2.2.5 Mesias Pogyo – Caudal sin aprovechamiento	30
2.3 IDENTIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	32

2.4	LÍNEA BASE DEL PROYECTO	33
2.5	ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA	34
2.5.1	Demanda.....	34
2.5.2	Oferta.....	36
2.5.3	Demanda insatisfecha (déficit)	36
CAPÍTULO 3.....		38
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO		38
3.1.	OBJETIVO GENERAL	38
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
3.2	MATRIZ DE MARCO LÓGICO	39
CAPÍTULO 4.....		40
4. ESTUDIOS BÁSICOS		40
4.1	RELIEVE	40
4.2	GEOLOGÍA	40
4.3	SUELOS	40
4.3.1	Clasificación Taxonómica	40
4.3.2	Características Mecánicas.....	41
4.4	AMENAZAS	42
4.4.1	Peligro Volcánico	42
4.4.2	Peligro Sísmico.....	43
4.5	RECURSO AGUA.....	43
4.5.1	Hidrología.....	45
4.5.2	Hidrogeología	45
4.5.3	Caracterización de las vertientes de Cotama	46
4.5.4	Calidad del agua	47
CAPÍTULO 5.....		52
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA		52
5.1	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	52
5.1.1	Alternativa 1	52
5.1.2	Alternativa 2	55
5.1.3	Alternativa seleccionada.....	57
5.2	NORMATIVA.....	58

5.3 BASES DE DISEÑO	58
5.3.1 Dotación	58
5.3.2 Caudales de diseño	59
5.4 COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE	60
5.4.1 Captación	62
5.4.2 Tratamiento.....	63
5.4.3 Almacenamiento	63
5.4.4 Estaciones de Bombeo e impulsiones.....	64
5.4.5 Conducción y transferencia	68
5.4.6 Distribución	72
CAPÍTULO 6.....	80
6. VIABILIDAD DEL PROYECTO	80
6.1 VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA.....	80
6.1.1 Supuestos	80
6.1.2 Identificación, cuantificación y valoración de beneficios, ingresos y costos de inversión, operación y mantenimiento.....	82
6.1.3 Flujo económico y financiero	86
6.1.4 Indicadores económicos y financieros (VAN, TIR, B/C)	88
6.1.5 Sostenibilidad económica y financiera	89
6.2 VIABILIDAD AMBIENTAL	90
6.2.1 Análisis de impacto ambiental y riesgo	90
6.2.2 Factores ambientales a ser evaluados	93
6.2.3 Determinación de acciones que ejercerá el proyecto sobre el área	95
6.2.4 Matriz de identificación, valoración y evaluación de impactos del proyecto.	96
6.2.5 Resultados de valoración de Impactos.....	98

CAPÍTULO 7.....	101
7. PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA.....	101
7.1 PRESUPUESTO	101
7.2 CRONOGRAMA.....	102
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXOS	109

Lista de tablas

TABLA 1. UBICACIÓN DE LA COMUNIDAD DE COTAMA.....	2
TABLA 2. ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN DE LA COMUNIDAD DE COTAMA.	7
TABLA 3. NÚMERO DE INDIVIDUOS DE LA COMUNIDAD DE COTAMA, CLASIFICADOS POR EDAD.	8
TABLA 4. TIPOS DE VIVIENDA EN LA COMUNIDAD DE COTAMA	9
TABLA 5. POBLACIÓN ESTUDIANTEL EN LA COMUNIDAD DE COTAMA..	11
TABLA 6. FORMAS DE CONSUMO DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE COTAMA.	12
TABLA 7. AFOROS DE VERTIENTE APANGORA.	17
TABLA 8. CUADRO DE COORDENADAS (APANGORA)	23
TABLA 9. AFOROS DE VERTIENTE COTAMA-POGYO	23
TABLA 10. CUADRO DE COORDENADAS (COTAMA-POGYO).....	30
TABLA 11. AFOROS DE VERTIENTE MESÍAS –POGYO	30
TABLA 12. CUADRO DE COORDENADAS (MESÍAS-POGYO).	31
TABLA 13. OBTENCIÓN DE LA POBLACIÓN DE DISEÑO.....	35
TABLA 14. VERTIENTES UBICADAS EN EL SECTOR.	37
TABLA 15. CAUDALES DE GARANTÍA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL LAGO SAN PABLO (M ³ /S).....	44
TABLA 16. UBICACIÓN DEL CANTÓN EN EL SISTEMA HIDROLÓGICO (PFAFSTETTER)	44
TABLA 17. CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN ESTACIÓN JATUNYACU AJ BLANCO.....	45
TABLA 18. ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA DE LA JUNTA DE AGUA DE COTAMA PARA CONSUMO HUMANO	48
TABLA 19. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA CRUDA DE LA JUNTA DE AGUA DE COTAMA PARA CONSUMO HUMANO.....	49
TABLA 20. ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS PROVENIENTE DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA JUNTA DE AGUA DE COTAMA	50
TABLA 21. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA CRUDA DE LA JUNTA DE AGUA DE COTAMA PARA CONSUMO HUMANO.....	51
TABLA 22. CONSUMO DIARIO POR PERSONA.	58
TABLA 23. CAUDALES DE CONSUMO.....	59

TABLA 24. CAUDALES DE DISEÑO Y VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO...	59
TABLA 25. VOLUMEN Y DIMENSIONES INTERNAS DE TANQUES.....	64
TABLA 26. PARÁMETROS INICIALES DE CÁLCULO DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO.....	66
TABLA 27. RESULTADOS DE DISEÑO DE BOMBEO APANGORA - TRATAMIENTO.....	66
TABLA 28. RESULTADOS DE DISEÑO DE BOMBEO TRATAMIENTO - TANQUE DE ALMACENAMIENTO A.....	67
TABLA 29. DIMENSIONES DE CISTERNA DE BOMBEO.....	67
TABLA 30. RESULTADOS DE CONDUCCIÓN MESÍAS POGYO.....	71
TABLA 31. PRESIONES DINÁMICAS EN NUDOS DEL SISTEMA ALTO-A ..	75
TABLA 32. DIÁMETROS Y VELOCIDADES EN TRAMOS DEL SISTEMA ALTO-A.....	76
TABLA 33. PRESIONES DINÁMICAS EN NUDOS DEL SISTEMA BAJO-B ...	77
TABLA 34. DIÁMETROS Y VELOCIDADES EN TRAMOS DEL SISTEMA BAJO-B.....	78
TABLA 35. SUPUESTOS DE LOS ESTADOS FINANCIEROS.....	80
TABLA 36. BENEFICIOS VALORADOS DEL PROYECTO AL HORIZONTE DE DISEÑO.	83
TABLA 37. COSTOS DE INVERSIÓN O PRESUPUESTO DE LAS FASES.....	85
TABLA 38. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL.....	85
TABLA 39. COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO AL HORIZONTE DE DISEÑO.....	86
TABLA 40. CRITERIOS DE PUNTUACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA MAGNITUD DEL IMPACTO	91
TABLA 41. PUNTUACIÓN PARA CALIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS	93
TABLA 42. FACTORES AMBIENTALES A SER EVALUADOS	94
TABLA 43. ACCIONES QUE EJERCERÁ EL PROYECTO	95
TABLA 44. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	97
TABLA 45. FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS	98
TABLA 46. FACTORES AMBIENTALES BENEFICIOSOS	98
TABLA 47. ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO (NEGATIVAS)	99

TABLA 48. ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO (POSITIVAS).....	99
TABLA 49. ACTIVIDADES DE OPERACIÓN DEL PROYECTO POSITIVAS O BENEFICIOSAS.	99
TABLA 50. CANTIDAD DE INTERACCIONES POR NATURALEZA DEL IMPACTO.....	100
TABLA 51. RESUMEN DEL PRESUPUESTO	101

Índice de figuras

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA PROVINCIA DE IMBABURA, CANTÓN OTAVALO.	1
FIGURA 2. UBICACIÓN DE LA COMUNIDAD DE COTAMA.	2
FIGURA 3. FOTOGRAFÍA DE LA COMUNIDAD DE COTAMA	3
FIGURA 4. MAPA DEL CANTÓN OTAVALO, PARROQUIAS RURALES Y URBANAS.....	4
FIGURA 5. VÍAS DE ACCESO A LA COMUNIDAD DE COTAMA.....	10
FIGURA 6. MAPA DE UBICACIÓN DE VERTIENTES.	14
FIGURA 7. TIPOS DE MANANTIALES.....	16
FIGURA 8. FUENTE APANGORA #1.	17
FIGURA 9. TANQUE RECOLECTOR #1 - FUENTE APANGORA	18
FIGURA 10. TANQUE RECOLECTOR #3 - FUENTE APANGORA.	20
FIGURA 11. CAJA DE REVISIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN DE APANGORA. .	21
FIGURA 12. PASO ELEVADO EN LA CONDUCCIÓN APANGORA.	21
FIGURA 13. CAJA DE REVISIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE FUENTE APANGORA.	22
FIGURA 14. INTERIOR DE CAJA Y ARRASTRE DE ALGAS DESDE LA FUENTE APANGORA	22
FIGURA 15. CAJA RECOLECTORA Y AFORO DE LA VERTIENTE COTAMA POGYO	24
FIGURA 16. TERRENO CERCADO DE LA FUENTE COTAMA- POGYO.....	24
FIGURA 17. TANQUE RECOLECTOR DE FUENTE COTAMA-POGYO.....	25
FIGURA 18. INTERIOR DEL TANQUE RECOLECTOR DE LA FUENTE COTAMA-POGYO.	25
FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN DESDE COTAMA POGYO DESCUBIERTA.	26
FIGURA 20. MANGUERA DESENTERRADA DEBIDO A EROSIÓN.....	27
FIGURA 21. FUGA DE AGUA EN EL RECORRIDO DE LA TUBERÍA.....	27
FIGURA 22. PASO ELEVADO DE CONDUCCIÓN.....	28
FIGURA 23. CONEXIÓN IMPROVISADA DE TUBERÍA.....	28
FIGURA 24. LAVANDERÍA COMUNAL O GRIFO COMUNITARIO.	29
FIGURA 25. GRIFO COMUNITARIO.	29
FIGURA 26. ESTRUCTURA DE CAPTACIÓN EXISTENTE, MESÍAS-POGYO.	31

FIGURA 27. MAPA GEOLÓGICO DEL SECTOR DE COTAMA.	41
FIGURA 28. ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA #1.....	54
FIGURA 29. ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA #2.....	56
FIGURA 30. COMPONENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	61
FIGURA 31. ESQUEMA DE CONDUCCIONES E IMPULSIONES	69
FIGURA 32. ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR ALTO Y BAJO DE LA COMUNIDAD DE COTAMA	73

Índice de Anexos

ANEXO 1. ASPECTOS LEGALES – AUTORIZACIONES DE USO DE AGUA Y MÁS DOCUMENTACIÓN.....	110
ANEXO 2. NÓMINA DE USUARIOS DE LA JUNTA DE AGUA DE LA COMUNIDAD DE COTAMA	126
ANEXO 3. CENSO COMUNITARIO	127
ANEXO 4. AFORO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DE LAS VERTIENTES DE LA COMUNIDAD DE COTAMA	128
ANEXO 5. ENCUESTAS A FAMILIAS DE LA COMUNIDAD DE COTAMA.	131
ANEXO 6. TABULACIÓN Y PROCESAMIENTO DE ENCUESTAS.....	134
ANEXO 7. POBLACIÓN Y CAUDALES DE DISEÑO.....	141
ANEXO 8. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL PROYECTO	144
ANEXO 9. CÁLCULOS HIDRÁULICOS	157
ANEXO 10. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	159
ANEXO 11. TABLAS PARA DISEÑOS DE TANQUES.....	234
ANEXO 12. DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO	236
ANEXO 13. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA CONDUCCIÓN MESIAS POGYO – PLANTA DE TRATAMIENTO	264
ANEXO 14. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LAS DISTRIBUCIONES	265
ANEXO 15. FORMULACIÓN DEL PROYECTO	271
ANEXO 16. ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS EMPLEADOS.....	277
ANEXO 17. COMPONENTE ECONÓMICO FINANCIERO	280
ANEXO 18. DETALLES DEL PROGRAMA GIS-APAL.....	303
ANEXO 19. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	310
ANEXO 20. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y MEDIO AMBIENTALES	311
ANEXO 21. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	314
ANEXO 22. PLANOS	315

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad el estudio técnico de un sistema de agua potable para la comunidad de Cotama, del cantón Otavalo en la Provincia de Imbabura, que cumpla con parámetros de cantidad y calidad, según las normas ecuatorianas vigentes. La infraestructura actual de abastecimiento, no cubre adecuadamente las necesidades de la población, cumplió su vida útil y resulta disfuncional en varios sentidos, consecuentemente debe ser rehabilitada o reemplazada. Se realizaron censos socio-económicos, levantamiento de información topográfica, caracterización de estructuras existentes y de las vertientes disponibles, análisis de viabilidad, entre otros.

Se proponen dos alternativas de diseño, donde la más idónea, comprende elementos de captación, conducción, dos sistemas de impulsión por bombeo, una planta de tratamiento modular, dos reservorios y dos redes de distribución. Se diseñó cada componente de acuerdo a la normativa ecuatoriana para sistemas de abastecimiento de agua potable en el área rural - SENAGUA. La implementación del proyecto permitirá la dotación de agua potable dentro del área de estudio, en cantidad y calidad adecuada, lo que conlleva el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de la comunidad, el beneficio social que conlleva, además permite mejorar la productividad.

Abstract

The present work aims to the technical study of a drinking water system in the rural community of Cotama, located in the Otavalo canton, Imbabura Province, which complies with parameters of quantity and quality, according to valid Ecuadorian norms. Since the current supply infrastructure does not adequately cover the needs of the population terms of quantity and quality, has served its working life and is dysfunctional in several ways, it must therefore be rehabilitated or replaced. Socio-economic censuses were carried out, along with topographic information surveying, characterization of existing structures and available slopes, feasibility analysis, among others.

Two design alternatives are proposed, where the most suitable one comprises catchment, pipeline conduction, two pump systems, a modular water treatment plant, two water reservoirs and two distribution networks. Each component was designed according to the Ecuadorian regulations for drinking water supply systems in rural areas by National Water Secretary (SENAGUA, by its Spanish acronym). The implementation of this project will allow the provision of drinking water within the study area, in an adequate quantity and quality, which implies the improvement of life quality of the community inhabitants, the social benefit, allows improving the productivity.

Introducción

El crecimiento de la población y los asentamientos humanos a nivel mundial, han promovido una incesante explotación de los recursos naturales, a niveles nunca antes visto. Por generaciones, la abundancia de materia prima permitía el aprovechamiento desmedido de la naturaleza, sin reparar en las consecuencias a futuro; lo cual ha ocasionado que, en las últimas décadas, el grado de deterioro sufrido por el medio ambiente, sea en muchos casos irreparable (Besson et al, Home, 2009). Entre los bienes naturales más importantes de los que dispone el hombre, se encuentra el agua dulce, esencial para toda forma de vida conocida en el planeta Tierra, consumida y utilizada en varias actividades antrópicas.

Los asentamientos humanos buscan el aprovechamiento sustentable del líquido vital, por ello, reviste enorme importancia el correcto diseño y la buena construcción de los sistemas de agua potable, que permitan un adecuado suministro tanto en calidad como en cantidad, y logren satisfacer las necesidades de la población, con un mínimo impacto al entorno natural; lastimosamente, debido a factores económicos, sociales o geográficos, importantes sectores de la población carecen de este servicio básico.

Según el informe mundial sobre el desarrollo de los Recursos hídricos de las Naciones Unidas del 2017 (ONU-2017), cerca de dos tercios de la población mundial (5 millardos) padecen de escasez durante al menos un mes cada año. Cerca de 500 millones viven en áreas en que el consumo de agua supera dos veces los recursos del lugar, haciéndose altamente dependientes del transporte desde zonas en las que esta existe. Hay más de 2.400 millones de personas que no tienen acceso a agua potable salubre. La organización Mundial de la Salud, reporta que 3,4 millones de personas mueren cada año de paludismo y diarrea. Un 90% de esas personas son niños

menores de cinco años, principalmente procedentes de países en desarrollo. Cientos de millones de personas padecen de otras enfermedades hídricas tal como la esquistosomiasis, helmintiasis intestinales, entre otras. (OMS-2001).

Dentro de este contexto, la problemática del agua en la comunidad de Cotama, ubicada dentro del cantón Otavalo, provincia de Imbabura, Ecuador, lleva un largo tiempo sin solución. Existen hogares situados en las periferias de la comunidad, que no cuentan con ningún tipo de abastecimiento adecuado y recurren a alternativas como son:

- Acarreo de agua desde los grifos comunales o desde casas de vecinos o amigos que si cuentan con el servicio.
- Compra de agua en botellones o botellas.
- Consumo de agua destinada para riego (esta posee altos contenidos de hierro que le da un olor y sabor desagradables).

En el pasado, esta comunidad rural estaba separada de la ciudad de Otavalo, sin embargo, la constante expansión de la urbe, ha desembocado en que colinden una con otra, separadas por el río Jatunyacu, a pesar de lo cual los servicios básicos y bondades que tiene el área urbana, no benefician a esta comunidad, que no cuenta con alcantarillado pluvial, posee calles de tierra en mal estado, y solo una reducida parte de la población cuenta con abastecimiento de agua potable municipal. Existen factores que no han permitido la urbanización de la comunidad, como el que los habitantes mantengan una forma de vida propia de una comunidad rural indígena, con la agricultura y la ganadería como principales actividades y una organización comunitaria, conformada por un cabildo y otros grupos, los cuales no han podido lograr introducir estas mejoras en la comunidad.

El objetivo principal propuesto consiste en realizar el estudio de un sistema de agua potable para la comunidad de Cotama, que cumpla con parámetros de cantidad y calidad, según las normas ecuatorianas vigentes. Esto incluye el diseño de las obras de captación, conducción, planta de tratamiento, reservorios y redes de distribución, así como presupuesto, cronograma, especificaciones técnicas y ambientales, manual de operación y mantenimiento, planos, entre otros; actividades que tienen como fin último el contribuir al fortalecimiento y desarrollo de esta zona, tan importante para la región.

Capítulo 1

1. Datos Generales del Proyecto

1.1 Nombre del proyecto

Diseño de un sistema de agua potable para la comunidad de Cotama, Cantón Otavalo, Provincia Imbabura, Ecuador.

1.2 Ubicación y límites del proyecto

País: Ecuador

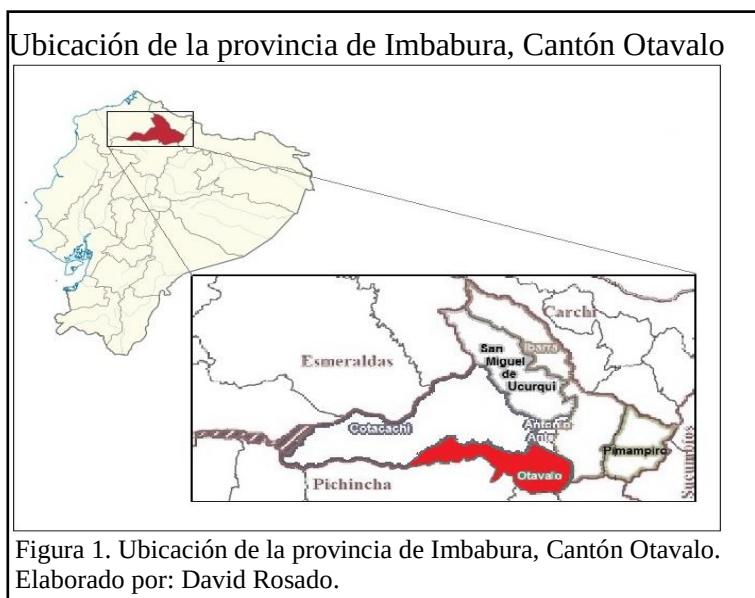
Cantón: Otavalo

Región: Sierra

Parroquia: San Luis

Provincia: Imbabura

comunidad: Cotama



El área de proyecto comprende toda la comunidad de Cotama, ubicada en la periferia norte del casco urbano de Otavalo, Figura 1 y Figura 2. La ciudad y la comunidad están separadas por el río Jatunyacu, siendo este accidente geográfico uno de motivos por el cual la comunidad sea catalogada como un asentamiento rural. Mediante el levantamiento topográfico, se definió la zona de proyecto, que abarca una superficie de 67.33 hectáreas, delimitado por las coordenadas UTM 17 SUR WGS84, véase la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de la Comunidad de Cotama

PUNTO	COORDENADA X	COORDENADA Y	ZONAS ALREDEDOR
Norte	804126,43	10028024,09	Loma de Cotama y comunidad Guanansi
Sur	804495,98	10027103,32	Río Jatunyacu, y barrio San Eloy
Este	805461,91	10027280,16	Vía Panamericana
Oeste	803804,66	10027765,95	Rio Ambi

Elaborado por: David Rosado



1.3 Aspectos de la Comunidad de Cotama

La comunidad de Cotama, se encuentra dentro de la parroquia San Luis. En el Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Otavalo, se refiere como “Cabecera Cantonal Otavalo” a las parroquias consideradas como urbanas de El Jordán y San Luis, conformadas por barrios urbanos, urbano marginales y

comunidades rurales, de las que San Luis posee 21, algunas de estas ya forman parte del casco urbano. (CELAEP, 2015)

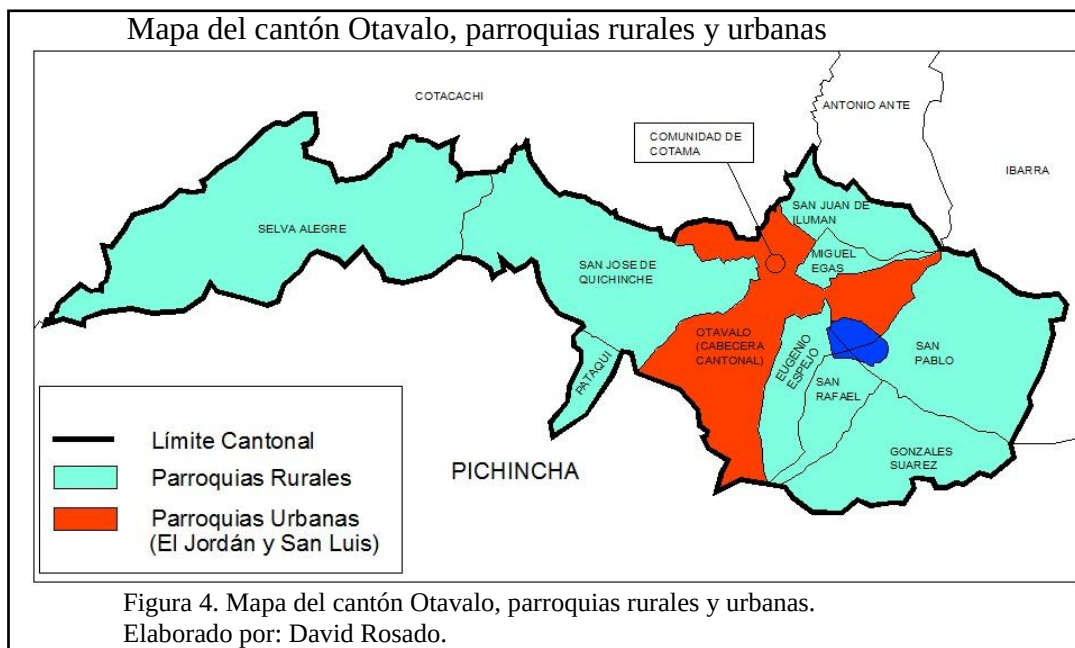
Existe una marcada diferencia entre la parte urbana marginal de la ciudad de Otavalo ubicada al margen sur del río Jatunyacu y la zona rural que comprende a la comunidad de Cotama, ubicada al margen norte del mismo. La Figura 3 muestra un panorama, donde se puede observar el contraste entre ambas facciones.



Acorde al levantamiento topográfico realizado por la empresa Hidrosoft Cía. Ltda., la altitud en la zona oscila entre los 2480 msnm y los 2525 msnm, se encuentra ubicada en las laderas sur de la Loma de Cotama, que posee una elevación aproximada de 2720 msnm.

La precipitación anual oscila entre los 800 a 900 mm/año, con una temperatura promedio de 14 a 18 °C. (CELAEP, 2015)

En la Figura 4 se presenta la ubicación de la comunidad en el cantón Otavalo, diferenciando parroquias rurales, y parroquias urbanas.



La comunidad de Cotama es de carácter rural, con viviendas dispersas y gran parte de la tierra dedicada a la siembra. Según se desprende del levantamiento topográfico, la comunidad cubre una extensión total de 67,33 hectáreas.

1.4 Monto

El estudio ha sido concebido para ejecutar la obra en dos fases o simultáneamente, cuyos montos de inversión son:

La fase I requiere un presupuesto de:	USD 98.616,78
La fase II requiere un presupuesto de:	USD 79.312,34
Total	USD 177.929,12

Los precios unitarios, cantidades de obra y rubros empleados para la obtención de los montos, se muestran a detalle en el presupuesto Anexo 17.

1.5 Plazo de ejecución

El plazo de ejecución para la primera fase es de 4 meses y para la segunda de 3 meses.

1.6 Participación Social

1.6.1 Socialización del proyecto:

El día 17 de septiembre del 2016, en la casa comunal de Cotama, se realizó una reunión entre representantes de la empresa HIDROSOFT CIA. LTDA., el Sr. David Rosado y dirigentes de la comunidad, con el fin de dar a conocer el proyecto y resolver inquietudes.

1.6.2 Entrega de información:

Para facilitar la realización del presente trabajo, la comunidad facilitó algunos insumos que se nombran a continuación:

Concesiones de agua para consumo, renovación de documentos, nombramiento de cabildos, pagos de agua (Anexo 1).

Nómina de usuarios de agua de la comunidad de Cotama (Anexo 2)

Censo Comunitario 2016 (Anexo 3)

Resultados de análisis de agua de las vertientes. (Anexo 4).

Al final del Anexo 1, se adjunta documento, donde las autoridades de la comunidad autorizan el uso de la información entregada para generar el estudio.

1.6.3 Reconocimiento del sistema de abastecimiento actual y área de proyecto:

En varias ocasiones se realizaron recorridos conjuntamente con los integrantes de la junta de aguas, con el fin de reconocer el estado y características del sistema de abastecimiento de agua existente en la comunidad, además de realizar aforos a las fuentes.

1.6.4 Encuestas Socio-Económicas:

De los 162 usuarios del sistema existente, contabilizados por la junta de aguas de la comunidad de Cotama, se encuestó a 49 familias que habitan en diferentes puntos de la comunidad (Anexo 5), durante los meses de octubre y noviembre de 2016, para recopilar información de diversos aspectos, útiles al desarrollo del presente proyecto, sujetándose al criterio que recomienda que para poblaciones pequeñas, se aplique el censo en una muestra de no menos del 30% del total (López, 2004), que ha permitido extraer varios parámetros de la población, tales como número de individuos, edades, estado civil, ocupación, educación, entre otros, así como otra información adicional que no tiene mayor relevancia para el presente estudio, que es de carácter eminentemente técnico, por lo cual se decidió usar el tamaño de muestra mínimo recomendado.

Capítulo 2

2. Diagnóstico y problema

2.1. Descripción de la situación actual del área de intervención del proyecto

2.1.1 Factor Económico

En la Tabla 2, se presenta la información obtenida en las encuestas (Anexo 6), respecto a las principales actividades económicas de la población, teniendo en cuenta que algunos encuestados se dedican a más de una actividad, por lo que el porcentaje se obtiene de la relación entre el el número de casos que se dió por cada actividad, versus el total de encuestados (49).

Tabla 2. Actividades Económicas de la población de la comunidad de Cotama.

ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN

Actividad	Casos	Porcentaje sobre el total de encuestados
		%
Agricultura	39	80%
Ganadería	13	27%
Otros	12	24%
Artesanías	8	16%
Comercio	5	10%
Microempresa	3	6%

Nota: Encuestas a la población.

Elaborado por: David Rosado.

Algunas familias se dedican a más de una actividad económica, sin embargo la agricultura representa el 80%, donde el principal cultivo es el de maíz, seguido de otros productos como frejol, papas, chochos, habas, arveja, quinua y hortalizas varias. Mayormente, los encuestados indican que los productos cosechados se destinan al autoconsumo.

La ganadería es la segunda actividad más practicada después de la agricultura, pero, en la mayoría de los casos, las familias solo cuentan con un reducido número de algún tipo de ganado, predominantemente vacuno, aunque también hay cerdos,

gallinas y ovejas, por lo que no se puede considerar como una actividad económica en potencia.

En la tabla, se refiere por “Otros”, a actividades económicas poco usuales en poblaciones rurales, tales como trabajos de oficina, mano de obra en la construcción, transporte, entre otros.

La elaboración de artesanías es algo propio de la población indígena, en toda la provincia de Imbabura. En la comunidad, existen familias que practican esta actividad, pero deben trasladarse a centros turísticos para expender sus mercancías.

La manufactura de productos de cualquier tipo es mínima. El comercio y la microempresa, son ocupaciones poco practicadas.

2.1.2 Población

De acuerdo al censo comunitario 2016 (Anexo 3), realizado por la junta de aguas, la comunidad de Cotama posee una población de 777 habitantes, que constituyen 181 familias, lo que da un promedio de 4,29 individuos por cada una. En la Tabla 3, se observa los resultados de la tabulación, y agrupación de los individuos por edad, por sexo, y por estado civil.

Tabla 3. Número de individuos de la comunidad de Cotama, clasificados por edad.

0-5 años	6-15 años	16-25 años	26-45 años	46-65 años	>65 años	Edad desconocida
77	152	171	175	112	74	16

Nota: Censo comunitario de la comunidad de Cotama 2016.

Elaborado por: David Rosado.

En cuanto a la etnia familiar, el 93,7% de las familias encuestadas se identifica como indígena o kichwa y el restante 6,3% como mestizos.

2.1.3 Vivienda

Según la Junta de Aguas de la comunidad de Cotama, existen 161 viviendas, algunas de estas desocupadas o visitadas ocasionalmente por sus dueños.

De las 49 encuestas realizadas a la población, respecto a las características constructivas más comunes, se obtiene que la mayoría de viviendas son de hormigón, ver Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de vivienda en la comunidad de Cotama
TIPO DE VIVIENDA

Tipo	Casos	Encuestados N°	Porcentaje %
Hormigón	25	49	51,0
Adobe Tapial	12	49	22,5
Estructura Mixta	11	49	22,5
Madera	1	49	2,0
Otros	1	49	0

Nota: Encuestas a la población.

Elaborado por: David Rosado.

En la mayoría de casos se construyen con la ayuda de familiares o amigos de la misma comunidad, pudiendo significar un problema, ya que no se realizan acogiendo principios técnicos. Del total de encuestados, el 100% respondió que la vivienda es propia.

2.1.4 Viabilidad y transporte

La comunidad de Cotama cuenta con tres vías de acceso vehicular:

Acceso 1: Desde la panamericana, a la altura de la marmolera, por la calle Los Pinos, El camino es de un solo carril, de tierra y se encuentra deteriorado.

Acceso 2: Desde la vía Selva Alegre, por la calle 4, se cruza un puente de un solo carril sobre el río Jatunyacu, el puente está deteriorado.

Acceso 3: Desde la vía Selva Alegre, por la calle 8, a la altura de la Escuela Luis de la Torre, se debe cruzar un puente de un solo carril sobre el río Jatunyacu, el puente está deteriorado.

Vías de acceso a la comunidad de Cotama.

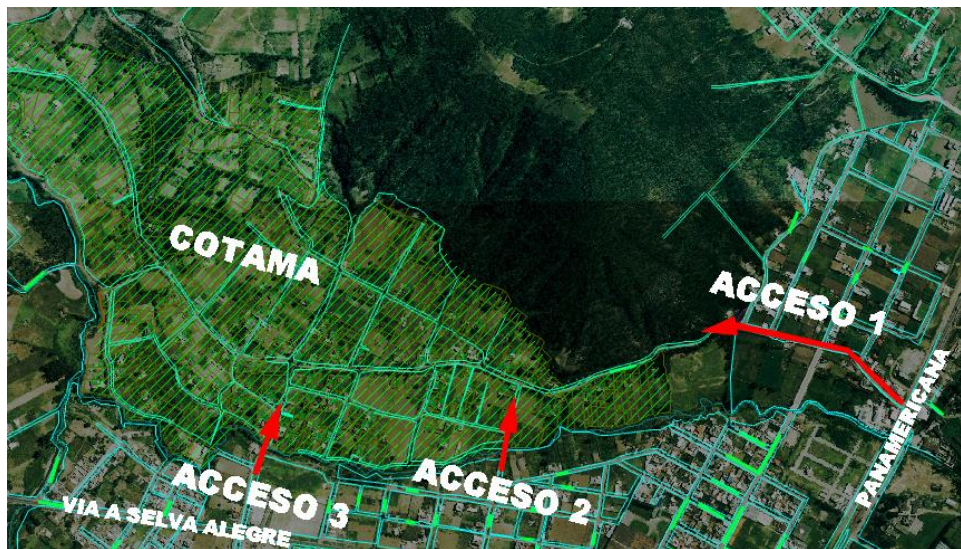


Figura 5. Vías de acceso a la comunidad de Cotama.
Elaborado por: David Rosado.

Además, existen algunos puentes peatonales rústicos de madera contruidos por los pobladores.

El estado de las calles en la comunidad es deplorable, solo existe una calle empedrada y está en mal estado, el resto son de tierra. Difícilmente se puede circular con un vehículo liviano, debido a las altas pendientes y depresiones en las vías; no existe sistema de drenaje pluvial, los habitantes manifiestan que en épocas de lluvias la escorrentía inunda las calles, arrastrando material hacia el río y empeorando aún más el estado de las calles.

2.1.5 Educación

Oferta Estudiantil: No hay instituciones educativas dentro de la comunidad, pero no representa un problema significativo, ya que existen 65 escuelas en la toda la cabecera cantonal de Otavalo (CELAEP, 2015). Para trasladarse a los centros educativos, toma alrededor de 10 a 30 minutos en transporte público.

Población estudiantil en la comunidad: 33 de los 49 encuestados indican que existe un individuo o más estudiando en su familia. Se cuantificó la población

estudiantil de acuerdo al nivel institucional, donde se puede observar que existe mayor cantidad de estudiantes de escolar. Ver Tabla 5.

Tabla 5. Población estudiantil en la comunidad de Cotama
POBLACIÓN ESTUDIANTIL EN LA COMUNIDAD

Nivel Institucional	Individuos estudiando	Porcentaje %
Escuela	35	51,5
Colegio	27	39,7
Universidad	6	8,8
TOTAL:	68	100

Nota: Encuestas a la población.
Elaborado por: David Rosado.

Analfabetismo: Se dan algunos casos de personas de la tercera edad que no pueden leer ni escribir. Y deben recurrir a la ayuda de terceros.

Idioma: La gran mayoría de personas habla castellano y quechua, Sin embargo, el idioma predominante y usado en el diario vivir de los pobladores, es el quechua.

2.1.6 Salud

Dentro de la comunidad no se encuentra unidades de salud, sin embargo, los pobladores expresaron que, por su cercanía, pueden trasladarse a cualquier unidad de salud.

En todo el cantón hay 14 unidades de salud y un hospital básico, y dentro de la cabecera cantonal, 4 centros de salud, 2 puestos de salud y 1 unidad anidada.

Las enfermedades más frecuentes en niños y niñas del Cantón, tanto en la zona urbana como en la rural son similares, aunque con una muy superior afectación en esta última. La morbilidad tiene múltiples causas como el cambio de clima, la desnutrición, la falta de aseo, el hacinamiento, la mala calidad del agua, desidia de la familia en el cuidado del niño, entre otras. (CELAEP, 2015)

2.1.7 Servicios Públicos Básicos

No existen todos los servicios básicos dentro de la comunidad de Cotama, de acuerdo a las encuestas, se tiene la siguiente información:

Comunicación:

Se cuenta con cobertura de telefonía fija y móvil e internet, sin embargo no todas las familias acceden a estos servicios, sea por razones económicas o porque las consideran innecesarias.

Energía Eléctrica:

El 100% de encuestados respondió que están satisfechos con el servicio eléctrico. Los pobladores manifiestan que hace algunos años, continuamente sufrían cortes de energía en algunos sectores, y el personal de reparación tardaba demasiado en restablecer la energía, esta situación ha mejorado mucho en la actualidad.

Agua de consumo:

Según la nómina de usuarios de la comunidad de Cotama, 162 usuarios o familias, ver Tabla 6, que representa el 89,5% del total de la población, se abastece mediante un sistema de agua entubada, que no satisface adecuadamente las necesidades tanto en calidad como en cantidad. Un reducido número de familias posee el servicio de la red pública de agua potable de Otavalo.

Según representantes de la Junta de Aguas, existen aproximadamente 10 familias o viviendas, que no cuentan con ningún tipo de abastecimiento en sus hogares.

Tabla 6. Formas de consumo de agua en la comunidad de Cotama.
FORMAS DE CONSUMO DE AGUA

Tipo	Casos	Encuestados Nº	Porcentaje %
Red pública	7	49	14,3
Vertiente	23	49	46,9
Ambos	13	49	26,5
Otros	6	49	12,2

Nota: Encuestas a la población.
Elaborado por: David Rosado.

Alcantarillado:

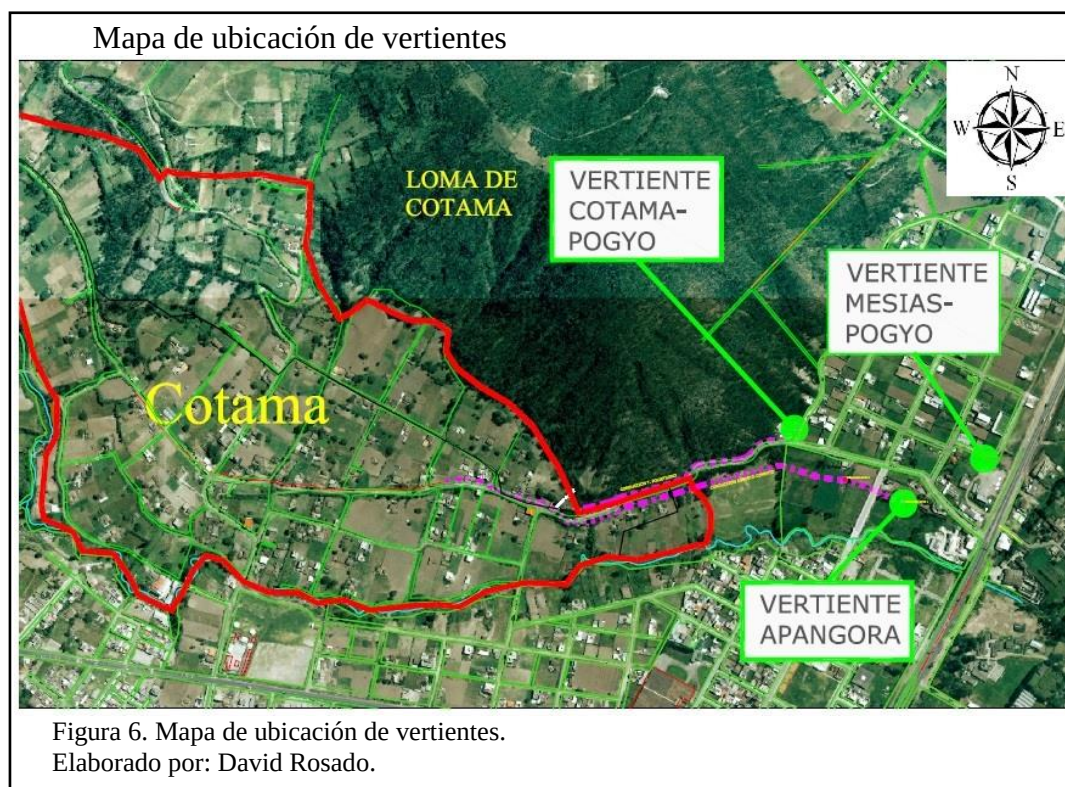
La comunidad de Cotama cuenta únicamente con un 80% de cobertura de alcantarillado sanitario, el porcentaje restante, correspondiente a un sector denominado “Ayana Loma”, está en extensión. Las tuberías recolectan las aguas servidas de las viviendas y las descargan directamente en el río Jatunyacu. El alcantarillado pluvial es una necesidad, ya que las lluvias generan escorrentías que dañan las calles de tierra y arrastran material hacia los cursos de agua.

2.2 Caracterización de los sistemas de abastecimiento de agua existentes**2.2.1 Aspectos legales**

La comunidad de Cotama tiene 4 fuentes de agua autorizadas para consumo humano, que necesitan ser actualizadas, denominadas: Apangora (expediente I-92-3148, año 1992, se autoriza un caudal 8 L/s); y, Cotama-Pogyo, Solar-Pogyo, Mesías-Pogyo, (Expediente I-82-1914, año 1982, se autoriza un caudal de 2 L/s de la vertiente Cotama-Pogyo únicamente), existen estructuras de captación en las vertientes Cotama Pogyo y Apangora, el caudal recolectado es aprovechado por la comunidad. En la fuente Mesías Pogyo, existe un muro que retiene y empoza el agua, posteriormente se conduce y descarga en el río, por tanto no está siendo aprovechada de ninguna manera. La fuente Solar-Pogyo, está siendo usada por la comunidad aledaña, denominada La Bolsa, con el consentimiento de la comunidad de Cotama. (Anexo 1)

2.2.2 Fuentes a utilizar

Para el presente caso se utilizarán todas las fuentes autorizadas, con excepción, de Solar-Pogyo. En la Figura 6, se puede observar la ubicación de las tres vertientes.



Las formas de abastecimiento de agua de consumo con las que cuenta la población de la comunidad de Cotama, son:

a) Viviendas abastecidas por el sistema de agua potable de la ciudad de Otavalo:

Un escaso número de hogares cuenta con el servicio de la red pública de agua potable de la ciudad de Otavalo, algunos incluso reciben también del entubado de la Junta de Agua de la comunidad y la ocupan preferentemente.

b) Viviendas abastecidas por la vertiente Apangora:

La parte baja de la comunidad se abastece de agua cruda proveniente de la vertiente “Apangora”, captada en un tanque y luego transportada mediante una conducción de asbesto-cemento, material que ha dejado de utilizarse para agua potable, ya que presenta limitaciones y deficiencias, como mayor susceptibilidad

a filtraciones, pérdida, con los años, de capacidad de recibir flujo a presión por pérdida del sello en las uniones; y, ha cumplido su vida útil.

c) Viviendas abastecidas por la vertiente Cotama-Pogyo:

Parte de la comunidad recolecta agua cruda de la vertiente “Cotama- Pogyo”, mediante un tanque de hormigón deteriorado y con vegetación creciendo en su interior, transportada a través de una conducción de manguera de polietileno que presenta frecuentes fugas, motivo por lo cual se organizan mingas periódicamente para realizar reparaciones. Además, la fuente alimenta dos grifos públicos (lavanderías comunales) para el uso de habitantes que no cuentan con abastecimiento, ya sea porque están situadas en una cota demasiado elevada, o porque a pesar de tener una conexión, el agua no logra llegar al lugar.

d) Viviendas sin abastecimiento:

Existen unos cuantos hogares situados en las periferias de la comunidad, que no cuentan con ningún tipo de abastecimiento adecuado y recurren a otras alternativas forzosas.

2.2.3 Apangora – Sistema de abastecimiento existente

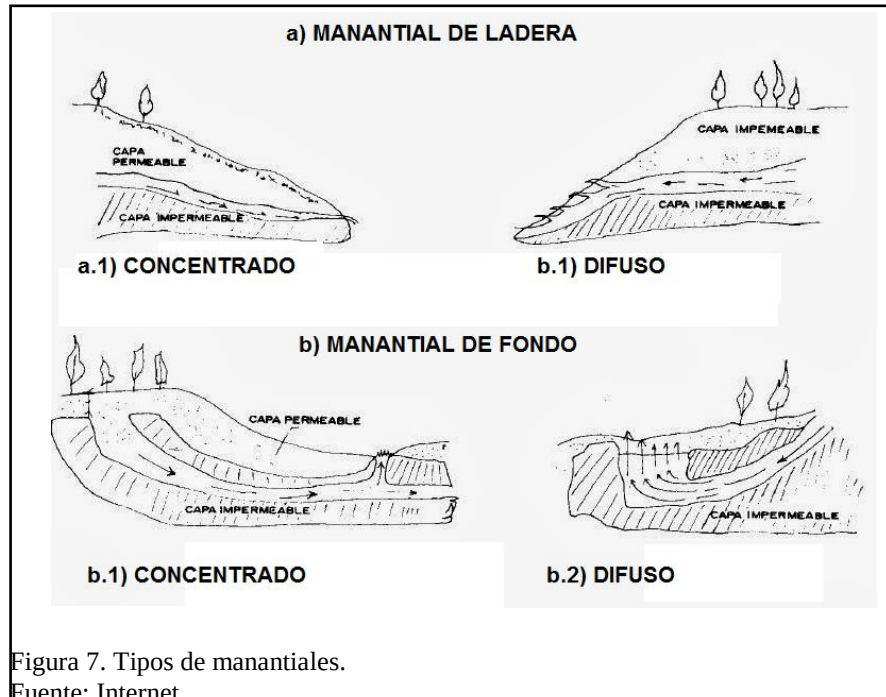
Tipo de fuente:

Consta de tres manantiales de ladera concentrados.

Un manantial es una fuente natural de agua, originada por la filtración de la precipitación a través de roca fisurada o suelo ubicado en un área elevada, y emerge en un lugar de menor altitud.

El agua que se filtra, forma acuíferos subterráneos, que son sitios donde el agua se acumula entre grietas o cavidades vacías. La filtración subterránea se detiene cuando el acuífero alcanza su capacidad máxima de retención, debido a capas impermeables que lo confinan, aflorando en zonas donde existen materiales porosos o granulares

como grava, arena o roca fisurada. Esto se detalla de mejor manera en la Figura 7, donde además se muestra la clasificación de los manantiales, según el sitio de afloramiento, (ladera o fondo), y según la forma en la que emergen (concentrado o difuso).



En la mayoría de casos, el agua de manantial posee características adecuadas para el consumo humano, al punto de que no requieren tratamiento alguno.

Como se presenta en la Tabla 7, hay tres puntos donde aflora agua, ubicados en los niveles 2511,51 (Captación #1), 2511,49 (Captación #2) y 2510,36 (Captación #3), que son recolectados, iniciando en la captación de la fuente #1, a través de una tubería de asbesto-cemento de 200 mm de diámetro interior, a lo largo de una distancia de 81 metros hasta la vertiente #2, y luego otros 31 metros hasta el tanque recolector No. 3, conduciendo un caudal total de 1,20 L/s.

Tabla 7. Aforos de vertiente Apangora.

AFORO VERTIENTE APANGORA

FECHA	SITIO	RESPONSABLE	MÉTODO USADO	CAUDAL (L/s)
20-oct-16	Tanque recolector No. 1	David R.	Volumétrico	1,14
20-oct-16	Tanque recolector No. 2	David R.	Volumétrico	0,06
20-oct-16	Tanque recolector No. 3	David R.	Volumétrico	0,08
17-sep-17	Tanque recolector No. 1	J.A. Cotama	Volumétrico	1,17
17-sep-17	Tanque recolector No. 2	J.A. Cotama	Volumétrico	0,05
17-sep-17	Tanque recolector No. 3	J.A. Cotama	Volumétrico	0,104

Nota: Para el diseño se utilizan los menores caudales medidos

Elaborado por: David Rosado.

El lugar donde se encuentran las fuentes no tienen ninguna protección natural o artificial, existe escasa vegetación en el área, a unos metros de la fuente #1, Figura 8, hay un relleno de tierra y escombros.

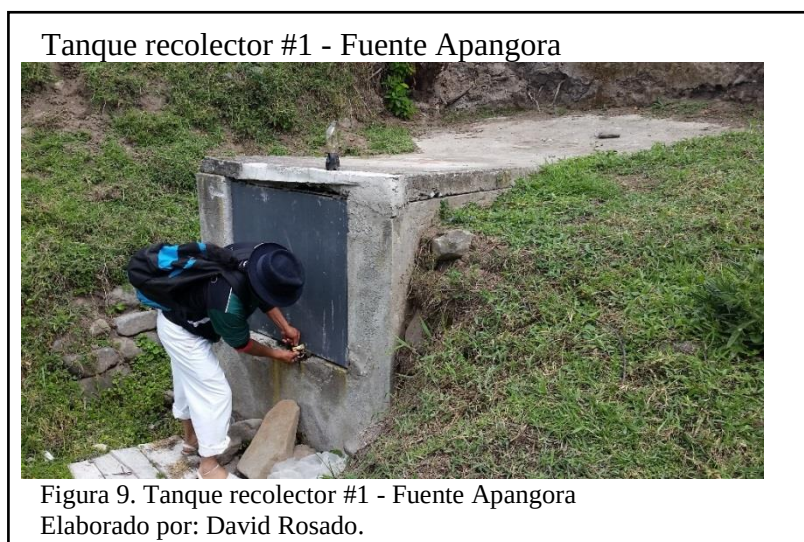


Captación:

La captación se realiza por medio de sendos tanques recolectores, descritos a continuación:

Tanque recolector #1 (ver Figura 9):

- Caja de hormigón de forma trapezoidal arrimada a la peña, de 4,0 m la base mayor y 1,40 m la menor, con 2,90 m de longitud entre ellas, adosada a una caja cuadrada, con una puerta de tol vertical para el acceso.
- Carece de los accesorios y elementos de diseño esenciales para desempeñar una adecuada función.
- Falta de mantenimiento, al interior del tanque hay muchas telarañas, algas y sedimento en el fondo.
- La caja cuenta con una tapa metálica de tol en buen estado.
- Se ha realizado un muro permeable de piedras en la superficie por donde aflora el agua.



Caja recolectora #2:

- Caja de 60 x 60 cm, al interior, construida de bloque y tapa de hormigón.
- Falta de mantenimiento, al interior hay telarañas, algas y sedimento en el fondo.

Caja recolectora #3 (ver Figura 10):

- Estructura de hormigón de varios niveles, que inicia con una caja trapezoidal adosada a la peña, de 4,0 m de base mayor y 1,40 m la menor, separadas 2,70 m; y dos cajas rectangulares más, a diferente nivel, con tapas de tol para el acceso a cada una de ellas.
- No contiene los elementos esenciales que le permitan realizar un adecuado funcionamiento.
- Falta de mantenimiento, al interior del tanque hay muchas telarañas, algas y sedimento en el fondo.
- Al tanque llega una tubería que transporta el caudal captado en los otros dos tanques recolectores No. 1 y 2. Los caudales se juntan y entran directamente a la conducción.
- Se puede observar un poco de agua fluyendo sobre la parte superior del tanque, lo que evidencia que no se está recogiendo todo el caudal adecuadamente.
- El tanque cuenta con una tapa metálica plana de tol en estado regular.
- El agua al interior del tanque es cristalina y tiene buena apariencia.

**Transferencia:**

Desde el tanque recolector #1, parte una tubería de asbesto-cemento Ø200mm, que pasa transversalmente bajo la vía adoquinada aledaña, a una profundidad de 4.0 m, recoge también las aguas del tanque #2 y la deposita en la caja de salida del tanque #3.

Conducción:

No existe conducción, toda vez que tampoco existe tratamiento ni tanque de almacenamiento.

Distribución:

Desde la caja de salida del tanque recolector #3, sale una tubería, también de asbesto-cemento Ø200mm, enterrada aproximadamente 60 cm, aunque es visible en algunos lugares, en una longitud aproximada de 322,50 m hasta la población, en cuyo recorrido se encuentran 2 cajas de revisión de 60x60 cm de sección interior, construidas de bloque y con tapa de hormigón, Figura 11.

Caja de revisión en la distribución de Apangora



Figura 11. Caja de revisión en la distribución de Apangora.
Elaborado por: David Rosado.

A 262,1 m desde el tanque recolector #3, existe un paso elevado de 10,7 m de longitud, Figura 12, construido mediante dos muros en los extremos, y una viga de hormigón, sobre la cual descansa la tubería de asbesto-cemento.

Paso elevado en la conducción Apangora



Figura 12. Paso elevado en la conducción Apangora.
Elaborado por: David Rosado.

Continúa luego otros 578,90 m a lo largo de la comunidad, donde cada cierta distancia se han construido cajas de piedra y cemento con tapas de hormigón, algunas de las cuales también funcionan como cajas de distribución, Figura 13, que desvían parte del caudal hacia las viviendas de cota más baja.

Caja de revisión de la distribución de fuente Apangora



Figura 13. Caja de revisión de la distribución de fuente Apangora.
Elaborado por: David Rosado.

En el interior de las cajas se evidencia el arrastre de algas; según los pobladores, la acumulación de algas llegó a obstruir el paso del agua en algún momento, Figura 14. Se pueden ver fotos adicionales en el Anexo 4.

Interior de caja y arrastre de algas desde la fuente Apangora

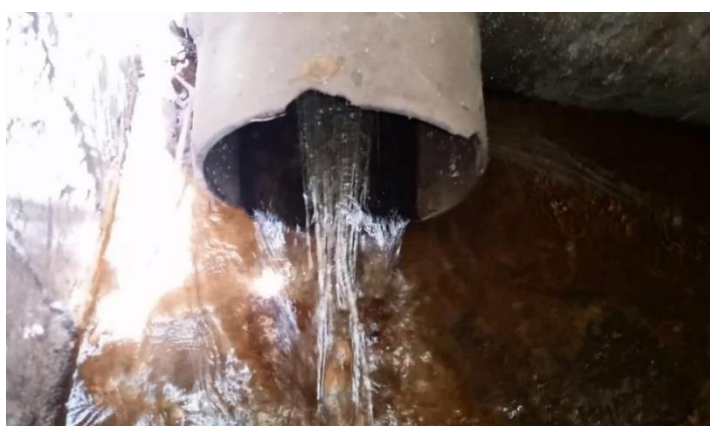


Figura 14. Interior de caja y arrastre de algas desde la fuente Apangora
Elaborado por: David Rosado.

Cuadro de coordenadas:

La ubicación de las estructuras existentes, Tabla 8, se lo hizo conjuntamente con miembros de la Junta de Aguas de la comunidad de Cotama.

Tabla 8. Cuadro de coordenadas (Apangora)

CUADRO DE COORDENADAS (APANGORA)

ESTE	NORTE	ELEVACIÓN	ZONA	COMPONENTE
805806,6	10027294,19	2511,51	17	Tanque recolector No. 1
805732,5	10027328,05	2511,49	17	Tanque recolector No. 2
805702,2	10027337,12	2510,36	17	Tanque recolector No. 3
805672,6	10027338,66	2511,801	17	Tapa de Caja de revisión
805431,9	10027322,45	2509,741	17	Tapa de Caja de revisión
805448,0	10027327,21	2508,648	17	Inicio paso
805437,7	10027324,13	2508,626	17	Fin paso

Nota: Levantamiento topográfico de la comunidad de Cotama.

Elaborado por: David Rosado.

2.2.4 Cotama Pogyo – Sistema de abastecimiento existente

Tipo de Fuente:

Manantial concentrado de fondo, es decir que aflora en una zona localizada, en la superficie del terreno. La definición de manantial, se encuentra en el numeral 2.2.3.

Y en la Figura 7.

Tabla 9. Aforos de vertiente Cotama-Pogyo

AFORO VERTIENTE COTAMA-POGYO

FECHA	SITIO	RESPONSABLE	MÉTODO USADO	CAUDAL (L/s)
27-may-17	Caja recolectora	David R.	Volumétrico	0,36
17-sep-17	Caja recolectora	J.A. Cotama	Volumétrico	0,717

Nota: Para el diseño se utilizan los menores caudales medidos

Elaborado por: David Rosado.

Caja recolectora y aforo de la vertiente Cotama Pogyo



Figura 15. Caja recolectora y aforo de la vertiente Cotama Pogyo
Elaborado por: David Rosado.

La captación se encuentra en un terreno cercado de propiedad de la comunidad, ubicado en la intersección de las calles Los Pinos y Eucaliptos, ver Tabla 9, Figura 15 y Figura 16, con un área de 226,80 m²; existe protección vegetal al interior del lote, constituida de hierba y vegetación introducida, de mediana altura.

Terreno cercado de la fuente Cotama- Pogyo



Figura 16. Terreno cercado de la fuente Cotama- Pogyo.
Elaborado por: David Rosado.

Captación:

La captación se realiza por medio un tanque recolector rectangular, ver Figura 17 y Figura 18, cuyas características se describen a continuación:

- Medidas internas: X=1,80m. Y=2,85m. Z=0,95m.

- El tanque está construido en hormigón. El fondo es de arena y por el mismo aflora el agua del manantial.
- Exceso de sedimentos al interior de la caja.
- En el interior crecen algas, que suelen obstruir la tubería de conducción.
- Los muros de hormigón tienen 30cm de espesor y la losa 15cm.
- Tiene una tapa metálica de tol, que permite acceder completamente al interior.
- El agua al interior del tanque es cristalina y tiene una buena apariencia.



Conducción:

No existe conducción, ya que tampoco existe tratamiento ni tanque de almacenamiento.

Distribución:

Desde el tanque de captación, sale una manguera de polietileno de 2" (50 mm) de diámetro, ver Figura 19, la cual se prolonga aproximadamente 340 m antes de las primeras viviendas; recorre por los márgenes de la calle Los Pinos y presenta varios problemas, mencionados a continuación:

- Corre al descubierto en algunos puntos, una de las causas es la erosión provocada por el escurrimiento de la lluvia sobre la vía, aparte de su escasa profundidad.

Distribución desde Cotama Pogyo descubierta



Figura 19. Distribución desde Cotama Pogyo descubierta.
Elaborado por: David Rosado.

- Existe un punto donde se observa la manguera, producto de la erosión del suelo, por escurrimiento de agua lluvia. Ver Figura 20.

Manguera desenterrada debido a erosión



Figura 20. Manguera desenterrada debido a erosión.
Elaborado por: David Rosado.

- Los pobladores mencionan que, en numerosas ocasiones, la línea de agua ha sufrido roturas o fugas, lo que les obliga a organizar mingas para repararlas. A lo largo existen varias reparaciones realizadas en diferentes tiempos. En la Figura 21, se puede observar una fuga evidente, por el suelo húmedo.

Fuga de agua en el recorrido de la tubería



Figura 21. Fuga de agua en el recorrido de la tubería.
Elaborado por: David Rosado.

- Para sortear una pequeña quebrada, se ha improvisado un paso elevado tendiendo un tronco que sostiene la manguera con alambre galvanizado. Ver Figura 22.

Paso elevado de conducción



Figura 22. Paso elevado de conducción.
Elaborado por: David Rosado.

El agua a las viviendas se deriva con manguera de ½", existen múltiples fugas, la tubería esta desenterrada en algunos puntos. Se observó conexiones o extracciones improvisadas, donde se inserta un tubo en el conducto principal, atado con bandas de caucho, que a la corta o a la larga provocan fugas en flujo a presión. Ver Figura 23.

Conexión improvisada de tubería



Figura 23. Conexión improvisada de tubería.
Elaborado por: David Rosado.

En la Figura 24, se observa un grifo público o comunitario, llamado “lavandería comunal” por la población, ideado para ser usado por los habitantes de viviendas en zonas demasiado elevadas de la comunidad, que ya no pueden ser abastecidas por los sistemas existentes.

Lavandería Comunal o Grifo comunitario



Figura 24. Lavandería Comunal o Grifo comunitario.
Elaborado por: David Rosado.

El grifo comunitario está ubicado a una altitud límite, Figura 25, ya que si se levanta aproximadamente 1 metro, el flujo de agua se detiene totalmente, lo que evidencia la deficiencia hidráulica del sistema.

Grifo Comunitario



Figura 25. Grifo Comunitario.
Elaborado por: David Rosado.

Cuadro de coordenadas:

Para conocer la ubicación de las estructuras existentes, fue necesaria la presencia de los miembros de la Junta de Aguas de la comunidad de Cotama.

Tabla 10. Cuadro de coordenadas (Cotama-Pogyo).
CUADRO DE COORDENADAS (COTAMA-POGYO)

ESTE	NORTE	ELEVACIÓN	ZONA	COMPONENTE
805611,31	10027427,43	2524,27	17	Tanque recolector
804990,8	10027410,82	2519,26	17	Grifo comunitario
805273,3	10027295,03	2519,48	17	Paso elevado

Nota: Levantamiento topográfico de la comunidad de Cotama.
 Elaborado por: David Rosado.

2.2.5 Mesías Pogyo – Caudal sin aprovechamiento

Fuente:

Es de manantial de Ladera difuso, aflora en diferentes puntos. La definición de manantial, se encuentra en el numeral 2.2.3. y en la Figura 7

La vertiente Mesías-Pogyo está autorizada para consumo humano, sin embargo, todo el caudal es desaprovechado por la comunidad, el cual se conduce y se vierte directamente al río Jatunyacu, ver Tabla 11.

Tabla 11. Aforos de vertiente Mesías –Pogyo
AFORO VERTIENTE MESÍAS-POGYO

FECHA	SITIO	RESPONSABLE	MÉTODO USADO	CAUDAL (L/s)
20-oct-2016	Tanque recolector	David R.	Volumétrico	1,08
17-sep-17	Tanque recolector	J.A. Cotama	Volumétrico	1,12

Nota: Para el diseño se utilizan los menores caudales medidos
 Elaborado por: David Rosado.

Captación:

Existe una estructura de captación en uno de los afloramientos de agua, mostrada en la Figura 26, conformada por un dique de hormigón, que mantiene al agua empozada, lo que produce el color verdoso y crecimiento de algas.

Estructura de captación existente, Mesías-Pogyo



Figura 26. Estructura de captación existente, Mesías-Pogyo.

Elaborado por: David Rosado.

Disposición final:

Después de recolectar diferentes afloramientos, el agua se canaliza a través de una tubería enterrada que pasa bajo una casa, para luego verter a un paso de agua en la calle los Pinos; que es donde se realizó el aforo. Finalmente, el agua se deposita en el río Jatunyacu.

Cuadro de coordenadas:

Para conocer la ubicación de las estructuras existentes, ver Tabla 12, fue imprescindible la presencia de los miembros de la Junta de Aguas de la comunidad de Cotama.

Tabla 12. Cuadro de coordenadas (Mesías-Pogyo).

CUADRO DE COORDENADAS (MESÍAS-POGYO)				
ESTE	NORTE	ELEVACIÓN	ZONA	COMPONENTE
805951,2	10027374,21	2529,16	17	Tanque recolector
805904,9	10027276,54	2515,62	17	Paso de agua

Nota: Levantamiento topográfico de la comunidad de Cotama.

Elaborado por: David Rosado.

2.3 Identificación y diagnóstico del problema

En la mayoría de casos, las comunidades rurales suelen tener una autonomía muy marcada, con gran capacidad de resolución de conflictos (CELAEP, 2015). Tal no es el caso de la comunidad de Cotama, que ha perdido esta capacidad de autogestión, probablemente, por su cercanía a la zona urbana, separada por el río Jatunyacu, en la esperanza de que los problemas comunitarios sean atendidos por la administración municipal de Otavalo. Sin embargo, la falta de apoyo de los gobiernos locales y la división física que produce el cauce del río, no permite que se cumpla esta expectativa. Ver el árbol de problemas presentado en el Anexo 15.

Otro asunto a tener en cuenta es la expectativa por la ejecución del proyecto de “Pesillo Imbabura”, el cual pretende abastecer grandes sectores de la provincia, sin embargo, Cotama no está incluido en este.

El sistema de agua potable, construido hace más de 25 años por la comunidad, paso a ser administrada por el cabildo, quienes descuidaron su mantenimiento y mejoramiento, produciendo su estado actual deplorable, con un abastecimiento deficiente y de baja calidad.

La Junta de Aguas de la comunidad se restableció poco tiempo atrás, con el objetivo prioritario de mejorar el abastecimiento de agua potable, en concordancia con el Plan Nacional del Buen Vivir, que en el numeral 2.4 de la Política y lineamientos estratégicos, literal “c”, señala: “Desarrollar infraestructura y mejorar mecanismos de distribución para ampliar el acceso a agua segura y permanente para sus diversos usos y aprovechamientos”; y, en la política 2.12, literal “j”, establece la universalización del acceso a agua potable; por lo que a través del presidente de la comunidad, solicitaron el apoyo de la Universidad Politécnica Salesiana; en

respuesta, se planteó el presente trabajo de titulación, bajo el asesoramiento de la empresa HIDROSOFT CIA. LTDA.

2.4 Línea Base del proyecto

De las encuestas se desprende que, de los 162 usuarios o familias de la comunidad, el 61,1% no reciben el servicio en forma continua, ni en la cantidad y calidad necesaria, el 100% no tienen medidores de agua, o alguna forma alternativa de medir el consumo, generando problemas entre los pobladores, ya que existen sectores donde se da mal uso al agua, en actividades de riego, que es uno de los factores que provoca la insuficiencia de agua en el sistema.

La Junta de Aguas indica que existen 10 familias que no cuentan con ninguna forma de abastecimiento en sus hogares, por lo que recurren a formas alternativas como son: compra de agua embotellada, acarrear desde grifos comunitarios, o de vecinos que si cuentan con el servicio, e incluso recurrir al empleo del agua destinada para riego, la cual contiene hierro, que no representa un riesgo para la salud, mientras no se consume en cantidades excesivas, tiene un olor desagradable y podría generar problemas por contaminación.

El sistema existente ya ha cumplido su vida útil, no cuenta con tratamiento o procedimientos de desinfección, ni tanque de reserva, desarenadores, sistemas de aforo, la conducción no tiene ningún tipo de válvulas, y los tanques de captación son de estructura muy básica.

La Junta de Aguas no está organizada adecuadamente, no disponen de un aguatero o personal encargado del mantenimiento y revisión del sistema.

De acuerdo a las encuestas, un 6% de los niños de la comunidad, desde el último año hasta el presente, padecen o han padecido enfermedades diarreicas, el 4,1%

enfermedades respiratorias, 8,3% enfermedades infecciosas, 14,5% de otros tipos de enfermedades, que podrían estar relacionadas con el consumo del agua sin tratamiento.

2.5 Análisis de oferta y demanda

2.5.1 Demanda

Población de referencia:

Es la población total dentro del área de influencia del proyecto, según el censo comunitario 2016, en la comunidad hay 181 familias con un total de 777 individuos, con un promedio de 4,29 moradores por familia.

Las proyecciones de la población futura, según la recomendación de la normativa ecuatoriana, se realizan mediante el método geométrico. (SENAGUA, 2016).

$$Pf = Pa (1 + r)^n$$

Dónde:

Pf = Población futura (habitantes)

Pa= Población actual (habitantes)

r= Tasa de crecimiento poblacional, expresada como fracción decimal.

n= Periodo de diseño, o lapso al cual se desea proyectar la población (años)

La tasa de crecimiento poblacional de la cabecera cantonal Otavalo de acuerdo a los censos 2001 y 2010, es del 1,98% (CELAEP, 2015), que arroja una población proyectada al año actual 2017 de 792 habitantes.

Población demandante potencial:

Es el sector de la población que podría adquirir del servicio ofertado, sin llegar a ser indispensable, por contar con otro tipo de beneficios que lo reemplace, como el

suministro de agua potable del municipio. Lo conforman 39 individuos aproximadamente.

Población demandante efectiva:

Comprenden alrededor de 10 familias sin ningún tipo de servicio de agua para consumo, y los 162 usuarios que consumen agua cruda del deficiente sistema existente, en total 172 familias, con un total de 738 habitantes en el 2016, proyectados a 753 individuos para el año 2017.

Población futura efectiva:

Dada la tasa de crecimiento de 1.98% y un horizonte de diseño recomendado por la norma de 20 años, tomando en cuenta al año 2018 como el año en el que entra en funcionamiento el proyecto (año 1) se obtiene una población futura efectiva de 1.115 habitantes en el año 2037 (año 20), aplicando el método geométrico recomendado en la norma para zonas rurales. Ver cálculos en Anexo 7.

En la Tabla 13, se muestra el resumen de las poblaciones descritas en los párrafos anteriores.

Tabla 13. Obtención de la población de diseño.

AÑO	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN POTENCIAL	POBLACIÓN EFECTIVA (POBLACIÓN DE DISEÑO)	Tasa Crecimiento (%)
2016	777	39	738	
PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN AL AÑO ACTUAL				
2017	792	40	753	1,98
PROYECCIÓN AL AÑO 2037 (PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS)				
2037	1172	59	1115	

Nota: Año 2018 se toma como el año 1, para la proyección a los 20 años de período de diseño..
Elaborado por: David Rosado.

2.5.2 Oferta

Oferta actual

Cierto sector de la comunidad de Cotama recibe 0,36 L/s de agua cruda proveniente de la vertiente Cotama-Pogyo, conducido mediante manguera de polietileno, y un caudal de 1,28 L/s desde la vertiente Apangora, hacia las zonas más bajas, a través de una conducción de asbesto-cemento. No existen componentes de tratamiento o almacenamiento, y los elementos de conducción y captación están desgastados, lo que no permite cubrir las demandas mínimas en cantidad y calidad del abastecimiento. Por tanto, se considera que la oferta es nula.

El servicio de agua potable ofertado por el municipio de Otavalo dentro de la comunidad de Cotama abastece a tan solo 24 personas.

Oferta futura

La oferta de este servicio, que actualmente abastece a 24 habitantes, se espera crezca proporcional a la tasa de crecimiento, con lo que para el 2037 sería de 36 habitantes.

2.5.3 Demanda insatisfecha (déficit)

La población total proyectada en el horizonte de diseño es de 1.151 habitantes, incluidos los 36 habitantes que reciben agua de Otavalo, según se concluyó en el párrafo inmediato anterior, con lo cual la demanda para el año 2037, sería de los 1.115 restantes, coincidente con lo determinado en 2.5.1.

La capacidad requerida en la captación para satisfacer la población futura al año 2037, es de 1,74 L/s, lo cual es posible obtener, reuniendo los caudales provenientes de las tres fuentes disponibles.

Cotama tiene la autorización de uso doméstico, de tres vertientes ubicadas en el sector, Tabla 14, que necesitan ser renovadas.

Tabla 14. Vertientes ubicadas en el sector.

FUENTE	Q. AFORADO (L/s)
Apangora #1	1,14
Apangora #2	0,06
Apangora #3	0,08
Cotama Pogyo	0,36
Mesías Pogyo	1,08
TOTAL	2,72

Elaborado por: David Rosado.

Identificación y caracterización de la población objetivo

El proyecto para agua potable de la comunidad de Cotama, proveerá de agua potable segura a una población futura, al año 2037, de mil ciento quince habitantes, obtenido mediante proyecciones de población, ya explicadas. Ver Tabla 13.

Capítulo 3

3. Objetivos del proyecto

3.1. Objetivo General

Realizar el estudio de un sistema de agua potable para la comunidad de Cotama, que cumpla con parámetros de cantidad y calidad, según las normas ecuatorianas vigentes.

3.1 Objetivos Específicos

- Diseñar obras de captación, con la capacidad de recolectar los caudales necesarios para satisfacer la demanda, cumpliendo con todos los parámetros y normativas técnicas ecuatorianas.
- Diseñar obras de conducción, con la capacidad para transportar el líquido a sitios específicos, cumpliendo con velocidades, presiones y demás parámetros técnicos y normativas técnicas ecuatorianas.
- Implementar una planta de tratamiento modular, que permita obtener índices de calidad apropiadas en el agua de consumo según la normativa ecuatoriana.
- Diseñar reservorios, con la capacidad de cubrir las demandas durante el tiempo, cumpliendo con los volúmenes de almacenamiento de acuerdo a parámetros y normativas técnicas.
- Diseñar una red de distribución, que satisfaga las necesidades de la población, cumpliendo con dotaciones, presiones y demás parámetros y normativas técnicas.
- Diseñar sistemas bombeo e impulsiones, que eleven los caudales desde zonas bajas, cumpliendo velocidades, horas de bombeo, y demás parámetros y normativas técnicas.

Para el planteamiento de objetivo general y específicos, se usó la metodología del árbol de problemas, y el árbol de objetivos. Estos permiten formular el proyecto de manera ordenada, conociendo las falencias y posibles soluciones que conlleva el proyecto. Ver Anexo 15.

3.2 Matriz de marco lógico

La matriz de marco lógico permite la formulación, diseño, planificación, ejecución y evaluación de un proyecto de una manera estructurada. Consta de columnas que denotan metas, indicadores, fuentes de verificación y supuestos, mientras que las filas denotan acciones, resultados, propósito y fin. Ver Anexo 15.

Capítulo 4

4. Estudios Básicos

4.1 Relieve

En el sector de la cabecera cantonal hacia el noroeste, se observan llanuras de ablación, esto es, con una topográfica plana o poco inclinada, en la cual los interfluvios quedan reducidos a relieves muy atenuados; sus valles no están encajonados. El proceso de ablación involucra pérdida de masa (nieve o hielo) de un glaciar, por sublimación o fusión, provocada por insolación, aire caliente, agua, calor de la tierra, etc. Corresponde a la parte negativa del balance glaciario. (CELAEP, 2015)

4.2 Geología

“El valle de Otavalo se distribuye uniformemente a lo largo de una dirección NO – SE con depósitos cuaternarios (QA) de aproximadamente 100 kilómetros cuadrados de superficie. Hacia el Occidente del Cantón, se puede encontrar un paquete de rocas volcanoclásticas de las formaciones Yunguilla, Piñón, Silante y Machuchi, de edad Pre-Cretácica, con rumbos de emplazamiento preferenciales N-NE.” (CELAEP, 2015).

4.3 Suelos

4.3.1 Clasificación Taxonómica

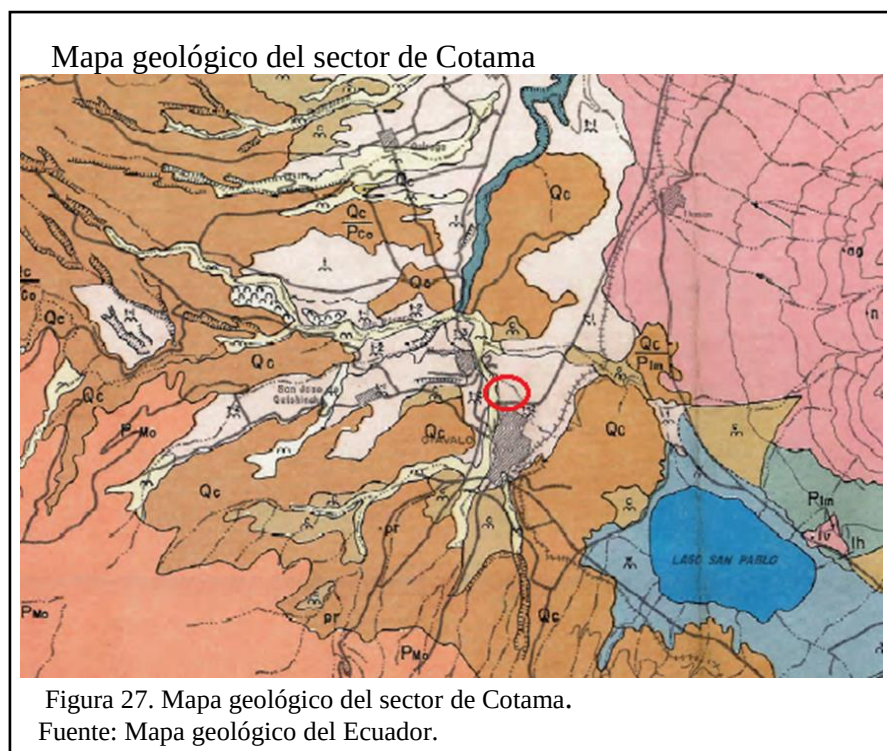
Los suelos dominantes en el cantón son los inceptisoles, incluyendo la zona donde se halla asentada la comunidad de Cotama, no presentan intemperización extrema, generalmente son suelos de bajas temperaturas, pero se desarrollan de igual manera en climas húmedos (fríos y cálidos), presentan alto contenido de materia orgánica, con una baja tasa de descomposición de esta debido a las bajas temperaturas, pero en climas cálidos esta tasa aumenta, pH ácido, en ocasiones presentan permafrost, el

cual no existe en la zona de estudio, poseen mal drenaje y acumulan arcillas amorfas. (CELAEP, 2015).

4.3.2 Características Mecánicas

Se determinó las características mecánicas aproximadas del terreno, a partir de la geología del sector, y de una comparación con estudios de suelos en las proximidades de la comunidad de Cotama. Ver Figura 27.

En el sector predomina la Formación cangahua, que está conformada por cenizas o tobas volcánicas con intercalaciones de piroclastos de pómez.



La cangahua se caracteriza por tener valores de capacidad de carga portante medianos a altos, como un valor conservador, se recomienda usar un valor de 10 a 12 t/m^2 .

Los empujes de tierras sobre muros o paredes de contención, pueden ser evaluados con los siguientes parámetros, correspondientes a un material granular de buenas características:

$$\gamma = 1,80 \text{ T/m}^3 \quad \phi = 23^\circ \text{ a } 33^\circ$$

En todo caso, la densidad del material de relleno sobre muros, no debe ser menor a $1,40 \text{ T/m}^3$, según las especificaciones del MTOP.

La estabilidad de la excavación depende de la cohesión de los suelos encontrados, y en el caso de las tobas son favorables para taludes verticales en excavaciones temporales, pero siempre tomando medidas de seguridad básicas como las siguientes:

- Programar los trabajos de excavación para épocas de verano.
- No dejar expuesto los taludes a la intemperie, es conveniente que estos sean protegidos y/o apuntalados.

Se deberán realizar estudios de comprobación, previa a la construcción de la obra, como sondeos manuales o toma de muestras inalteradas para realizar ensayos triaxiales.

4.4 Amenazas

4.4.1 Peligro Volcánico

“Dentro de los peligros volcánicos, los que más han modelado la geografía del Cantón han sido aquellos provenientes del edificio volcánico Imbabura. El Taita Imbabura, producto de un sistema abierto de extrusión de magma apoyado por el tectonismo local, presenta un periodo de formación importante, entre 8000 a 4000 años antes del presente. La principal amenaza tiene que ver con los eventos efusivos con caída de ceniza volcánica.” (CELAEP, 2015)

4.4.2 Peligro Sísmico

“Cada siglo, al menos dos sismos de importancia han sido sentidos en la provincia de Imbabura.” (CELAEP, 2015).

“El último sismo de importancia en la provincia de Imbabura, tuvo su epicentro en el sector de Santa Rosa, 5 Km al Sur-Sureste de Ibarra, registrado el 8 de octubre del 2000 y con una magnitud de 5,4 grados en la escala de Richter, originado a una profundidad de 7,9 Km. Sin embargo, el 16 de abril del año 2016, se registró un sismo de magnitud 7,8 en la escala Mw, en zonas de la costa, sentido en todo el país.” (CELAEP, 2015)

La Norma Ecuatoriana de construcción actualizada en el 2015 (NEC-2015), presenta un mapa de riesgo sísmico, encontrándose la sierra norte del país en la zona IV, catalogada como de muy alta intensidad sísmica, con un factor Z, para diseño sismo resistente de estructuras, igual a 0,4g.

4.5 Recurso Agua

De acuerdo a la Metodología Pfafstetter, para la delimitación y codificación jerárquica de las unidades hidrográficas del Ecuador, por tipología: cuenca, intercuenca y cuenca interna, desde el ámbito continental (Nivel 1), hasta los niveles 2, 3, 4 y 5 en todo el territorio, el sector Cotama, se halla ubicado dentro de la Unidad Hidrográfica 1548 (Cuenca Río Ambi), de nivel 4.

La red fluvial está formada por el río Ambi y sus nueve afluentes, pertenecientes a sus respectivas unidades hidrográficas nivel 5, de entre las que destaca la Unidad Hidrográfica 15489, por la presencia del gran lago San Pablo; y, haciendo de límite provincial, el sistema lacustre de Mojanda, ocupando 22.883 ha de la parte sur de la provincia, formada por valles interandinos, con límites montañosos bien definidos.

Su rango altitudinal varía desde 2.534 msnm en su parte norte, a los aproximadamente 4.494msnm, en las faldas del volcán Imbabura. Del lago San Pablo, parte el río Jatunyacu, en cuya microcuenca, precisamente se halla Cotama, alimentado en su trayecto por múltiples vertientes.

Los caudales de garantía para la unidad hidrográfica de San Pablo, diferenciando entre período anual, época seca y época lluviosa se dan en la Tabla 15.

Tabla 15. Caudales de Garantía de la Unidad Hidrográfica del Lago San Pablo (m³/s).

UNIDAD HIDROGRÁFICA		ANUAL		ÉPOCA SECA		ÉPOCA LLUVIOSA	
CÓDIGO	NOMBRE	Q95	Q75	Q95	Q75	Q95	Q75
15489	Unidad Hidrográfica 15489	1,32	1,39	1,23	1,29	1,34	1,44

Fuente: Inamhi, 2016.

En la delimitación de cuencas y cuerpos de agua, desde el punto de vista hidrológico, y de acuerdo a la metodología jerárquica de Pfafstetter utilizada por SENAGUA, el cantón Otavalo se encuentra dentro de la región 1 a la que pertenecen el 48,59% del país, que comprende las áreas que drenan hacia el océano Pacífico, ver Tabla 16 (PDOT, 2015).

Tabla 16. Ubicación del cantón en el sistema hidrológico (Pfafstetter)

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
Región Pacífico	1	Unidad 15 Pacífico (Hacia el Norte de la cuenca del Guayas)	Unidad 154	Unidad 1548
			Río Mira	Río Ambi
				Río Blanco

Fuente: PDOT, 2015

4.5.1 Hidrología

Para el estudio de los recursos hídricos es importante disponer de la información que suministran las estaciones hidrométricas o de aforo ubicadas en los cursos de agua, sin embargo, los datos hidrométricos disponibles en la provincia de Imbabura son escasos, en la cuenca de San Pablo, que es la que interesa, no hay una estación operativa, las más cercana es la Unidad Hidrográfica 15485 (Cuenca Río Cariyacu) y la 15488 (Cuenca Río Blanco).

Existe una estación ubicada antes de la junta del río Jatunyacu con el río Blanco, pero ya lleva más de 30 años inactiva. Sin embargo se logró obtener mediciones de caudales durante su tiempo de operación entre 1965 a 1985, según se reporta en la Tabla 17.

Tabla 17. Caudales Medios Mensuales en Estación Jatunyacu AJ Blanco.

Caudales medios mensuales en estación Jatunyacu AJ Blanco.
Periodo de funcionamiento: años 1965-1985 (m³/s)

Código estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	caudal medio
H0025	1,37	1,56	1,73	2,12	1,93	1,43	0,87	0,62	0,62	1,09	1,54	1,44	1,18

Fuente: Inamhi, 2016;

4.5.2 Hidrogeología

Para obtener una caracterización hidrogeológica, se utiliza cartografía de la capacidad de percolación de la roca, que da una visión general de las zonas que presentan mayor probabilidad para extracción de aguas subterráneas, como función directa de las permeabilidades relativas (una mayor permeabilidad, sugiere una mejor posibilidad de la presencia de agua subterránea), al presentarse mayor capacidad de percolación de agua hacia los estratos inferiores.

La zona de Cotama está ubicada en una zona de permeabilidad media, con abundantes acuíferos observables en esta zona, perteneciente a la unidad hidrogeológica, “Acuífero Otavalo-Ibarra”, que se localiza entre las ciudades de Ibarra, Cotacachi, Otavalo y San Pablo, que constituye una reserva de agua importante, de acuerdo a los datos de pozos explotados en la zona. Las aguas subterráneas drenan hacia los ríos Blanco y Tahuando principalmente.

En la unidad hidrológica 15489 (San Pablo), se estima una oferta de agua subterráneas de 0,52 m³/s. (Inamhi, 2016).

4.5.3 Caracterización de las vertientes de Cotama

Al no poseer datos históricos del comportamiento de las vertientes de Cotama, que sería el escenario ideal, se recurre al conocimiento de la gente, por un lado, en especial de los miembros de la junta de agua, que manifiestan que las fuentes nunca han perdido su caudal, experimentando aumento en épocas de invierno y disminución en estiaje, comportamiento habitual de toda vertiente. Adicionalmente, ya en 1982, el ex-INNERHI (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos), y posteriormente el CNRH (Consejo Nacional de Recursos Hídricos), en 1992, concesiona las mentadas fuentes, lo cual da fe de su continuidad en el tiempo. Posteriormente, aproximadamente 25 años atrás, se inicia la construcción de infraestructura para utilizar esas aguas para consumo humano. Puede apreciarse en el terreno de la vertiente Cotama Pogyo, una inscripción en la pared, con fecha 2002, agradeciendo al municipio de Otavalo y al ex - DRI, por las obras realizadas.

Por último, en el Plan de Riego y Drenaje de Imbabura, que está desarrollando el Gobierno Provincial de Imbabura, se tratarán los aspectos hídricos aplicables al sector, y también tomará en cuenta al canal de riego Cotama, cuyas vertientes se

hallan a escasa distancia de las fuentes de Cotama utilizadas para consumo humano. Todos estos elementos nos dan la seguridad de la permanencia de estas vertientes.

4.5.4 Calidad del agua

El agua suministrada debe estar libre de sustancias químicas y microorganismos que puedan causar enfermedades. Existen Normas de higiene y calidad que deben cumplirse, evitando epidemias y fomentando un cambio gradual, hacia una preocupación por mejorar y conservar la calidad de agua para consumo.

Las disposiciones establecen un conjunto de criterios y normas de la calidad de agua para consumo humano, de modo que se garantice que el consumidor no ingiera sustancias tóxicas o nocivas para la salud, no microorganismos patógenos, para así preservar la salud pública.

Para el estudio de calidad de agua se tomó en cuenta los resultados de análisis físico químicos y microbiológicos del agua captada de las vertientes y del agua de las redes de distribución, que abastecen a la comunidad de Cotama, solicitados al GAD Municipal de Otavalo por la Junta de Agua de Cotama el 22 de octubre del 2015. Previo a la ejecución del proyecto, se recomienda realizar análisis de agua en las fuentes, con el fin de actualizar la información utilizada en el diseño. Se sugiere que durante el proceso de la construcción se realicen los análisis de agua pertinentes, para ajustar los parámetros de los análisis realizados, que se muestran a continuación:

4.5.4.1 Agua Cruda de la Junta de Agua de Cotama para consumo humano

Análisis Físico – Químico en las fuentes

Tabla 18. Análisis físico - químicos del agua cruda de la Junta de Agua de Cotama para consumo humano

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible (TULAS, Libro VI, Anexo 1, Tabla 1)	Límite máximo permisible NTE INEN 1 108:2006	Vertiente Apangora (Junto al Puente de Miravalle)	Vertiente Cotama Puyo (Miravalle)	Resultados
Color	UTC	75	15	2	0	Cumple
Conductividad Eléctrica (CE)	µs/cm	-	-	371	437	No aplica
Potencial de Hidrógeno	pH	6 - 9	6,5 – 8,5	6,88	6,78	Cumple
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	1000	178,1	211,0	Cumple
Turbiedad	NTU	100	5	0,06	0,28	Cumple
Amonio (N-NH ₃)	mg/L	-	1	0,00	0,02	Cumple
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	50,0	10	1,7	1,0	Cumple
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L	0,2	0,0	0,001	0,000	Cumple
Fósforo (P-PO ₄)	mg/L	-	0,1	0,43	0,30	No Cumple
Flúor (F)	mg/L	1,5	1,5	0,51	0,76	Cumple
Hierro (Fe)	mg/L	1,0	0,3	0,13	0,00	Cumple

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio – Junta de Agua de Cotama, 2015

Los resultados obtenidos en el análisis físico – químicos de calidad de agua, Tabla 18, captada para el proyecto indican que los parámetros en su mayoría cumplen con los límites permisibles presentados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 - Agua Potable. El caso del Fósforo (P-PO₄) se desvía un poco y no cumple con los límites permisibles.

Comparando con los Criterios de Calidad del Libro VI, Anexo 1, Tabla 1. Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, del TULSMA, cumplen con los criterios de calidad.

Análisis Microbiológicos en las fuentes

En el análisis microbiológico de las fuentes, Tabla 19, se encuentran altos niveles de coliformes totales, pero debido a que el agua se captó directamente en la naturaleza no aplica la norma, y si se desea utilizar para consumo humano se requiere un proceso continuo de desinfección.

Tabla 19. Análisis microbiológicos del agua cruda de la Junta de Agua de Cotama para consumo humano

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible NTE INEN 1 108:2006	Vertiente Apangora (Junto al Puente de Miravalle)	Vertiente Cotama Pugyo (Miravalle)	Resultados
Coliformes Totales	N.M.P./100 ml	< 2	285	91	No aplica
E. Coli	N.M.P./100 ml	< 2	< 1	< 1	No aplica

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio – Junta de Agua de Cotama, 2015

4.5.4.2 Agua proveniente de la red de distribución de la Junta de Agua de Cotama

Análisis Físico – Químico en la distribución

En la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos del análisis físico – químico, proveniente de las redes de distribución de la Junta de Agua de Cotama.

En el caso del Cloro Libre residual existe ausencia, debido a que la Junta de Agua de Cotama no realiza desinfección del agua proveniente de las captaciones en las captaciones. Los parámetros restantes según los resultados obtenidos en el análisis físico – químicos, indican que los parámetros cumplen con los límites permisibles presentados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 - Agua Potable.

Tabla 20. Análisis físico - químicos proveniente de las redes de distribución de la Junta de Agua de Cotama

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible (TULAS, Libro VI, Anexo 1, Tabla 1)	Límite máximo permisible NTE INEN 1 108:2006	Familia Quilimbang o Cabascango	Casa de Sr. Raúl Alanuca	Grifo Público (frente a casa del Sr. Luis Arellevo Farinango)	Grifo público (cerca de la casa de la Sra. Mercedes Moreta-1ª línea)	Caja pública (2ª línea final)
Cloro Libre Residual	mg/L	-	0,3 a 1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Color	UTC	75	15	0	0	1	1	1
Conductividad Eléctrica (CE)	µs/cm	-	-	451	445	447	445	390
Potencial de Hidrógeno	pH	6 - 9	6,5 – 8,5	6,76	6,78	6,82	7,00	7,01
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	1000	218	213	216	215	188
Turbiedad	NTU	100	5	0,04	0,04	1,16	0,39	0,07

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio – Junta de Agua de Cotama, 2015

Comparando con los Criterios de Calidad del Libro VI, Anexo 1, Tabla 1. Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, del TULSMA, cumplen con los criterios de calidad.

Análisis Microbiológicos en la distribución

En la Tabla 21, se presentan los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos provenientes de las redes de distribución de la Junta de Agua de Cotama.

Según los límites máximos permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 - Agua Potable, los resultados de los análisis microbiológicos no cumplen, debido a que no se dispone de tratamiento previo.

Tabla 21. Análisis microbiológicos del agua cruda de la Junta de Agua de Cotama para consumo humano

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible NTE INEN 108:2006	Familia Quilimbango Cabascango	Casa de Sr. Raúl Alanuca	Grifo Público (frente a casa del Sr. Luis Arellevo Farinango)	Grifo público (cerca de la casa de la Sra. Mercedes Moreta-1ª línea)	Caja pública (2ª línea final)
Coliformes Totales	N.M.P. /100 mL	< 2	>2420	41	58	78	2420
E. Coli	N.M.P. /100 mL	< 2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio – Junta de Agua de Cotama, 2015

Capítulo 5

5. Diseño del sistema de agua

5.1 Planteamiento de alternativas

El levantamiento topográfico fue realizado por el personal técnico de la empresa HIDROSOFT Cía. Ltda. Se tomó en cuenta el área de cobertura del proyecto y además las posibles alternativas de donde se colocarán los diferentes elementos del sistema, como las captaciones, conducción, tanque de almacenamiento y demás.

Del análisis topográfico del nacimiento de las tres fuentes, se desprende que no es posible alimentar por gravedad a toda la población de Cotama, dado que extensas zonas se asientan en terrenos elevados por sobre las cotas de captación, factor que sumado a las pérdidas hidráulicas dinámicas daría muy bajas presiones e incluso nulas. Por ello en cualquier alternativa que se adopte, es necesario utilizar bombeo hacia un tanque elevado. A continuación, se presenta el planteamiento de dos alternativas consideradas las más idóneas:

5.1.1 Alternativa 1

Consiste en recolectar el caudal necesario de 1,74 L/s, determinado en el numeral 2.5.3, captando la fuente Mesías Pogyo (1,08 L/s), por gravedad, conducirlo hacia el sitio de la vertiente Cotama Pogyo (0,36 L/s), donde se pretende construir las estructuras de tratamiento de agua, y completar la demanda requerida, bombeándolo desde las fuentes de Apangora. A partir de aquí, una parte del caudal sedimentado y tratado se enviará a un tanque de almacenamiento (T#1), desde el que se distribuirá a 100 viviendas, que ocupan un área de 21,66 ha, de la parte baja de Cotama, que para efectos prácticos se lo nombrará como “Sistema B”, y lo restante, mediante bombeo, hacia un tanque elevado (T#2), para abastecer 61 viviendas dispersas en 18,90 ha, de las partes altas de Cotama, denominada “Sistema A”. Gracias a esta conformación, es

posible dividir el proyecto en dos etapas, una primera, referida a la construcción de la parte que funciona a gravedad, para proveer a la zona Baja, y una segunda fase, en la cual se construirá el “Sistema A”, alimentado por bombeo. Un bosquejo del sistema completo para la alternativa #1, puede observarse en la Figura 28.

Esquema de la alternativa #1

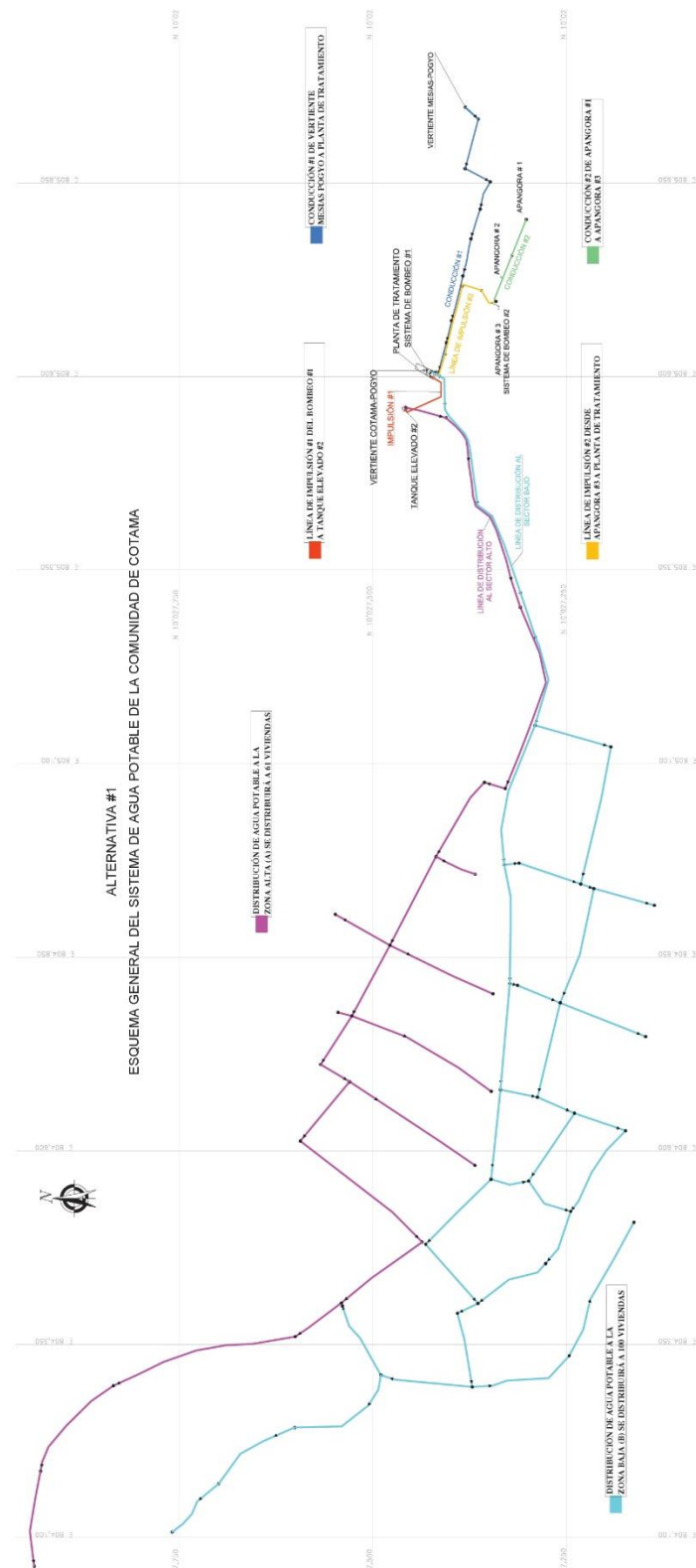


Figura 28. Esquema de la Alternativa #1
Elaborado por: David Rosado

5.1.2 Alternativa 2

La alternativa 2, consiste en recolectar las tres fuentes hacia el sitio donde nace Apangora #3, que es la de cota más baja, donde se implementaría la planta de tratamiento y cárcamos para elevar el agua, mediante bombeo, a un tanque elevado único, el cual proporcionará el suministro a toda la comunidad. La alternativa # 2 se esboza en la Figura 29.

Esquema de la alternativa #2

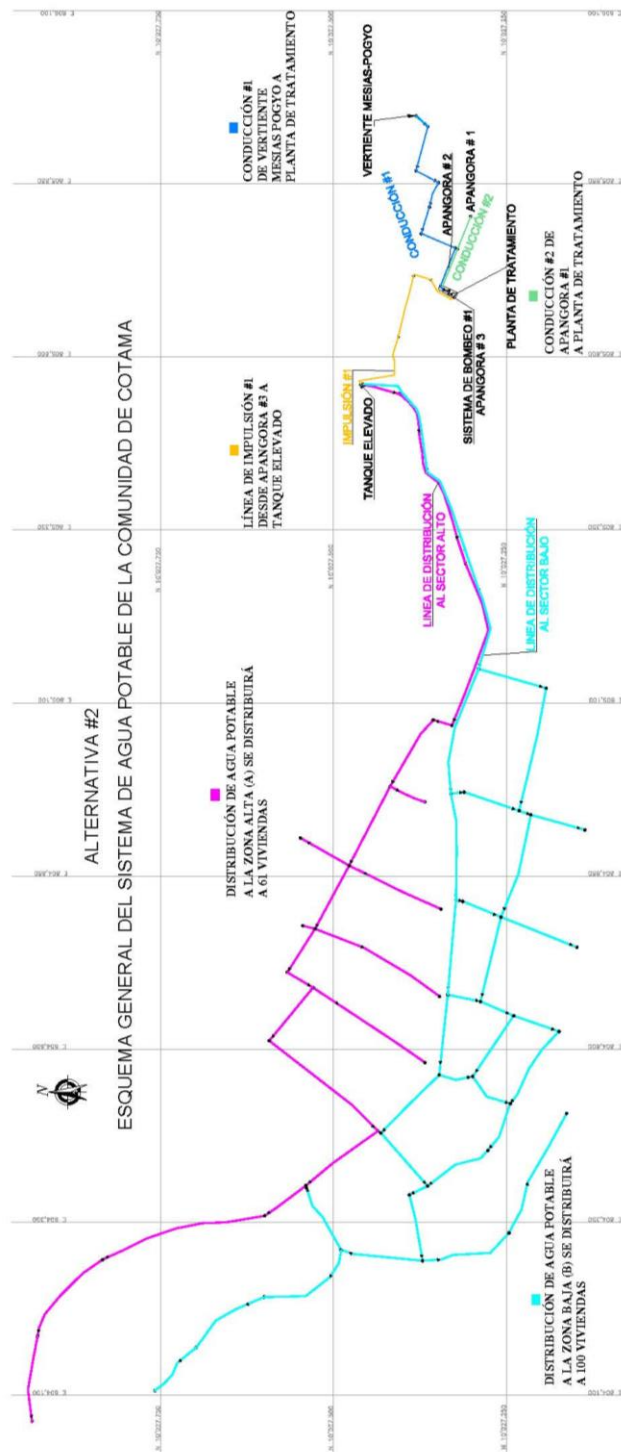


Figura 29. Esquema de la alternativa #2
Elaborado por: David Rosado

5.1.3 Alternativa seleccionada

Una evaluación a nivel de exposición de puntos fuertes y débiles de ambas alternativas, para llegar a determinar la más idónea a ser implementada, se da a continuación, empezando por la Alternativa 2, la cual desde el punto de vista técnico tiene una concepción más sencilla, sin embargo, tiene en contra el hecho de que debe disponerse del terreno para implementar la planta de tratamiento, en las inmediaciones de la vertiente Apangora #3, ya que esta ocupará un área de al menos 200 m², lo cual, es posible, solo a largo plazo, ya que los propietarios de esas tierras no pertenecen a la comunidad, y deberá salvarse un proceso legal de expropiación, que involucra la disponibilidad financiera y voluntad política de la municipalidad de Otavalo. Por otro lado, el proyecto concebido de esta forma, debe ejecutarse, prácticamente, en una sola fase, empezando a tener gastos energéticos desde el inicio.

La primera alternativa, tiene el inconveniente de que es necesario bombear en dos instancias, y no solo en una como la otra, sin embargo, los gastos por bombeo, son más reducidos respecto de la segunda, ya que solo se requiere bombear agua para abastecer un 40% de toda la comunidad, lo que no sucede en el primer caso que es necesario bombear el 100% del caudal requerido; otro acierto, es el hecho de no necesitar depender de instituciones gubernamentales ni de otro tipo para adquirir terrenos, ya que la planta de tratamiento se la realiza en una propiedad comunal; y, por sobre todo, como factor decisivo, puede ser ejecutado en dos momentos separados en el tiempo, que coincide con la sugerencia de la Junta de Aguas de la comunidad, lo cual lo hace mucho más factible de ser una realidad.

En ambos casos el lugar de implantación del tanque elevado, en la loma de Cotama, ha sido consensuado con la comunidad.

El análisis practicado, induce a adoptar la primera alternativa como la más conveniente, tanto desde el punto de vista técnico, como económico.

5.2 Normativa

Los diseños se realizan de acuerdo a la norma CO 10,7 - 602 – Revisión, “Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural”, realizada por la Secretaria del agua. (SENAGUA, 2016).

5.3 Bases de diseño

En los capítulos anteriores se recogieron los datos necesarios para realizar el dimensionamiento de las obras, que nos sirven para presentar a continuación las bases de diseño definitivo de los componentes hidráulicos del sistema de agua potable en análisis.

5.3.1 Dotación

La dotación de agua requerida para satisfacer una determinada población, puede ser estimada mediante una investigación de las costumbres de consumo de los habitantes. Se realizó un estudio aproximado en viviendas de la comunidad, mostrado en la Tabla 22.

Tabla 22. Consumo diario por persona.

CONSUMO DIARIO POR PERSONA	
ACTIVIDAD	CONSUMO (L/hab/día)
Ducha	28
Sanitario	12
Lavado de manos	5
Lavado de vajilla	6
Aseo de vivienda	4
Bebida	7
Lavado de ropa	10
CONSUMO TOTAL	72

Fuente: Elaboración propia.

En ausencia de una investigación de mayor exactitud, las normativas proponen dotaciones en función de las características de la población, que en el caso de la comunidad de Cotama es de 75 L/hab/día, dado el nivel de servicio y clima predominante en la zona, recomendado según normas ecuatorianas (SENAGUA, 2016).

5.3.2 Caudales de diseño

Es el caudal necesario para satisfacer la demanda de la población al final del período de diseño, se estiman en función de la población proyectada y factores de seguridad. En base a la normativa ecuatoriana, se calcularon los caudales de diseño presentados en la Tabla 23 y Tabla 24 (ver cálculos en el Anexo 7).

Tabla 23. Caudales de consumo.

CAUDALES DE CONSUMO (L/s)		
Qm	1,16	(Caudal medio)
QMD	1,45	(Caudal máximo diario)
QMH	3,48	(Caudal máximo horario)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Caudales de diseño y volumen de almacenamiento.

ELEMENTO	CAUDAL/VOLUMEN	
Fuente	2,90	(L/s)
Captación	1,74	(L/s)
Conducción	1,60	(L/s)
Tratamiento	1,60	(L/s)
Almacenamiento	50,15	(m ³)
Distribución	3,48	(L/s)

Fuente: Elaboración propia.

Si bien el caudal disponible en las fuentes es de 2,72 L/s, ver Tabla 14, menor al requerido por las normas de 2,90 L/s (dos veces el caudal máximo diario futuro), la diferencia será absorbida por los tanques de almacenamiento, los cárcamos de bombeo que se implementan y por el bombeo desde la vertiente Apangora.

5.4 Componentes del sistema de agua potable

En la alternativa # 1 seleccionada, luego de recibir por gravedad, en la planta de tratamiento ubicada en la esquina de las calles Los Pinos y Eucaliptos, los caudales provenientes de la fuente Mesías Pogyo y Cotama Pogyo, así como el bombeado desde Apangora, son encauzados a un tanque sedimentador, desde el cual pasa a un cárcamo de bombeo, y de allí a la planta de tratamiento modular, instalada en cota mas elevada, para proporcionar energía hidráulica por gravedad al sistema, luego, se divide el caudal tratado en dos partes a través de un tanque repartidor, el uno hacia el tanque de almacenamiento, desde el cual se alimentará al sistema de distribución de Cotama Bajo, y el otro hacia el cárcamo de bombeo al tanque elevado, que abastecerá a Cotama Alto.

En la Figura 30, se dan los componentes de la planta de tratamiento, que constan de captación Cotama Pogyo, sedimentación, planta modular, tanque de almacenamiento y sistema de bombeo #1, los otros, se los visualiza en los numerales correspondientes.

Componentes de la planta de tratamiento.

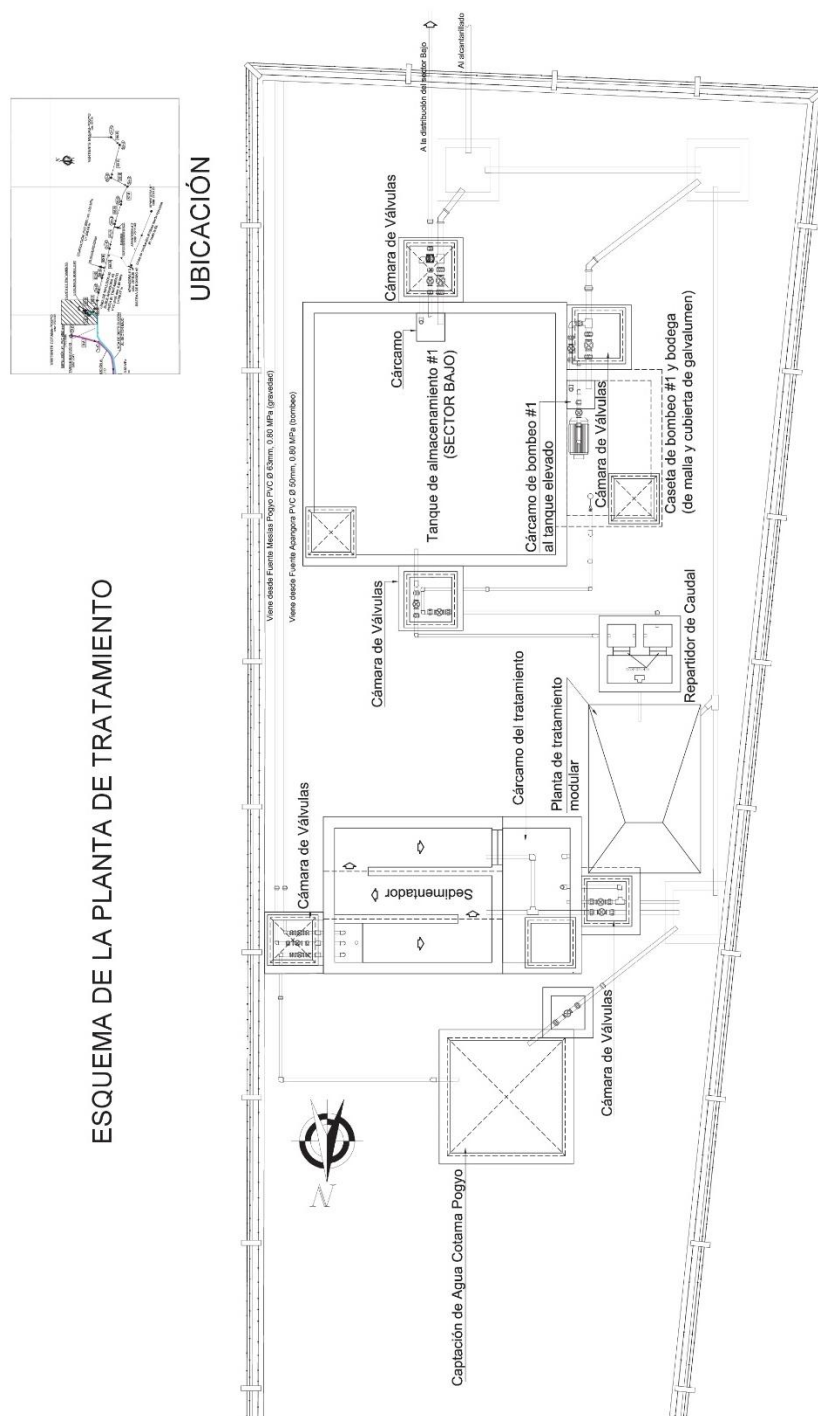


Figura 30. Componentes de la Planta de Tratamiento
Elaborado por: David Rosado

5.4.1 Captación

Una estructura de captación, deriva el caudal desde la fuente hacia los conductos, que lo llevarán hacia la planta de tratamiento y almacenamiento, debiendo reunir condiciones óptimas de protección sanitaria.

Desde el punto de vista de dimensiones, los tanques de captación existentes en Apangora son funcionales, sin embargo, adolecen de fallas de concepto constructivo, no existiendo cámaras y accesorios tales como las suficientes válvulas, reboses, desagüe, vertederos para medición de caudal, accesos adecuados, lo cual no permite realizar operaciones de mantenimiento, aparte de que deben realizarse trabajos de mantenimiento en el mismo. En todo caso, estos pueden ser mantenidos, esforzándose la junta de aguas en mantenerlos en las mejores condiciones sanitarias posibles, mientras se realizan las mejoras de las mismas, consistentes en picado de enlucidos y re-enlucido con impermeabilizante, tanto interior como exterior, así como el cambio e instalación de los accesorios mínimos indispensables. Las tres captaciones existentes reúnen un caudal de 1,28 L/s.

En cambio, en la fuente Mesías Pogyo, se diseña una nueva captación para captar un caudal de 1,08 L/s, con las mismas consideraciones anotadas anteriormente, lo cual se reproduce en los planos correspondientes. Lo propio en el afloramiento de Cotama Pogyo, donde se mantiene una estructura de similares condiciones a la existente, que logre recoger los 0,36 L/s existentes, con los accesorios y más implementos que eviten que esta fuente se ahogue. Las dimensiones mínimas de la estructura de la captación se encuentran en Anexo 9. Los planos hidráulicos están en el Anexo 22.

5.4.2 Tratamiento

El caudal de diseño para el tratamiento es de 1,60 L/s. De acuerdo a los análisis de agua realizados, el tratamiento básico, para el caso que nos ocupa, consiste en la remoción de fósforo y control bacteriológico, que exceden los límites permisibles (ver el Apéndice 4), para cuyo efecto, y en vista de la falta de espacio y pendientes adecuadas, en el sitio donde se va a construir estas unidades, propiedad de la comunidad de Cotama, así como los demás componentes tales como desarenador, almacenamiento, bombeo, entre otros, se propone implementar una planta modular, cuya acción, mantenimiento y operación son bastante sencillas y dentro de márgenes técnicos, sociales y económicos razonables, sujeta a las especificaciones del fabricante y que contendrá todas las unidades complementarias para su funcionamiento.

Previamente, se ha diseñado un tanque sedimentador que removerá, inicialmente, las partículas e impurezas que puedan acarrear las aguas provenientes de las diferentes fuentes. Los cálculos se dan en el Anexo 9 y planos en el Anexo 22.

5.4.3 Almacenamiento

El almacenamiento es una parte fundamental de un sistema de agua potable, para acumular un volumen de agua que permita regular las variaciones horarias de consumo, y abastecer al sistema durante emergencias, de forma constante e ininterrumpida.

La alternativa seleccionada, contempla la construcción de 2 tanques de almacenamiento semi-enterrados, de hormigón armado, uno para abastecer a la parte baja de la población (Sistema B), y el otro para la parte alta (Sistema A), este último se llenará mediante bombeo. En función a la densificación de viviendas en cada una de las zonas mencionadas, se estableció un volumen de almacenamiento para cada

tanque. Considerando un nivel de funcionamiento mínimo de agua de 20 cm, y una altura libre, entre el techo y el espejo de agua de 25 cm, para evitar desbordamientos y colocar los accesorios, tal como el flotador. En la Tabla 25 se presentan las dimensiones y capacidades, determinados en el Anexo 9.

Tabla 25. Volumen y dimensiones internas de tanques.

VOLUMEN Y DIMENSIONES INTERNAS DE TANQUES						
Zona	Viviendas	Volumen total calculado (m³)	Volumen parcial (m³)	Dimensiones internas (m)		
				L(m)	B (m)	Hw (m)
A	61	50,154	20,230	3,40	3,40	2,20
B	100		32,358	4,30	4,30	2,20

Nota: L y B = Largo y ancho interior del tanque

Fuente: Elaboración propia.

Con los parámetros iniciales conocidos, se procede al diseño estructural de los tanques en hormigón armado, en cumplimiento con las normativas ecuatorianas NEC-2015 y la internacional ACI 318 y ACI 350, cuyos procedimientos de cálculo se muestran en el Anexo 10 y los planos en el Anexo 22.

5.4.4 Estaciones de Bombeo e impulsiones

Una estación de bombeo, es un componente necesario en sistemas de agua potable donde la topografía del terreno y la ubicación de las fuentes de agua no permiten el transporte de caudales por gravedad. El fluido se transporta hasta un sitio de mayor elevación a través de una tubería denominada “impulsión”, sirviéndose de dispositivos electro-mecánicos denominados bombas, los cuales transforman energía mecánica en energía hidráulica.

Existe la necesidad de elevar el agua en dos puntos:

- 1) Desde el sitio donde se origina la vertiente Apangora #3, en el nivel Nv. 2510,36 msnm, donde también se recolectan, mediante una tubería a gravedad de PVC Ø63 mm, los caudales provenientes de Apangora #1 y #2,

ubicadas en los niveles: Nv. 2511,51 y 2511,49, respectivamente, hasta la entrada al tanque sedimentador, ubicado en la planta de tratamiento en el Nv. 2524,14 msnm, a través de una impulsión de PVC Ø50 mm.

- 2) Desde el cárcamo de bombeo situado en la planta de tratamiento en el Nv. 2522,14 msnm (fondo de tanque) hacia el tanque elevado #2, en el nivel 2541,00 msnm, a través de una impulsión de PVC Ø50 mm, para abastecer al sector alto de la comunidad.

Una estación de bombeo típica se compone de:

- Cisterna o cárcamo de bombeo: Permite acumular un volumen de agua para su posterior transporte.
- Succión: Consiste en una tubería que comunica la cisterna con la bomba.
- Bomba hidráulica: Máquina electro-mecánica, cuando está encendida, aspira el líquido contenido en la cisterna a través de la succión y hacia la impulsión, añadiendo energía hidráulica al fluido.
- Impulsión: transporta el líquido hasta el lugar de mayor elevación.

Los parámetros que se toman en cuenta para el diseño de ambas estaciones de bombeo y su correspondiente línea de impulsión son:

- Número de horas de bombeo al día
- Caudal de diseño de bombeo
- Volumen de cisterna de bombeo
- Pérdidas de carga locales longitudinales y locales
- Altura manométrica o altura dinámica total
- Control de golpe de ariete
- Succión neta positiva
- Curva característica del sistema, y de la bomba.

- Punto de operación del Sistema y selección de la bomba

Parámetros de cálculo para el sistema de bombeo:

La información inicial para proceder al diseño de cada sistema, se obtiene a partir de la topografía, la implantación de los elementos y los trazados de la línea de impulsión, así como el caudal de bombeo. Ver Tabla 26.

Tabla 26. Parámetros iniciales de cálculo de los sistemas de bombeo

Parámetros iniciales de cálculo de los sistemas de bombeo.					
Apangora - Tratamiento			Tratamiento - Tanque A		
Qb =	1,73	L/s	Qb =	1,73	L/s
C. inferior =	2509,46	msnm	C. inferior =	2525,46	msnm
C. superior =	2524,14	msnm	C. superior =	2542,60	msnm
Lsucc =	3,50	m	Lsucc =	3,50	m
Limp =	188,27	m	Limp =	89,99	m

Elaborado por: David Rosado

Resultados de diseño de los sistemas de bombeo:

Aplicando todas las consideraciones ya explicadas, se procede a diseñar todos los componentes de la estación de bombeo, los cálculos se detallan en el Anexo 12.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos. Ver Tabla 27 y Tabla 28.

Tabla 27. Resultados de diseño de bombeo Apangora - Tratamiento

Apangora - Tratamiento			
Dni =	50,00	mm	Diámetro nominal tubería PVC, impulsión
Dii =	45,2	mm	Diámetro interior tubería PVC, impulsión
Dis =	63,5	mm	Diámetro interior tubería en acero de succión
hs =	2,86	m	Altura estática de succión
hfs =	0,05	m	Pérdidas por fricción en succión
hfi =	4,19	m	Pérdidas por fricción en impulsión
Σh_{Ls} =	0,06	m	Pérdidas locales en succión
Σh_{Li} =	0,63	m	Pérdidas locales en impulsión
Vs =	1,08	m/s	Velocidad de flujo en impulsión
Vis =	0,54	m/s	Velocidad de flujo en succión
Hg =	17,54	m	Altura estática a vencer
Ht =	23,49	m	Altura manométrica total

Bomba centrífuga con motor de 2HP

Elaborado por: David Rosado

Tabla 28. Resultados de diseño de bombeo Tratamiento - Tanque de almacenamiento A

Tratamiento - Tanque de almacenamiento A			
Di =	50,00	mm	Diámetro nominal tubería PVC de impulsión
Ds =	63,5	mm	Diámetro nominal tubería en acero de succión
hs =	2,60	m	Altura estática de succión
hfs =	0,05	m	Pérdidas por fricción en succión
hfi =	2,00	m	Pérdidas por fricción en impulsión
Σh_{Ls} =	0,06	m	Pérdidas locales en succión
Σh_{Li} =	0,30	m	Pérdidas locales en impulsión
Vs =	1,08	m/s	Velocidad de flujo en impulsión
Vis =	0,55	m/s	Velocidad de flujo en succión
Hg =	19,74	m	Altura estática a vencer
Ht =	23,17	m	Altura manométrica total
Bomba centrífuga con motor de 2HP			
Elaborado por: David Rosado			

Control de golpe de ariete:

Es un aumento de presión al interior de la tubería debido a una interrupción brusca del flujo. En este caso, la sobrepresión estimada, no sobrepasa a la presión de trabajo de la tubería de 1.25 MPa, El control del mismo se lo realiza en el Anexo 12.

Diseño de cisternas de bombeo con almacenamiento:

Es necesario diseñar cisternas de bombeo con la capacidad de almacenar un volumen determinado, para permitir el bombeo en periodos, de lo contrario. El caudal disponible no logra cubrir los caudales de diseño de la bomba. Las dimensiones de ambas cisternas, se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Dimensiones de cisterna de bombeo

Dimensiones internas de la cisterna:			
Lc =	2,50	m	Largo de la cisterna de bombeo
Bc =	1,50	m	Ancho de la cisterna de bombeo
Hc =	2,00	m	Profundidad de la cisterna de bombeo
Vc =	7,50	m ²	Volumen de la cisterna de bombeo
Vcm =	6,96	m ²	Volumen mínimo de la cisterna de bombeo
Observación:		Dimensiones adecuadas	
Elaborado por: David Rosado			

Diseño eléctrico y electrónico:

Se colocará un sistema automático, con dos condiciones de uso (ciclo manual y ciclo automático), dos controles de tiempo en lazo abierto ubicados en el sistema de bombeo. Ver Anexo 12.

Tensión: -110 VAC, suministro eléctrico residencial.

- 50-60 Hz.

Cable: -Cable THH AWG 16, para control y maniobra.

- Cable verde THH AWG 12 para puesta a tierra.

Protecciones del sistema:

- Protección contra cortocircuitos monopolar.
- Protección contra sobrecargas.
- Protección contra sobre presiones.
- Conexión de puesta a tierra.
- Protección contra ausencia de agua.

Control del sistema: -PID, control de bombeo.

PLC, autómata para encendido y apagado secuencial de las bombas

Ver diseño eléctrico en Anexo 12.

5.4.5 Conducción y transferencia

Existen una línea de conducción a gravedad y una transferencia: la primera va desde la vertiente Mesías Pogyo hacia la planta de tratamiento, y la segunda, recolecta las aguas producidas por las fuentes Apangora #1 y #2, para reunir los caudales en la vertiente Apangora #3.

Esquema de conducciones e impulsiones

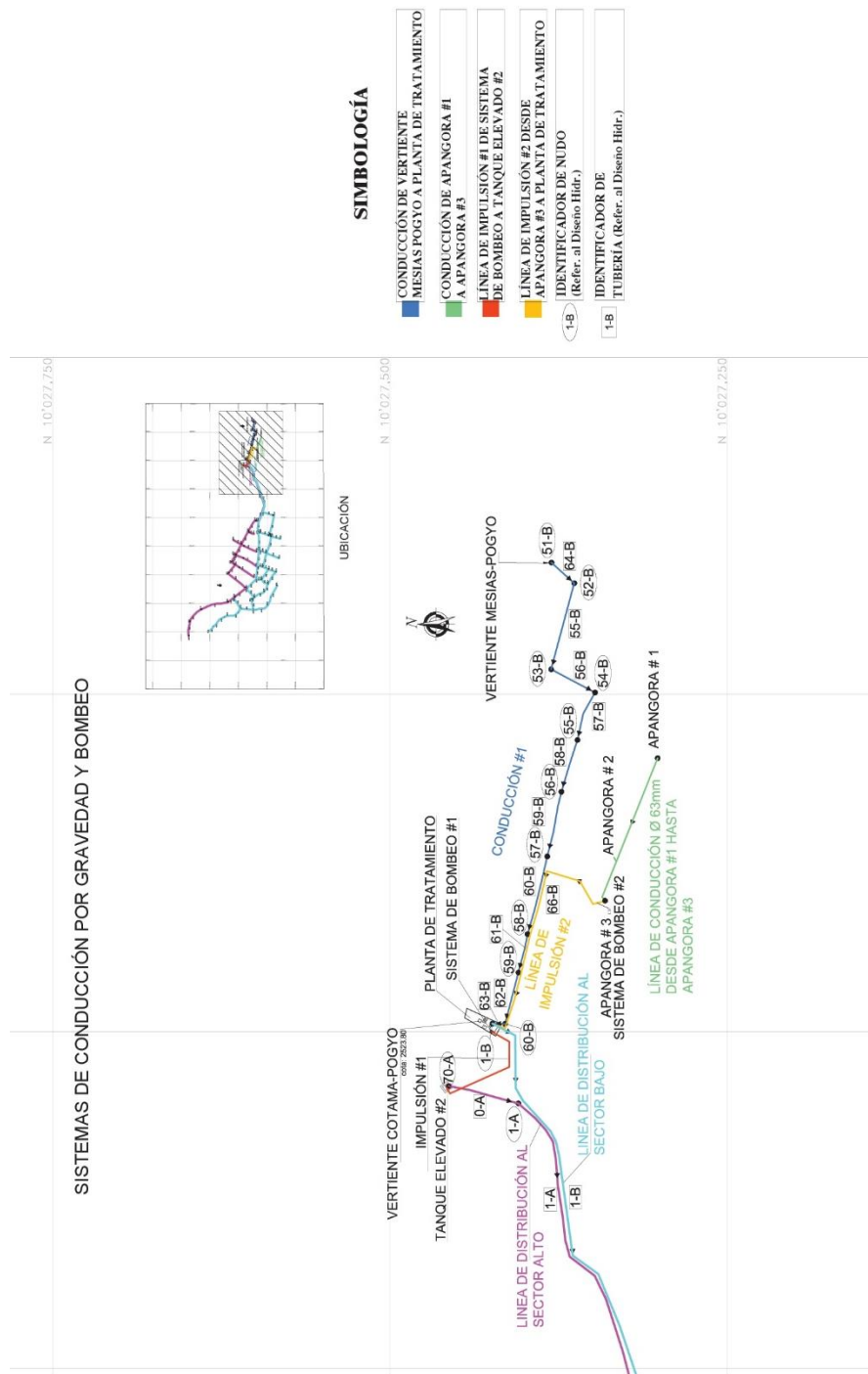


Figura 31. Esquema de conducciones e impulsiones
Elaborado por: David Rosado

5.4.5.1 Conducción #1 desde la vertiente Mesías Pogyo a la planta de tratamiento

La conducción proyectada, deriva el caudal captado en la fuente Mesías Pogyo (1,08 L/s), en la cota 2527,75 msnm, a través de una conducción a gravedad de PVC de 63 mm de diámetro, que en la mayor parte recorre por los laterales de los caminos existentes, hasta la planta de tratamiento (entrada al sedimentador) en la cota 2524,14 msnm.

Presión dinámica en conducciones:

La norma ecuatoriana (SENAGUA, 2016), sugiere una presión dinámica no menor a 5 mca, por otro lado normas internacionales (OPS/CEPIS, 2004), permiten valores de hasta 1 mca.

En vista de la escasa diferencia de nivel entre el punto de captación y la entrega en el tratamiento, se hizo necesario utilizar tuberías de mayor diámetro, con bajas velocidades, pero con pérdidas también bajas, para entregar el volumen requerido con una presión dinámica de 2,96 mca, a la entrada del tratamiento (entrada al sedimentador).

Diseño:

El diseño convencional, consiste en definir el diámetro y nivel de la tubería para cada tramo, considerando pérdidas de carga determinadas mediante la ecuación de Darcy-Weisbach y el cálculo de su correspondiente coeficiente de fricción. Las ecuaciones se muestran en el numeral 5.4.4.

La Tabla 30 muestra las presiones dinámicas, longitudes y diámetros de la conducción Mesías Pogyo, partiendo con una carga inicial de 0,35 mca,

correspondientes al nivel de agua en el tanque de captación. Los identificadores de nudo se hallan en la figura Figura 31 y los detalles en el Anexo 13.

Tabla 30. Resultados de conducción Mesías Pogyo

Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud del tramo (m)	Ø Interior de tubería (mm)	P. dinámica en nudos (mca)	
INICIO	52-B	22,83	59	0,35	(INICIO)
52-B	53-B	66,29	59	0,78	(52-B)
53-B	54-B	37,06	59	0,80	(53-B)
54-B	55-B	38,03	59	5,40	(54-B)
55-B	56-B	40,18	59	5,07	(55-B)
56-B	57-B	49,12	59	4,94	(56-B)
57-B	58-B	59,51	59	5,33	(57-B)
58-B	59-B	29,31	59	3,92	(58-B)
59-B	60-B	39,34	59	3,80	(59-B)
60-B	FIN	15,29	59	4,00	(60-B)
				2,96	(FIN)

Nota: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos I (Calero. I, 2016)

Elaborado por: David Rosado

El perfil longitudinal muestra el nivel del terreno y el nivel de la línea de conducción, permitiendo determinar a qué profundidad se debe enterrar la tubería. Ver Anexo 22.

Válvula de desagüe:

En la abscisa 0+181.51, se ha colocado una válvula de desagüe, que permita la limpieza y mantenimiento de la tubería cada cierto tiempo, al ser el sitio más bajo de la conducción.

Válvula de aire:

Por el contrario, en la abscisa 0+73.70 existe una cota relativamente alta, donde se podría acumular el aire transportado desde la entrada, provocando el estrechamiento de la sección de flujo, por ende el incremento de pérdida de carga y disminución caudal, por lo que es necesario colocar una válvula de aire que permita expulsarlo cada cierto tiempo. Los detalles de construcción de ambas válvulas están en el Anexo 22.

5.4.5.2 Transferencia

Esta línea de transferencia de escasos 110,85 m de longitud, recolecta las aguas generadas en las vertientes Apangora #1 (1,14 L/s) y Apangora #2 (L/s), para reunir las con las de Apangora #3, y de allí luego ser bombeadas hacia el tratamiento. El diseño es relativamente simple pues se trata de un solo tramo, con una pequeña diferencia de altura de 1,21 m, lo que con un diámetro interior mínimo de 59 mm, correspondiente a la tubería de PCV Ø63 mm, da una pérdida total acumulada de 0,45 m, que permitirá la llegada del agua al extremo final.

5.4.6 Distribución

Existen dos sistemas de distribución independientes, el uno que parte del tanque elevado ubicado en la cota 2.541,00, para abastecer al sector “alto” de la comunidad, con un caudal de diseño para la distribución de 1,32 L/s, y el otro a partir del tanque bajo, implantado en la cota 2.522,32, para el suministro de la zona “baja”, con un caudal de diseño para la distribución de 2,16 L/s. En los nudos de caudal se crean áreas colaborantes, asignándoles demandas proporcionales a estas.

Esquema de la distribución del sector alto y bajo de la comunidad de Cotama

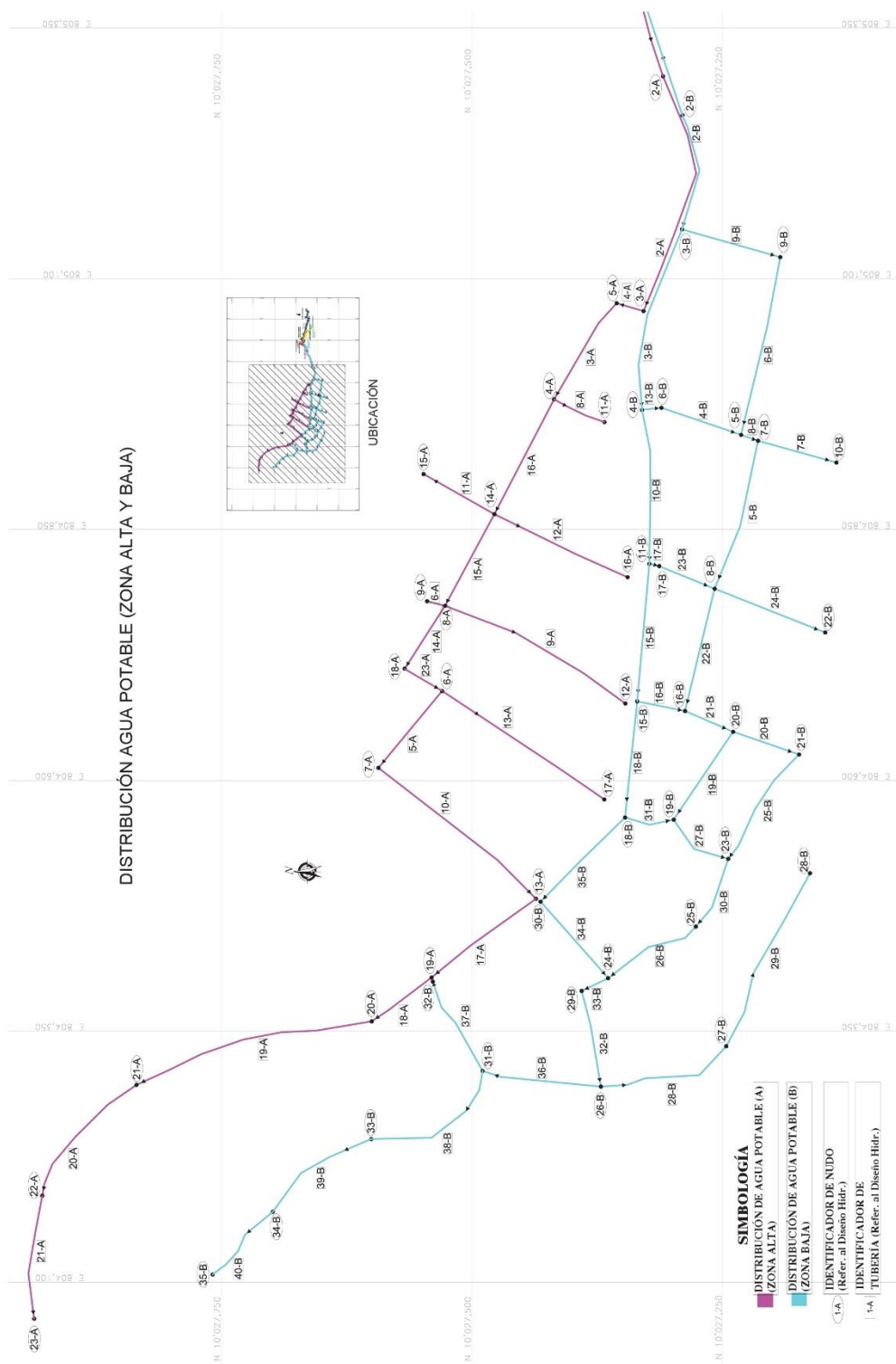


Figura 32. Esquema de la distribución del sector alto y bajo de la comunidad de Cotama
Elaborado por: David Rosado

Software GIS-APAL:

Para la modelación hidráulica se utilizó el software de Gestión integral de servicios urbanos y rurales de agua potable, alcantarillado y catastros: GIS-APAL_96-V16.08.20 de Rosado - HIDROSOFT LTDA, de procedencia nacional, cuyos resultados y reportes han sido verificados con el software que modela el comportamiento hidráulico y de calidad del agua de sistemas de tuberías de distribución: EPANET 2.0.12 de la United States Environmental Protection Agency (EPA), de libre uso. En el Anexo 18 se da un breve resumen de las funcionalidades de la aplicación para este proyecto.

Además se adjunta un documento que autoriza al autor del presente estudio, a hacer uso del software. Ver Anexo 1.

5.4.6.1 Modelación del sector alto con GIS-APAL:

La disposición de redes abiertas, con diámetros que van de 25 a 63 mm, es forzada por la topografía del sector, con una pronunciada pendiente descendente de norte a sur, así como el trazado de calles existentes y la tenencia de la tierra; sin embargo, con la combinación de diámetros elegida, se busca mantener presiones dentro de los rangos de confortabilidad, normados por la Secretaría del Agua, que imponen un rango de presiones dinámicas de entre $0,7 \text{ kg/cm}^2$ a 3 kg/cm^2 . Sobre la máxima mencionada, en dos lugares de la zona baja, aledaños al río, es excedida en un 7%, cuando el tanque de almacenamiento está lleno, lo cual no representaría problemas mayores, ya que se trata de sectores muy pequeños. Los cálculos hidráulicos se dan en el Anexo 14, un extracto de los cuales, se aprecian en la Tabla 31 y Tabla 32. Los identificadores de nudo para el sector alto se hallan en la Figura 32.

Tabla 31. Presiones dinámicas en nudos del sistema alto-A

Nudo	ID	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (msnm)	Presión dinámica (mca)
1	1-A	2521,73	0,00	2541,22	19,49
2	23-A	2517,51	0,05	2529,63	12,12
3	22-A	2518,33	0,09	2529,65	11,31
4	21-A	2511,59	0,03	2529,78	18,19
5	20-A	2494,42	0,22	2530,09	35,67
6	19-A	2493,09	0,06	2530,47	37,38
7	18-A	2521,91	0,03	2534,59	12,68
8	17-A	2507,39	0,09	2534,08	26,69
9	16-A	2508,07	0,07	2535,77	27,70
10	15-A	2526,86	0,03	2535,84	8,98
11	14-A	2520,25	0,07	2535,85	15,60
12	13-A	2505,97	0,08	2531,35	25,38
13	12-A	2506,01	0,07	2534,91	28,90
14	11-A	2513,11	0,06	2537,18	24,07
15	9-A	2518,20	0,02	2535,03	16,83
16	8-A	2517,09	0,05	2535,04	17,95
17	7-A	2518,67	0,09	2533,18	14,51
18	6-A	2516,97	0,06	2534,35	17,38
19	5-A	2516,13	0,04	2538,61	22,48
20	4-A	2518,56	0,05	2537,20	18,64
21	3-A	2511,09	0,03	2538,73	27,64
22	2-A	2516,16	0,06	2539,88	23,72
Tanque	70-A	2541,00	0,00	2541,50	0,50

Nota: Modelación mediante GISAPAL

Elaborado por: David Rosado

Tabla 32. Diámetros y velocidades en tramos del sistema alto-A

Tramo	ID	Nudo inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
1	0-A	70-A	1-A	56,58	59	1,34	0,49
2	1-A	1-A	2-A	271,59	59	1,34	0,49
3	8-A	4-A	11-A	55,54	29	0,06	0,09
4	21-A	23-A	22-A	124,36	37	-0,05	0,05
5	23-A	6-A	18-A	43,62	47	-0,77	0,44
6	4-A	5-A	3-A	28,42	59	-1,25	0,46
7	3-A	4-A	5-A	114,95	47	-1,21	0,70
8	20-A	21-A	22-A	149,29	37	0,14	0,13
9	19-A	20-A	21-A	246,04	37	0,17	0,16
10	18-A	19-A	20-A	73,92	37	0,39	0,36
11	17-A	13-A	19-A	131,27	37	0,45	0,42
12	2-A	2-A	3-A	250,48	59	1,28	0,47
13	5-A	6-A	7-A	99,53	37	0,62	0,58
14	16-A	14-A	4-A	129,00	47	-1,11	0,64
15	15-A	8-A	14-A	103,92	47	-0,94	0,54
16	14-A	18-A	8-A	74,69	47	-0,80	0,46
17	13-A	17-A	6-A	194,77	29	-0,09	0,14
18	6-A	8-A	9-A	18,44	29	0,02	0,03
19	9-A	12-A	8-A	205,97	29	-0,07	0,10
20	10-A	13-A	7-A	204,97	37	-0,53	0,49
21	11-A	14-A	15-A	81,37	29	0,03	0,04
22	12-A	14-A	16-A	147,31	29	0,07	0,10

Nota: Modelación mediante GISAPAL
Elaborado por: David Rosado

Por otro lado, entre los nudos 19-A y 20-A, pertenecientes al sistema alto de la comunidad, la calle desciende abruptamente con una pendiente muy pronunciada del 10% y luego vuelve a ascender hacia el este con un 7%, continuado en esa dirección, y haciendo imposible el uso de válvulas reguladoras, razón por la que se especifica, para los moradores de este sector, la no utilización de accesorios de baja calidad al interior de las viviendas.

5.4.6.2 Modelación del sector bajo con GIS-APAL:

Los cálculos hidráulicos de la distribución de la zona baja de la comunidad de Cotama, se detallan en el Anexo 14, un resumen de los cuales, para el sector bajo, se aprecian en la Tabla 33 y Tabla 34. Los identificadores de nudo para el sector bajo se hallan en la Figura 32. En este caso las presiones se mantienen dentro de los límites permitidos.

Tabla 33. Presiones dinámicas en nudos del sistema bajo-B

Nudo	ID	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (msnm)	Presión dinámica (mca)
1	2-B	2511,29	0,14	2,518,34	7,05
2	35-B	2481,99	0,08	2,499,44	17,45
3	34-B	2482,06	0,07	2,499,52	17,46
4	33-B	2482,46	0,11	2,499,91	17,45
5	32-B	2492,69	0,06	2,501,06	8,37
6	31-B	2485,51	0,08	2,501,10	15,59
7	30-B	2503,97	0,07	2,510,98	7,01
8	29-B	2496,95	0,03	2,507,64	10,69
9	28-B	2480,14	0,08	2,500,07	19,93
10	27-B	2481,56	0,11	2,500,81	19,25
11	26-B	2483,90	0,12	2,503,10	19,20
12	25-B	2499,38	0,08	2,510,72	11,34
13	24-B	2500,19	0,05	2,509,12	8,93
14	23-B	2490,19	0,06	2,512,37	22,18
15	22-B	2485,11	0,08	2,514,55	29,44
16	21-B	2483,52	0,05	2,512,94	29,41
17	20-B	2485,75	0,05	2,513,39	27,64
18	19-B	2499,99	0,07	2,513,26	13,27
19	18-B	2506,06	0,02	2,513,83	7,77
20	17-B	2501,22	0,06	2,515,00	13,78
21	16-B	2492,98	0,04	2,514,18	21,20
22	15-B	2504,76	0,03	2,514,54	9,78
23	11-B	2505,79	0,00	2,515,01	9,22
24	10-B	2487,64	0,09	2,515,17	27,53
25	9-B	2492,63	0,12	2,516,06	23,43
26	8-B	2493,69	0,13	2,514,67	20,98
27	7-B	2492,39	0,05	2,515,27	22,88
28	6-B	2500,04	0,07	2,515,77	15,73
29	5-B	2493,09	0,08	2,515,29	22,20
30	4-B	2508,83	0,00	2,515,79	6,96
31	3-B	2505,42	0,09	2,517,12	11,70
Tanque	1-B	2522,24	0,00	2,522,74	0,50

Nota: Modelación mediante GISAPAL

Elaborado por: David Rosado

Tabla 34. Diámetros y velocidades en tramos del sistema bajo-B

Tramo	ID	Nudo inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
1	0-A	70-A	1-A	56,58	59	1,34	0,49
2	1-A	1-A	2-A	271,59	59	1,34	0,49
3	8-A	4-A	11-A	55,54	29	0,06	0,09
4	21-A	23-A	22-A	124,36	37	-0,05	0,05
5	23-A	6-A	18-A	43,62	47	-0,77	0,44
6	4-A	5-A	3-A	28,42	59	-1,25	0,46
7	3-A	4-A	5-A	114,95	47	-1,21	0,70
8	20-A	21-A	22-A	149,29	37	0,14	0,13
9	19-A	20-A	21-A	246,04	37	0,17	0,16
10	18-A	19-A	20-A	73,92	37	0,39	0,36
11	17-A	13-A	19-A	131,27	37	0,45	0,42
12	2-A	2-A	3-A	250,48	59	1,28	0,47
13	5-A	6-A	7-A	99,53	37	0,62	0,58
14	16-A	14-A	4-A	129,00	47	-1,11	0,64
15	15-A	8-A	14-A	103,92	47	-0,94	0,54
16	14-A	18-A	8-A	74,69	47	-0,80	0,46
17	13-A	17-A	6-A	194,77	29	-0,09	0,14
18	6-A	8-A	9-A	18,44	29	0,02	0,03
19	9-A	12-A	8-A	205,97	29	-0,07	0,10
20	10-A	13-A	7-A	204,97	37	-0,53	0,49
21	11-A	14-A	15-A	81,37	29	0,03	0,04
22	12-A	14-A	16-A	147,31	29	0,07	0,10

Nota: Modelación mediante GISAPAL

Elaborado por: David Rosado

Fogeo de la red:

Se recomienda que la velocidad de flujo no descienda de los 0,45 m/s, al existir algunos tramos con valores inferiores, es necesario realizar una purga o fogeo de la red de distribución. Para esto se colocan válvulas de desagüe en puntos estratégicos.

El procedimiento de purga o fogeo se realiza bajo las siguientes consideraciones:

- Realizarlo en horario nocturno (menor consumo)
- Comunicar a los usuarios por lo menos con un día de anterioridad
- Suspender el ingreso de agua a la distribución mediante cierre de válvulas

- Abrir lentamente las válvulas de desagüe, y mantener la descarga por un lapso no menor a 2 minutos o en el caso de que el agua presente turbidez, esperar hasta que se torne cristalina.
- Cerrar lentamente las válvulas de desagüe, verificar que la descarga se haya suspendido en su totalidad.

Es importante anotar que durante el fogueo, se puede tomar muestras para realizar análisis de calidad del agua en la distribución.

Válvulas de cierre:

También se han considerado válvulas de cierre para aislar los tramos que presentan mayores presiones, que es donde, con mayor probabilidad se presentarían casos de fuga.

Capítulo 6

6. Viabilidad del proyecto

6.1 Viabilidad económica y financiera

6.1.1 Supuestos

Los supuestos en que se basan los estados financieros que sirven de base para el análisis, se detallan en la Tabla 35.

Tabla 35: Supuestos de los estados financieros

SUPUESTOS BÁSICOS		
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Consumo estimado diario por persona	75,00	L
Promedio de consumo mensual durante la vida útil del proyecto	2.075,25	m ³
Tipo de depreciación asumida.	Lineal	
Años de depreciación según tipo de activo		
Maquinaria	10	Años
Equipos de oficina	3	Años
Obras de infraestructura.	20	Años
Inversión inicial total	177.929,12	Dólares
Inversión en infraestructura	168.668,70	Dólares
Inversión en maquinaria y equipos	9.260,42	Dólares
Tasa de crecimiento de la demanda.	1,98%	Porcentaje
Tasa de interés efectiva.	9,76%	Porcentaje
Tarifa de junta de agua de Cotama		
Tarifa inicial	4,00	Dólares por familia
Numero promedio de miembros de una familia	4,29	Personas
Tarifa (equivalente) por habitante	0,93	Dólares
Tarifa sector Urbano de Otavalo.		
Lectura anterior	8.256,00	m ³
Lectura actual	8.273,00	m ³
Consumo en m ²	17,00	Dólares

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Categoría	Residencial	
Valor del consume	2,92	Dólares
Tarifa por m ²	0,17	Dólares
Tasa de consumo humano estimado	75,00	L/hab/día
Caudal del tratamiento	1,60	L/s
Gramos de Cloro por metro cubico	0,0020	g/m ³
Costo por kilo de cloro	4,48	Dólares
Tasa de inflación estimada	2,50%	Porcentaje

Elaborado por: David Rosado.

- En el punto 4.1.3.1.1. se explicó, la cifra de consumo diario, así como el consumo promedio durante el periodo de vida útil del proyecto, el cual se estima a partir del consumo diario y de la proyección de beneficiarios en el tiempo.
- Respecto a la depreciación lineal y a los números de años se aceptan los criterios emitidos por el SRI (“Servicio de Rentas Internas del Ecuador”, s. f.).
- La inversión inicial total, como la inversión en infraestructura y la inversión en maquinaria y equipos está explicada con detalle en los presupuestos, y en el cronograma valorado, que se anexan.
- La tasa de crecimiento de la ciudad de Otavalo se usa como Proxi para determinar la demanda futura de usuarios del servicio de agua potable en la comunidad de Cotama.
- La tasa ofertada por BanEcuador B.P para infraestructura de las Asociaciones comunitarias es la que usa como base para los cálculos de tasa de interés y de descuento para la obtención de los valores actuales netos (“Banecuador”, s. f.).

- La tarifa actual por el servicio de agua entubada, el número de familias y el número de personas de la comunidad sirven de base para estimar el costo por persona mensual.
- La tarifa urbana de uso del agua potable por metro cubico se obtiene del comprobante de pago N.º 0079675.

6.1.2 Identificación, cuantificación y valoración de beneficios, ingresos y costos de inversión, operación y mantenimiento.

6.1.2.1 Beneficios valorados

En el caso de la comunidad de Cotama, se ha evidenciado que es una población que no cuenta con muchos de los servicios básicos y la mayoría de sus habitantes viven en un entorno de precariedad, inclusive a pesar de contar con vertientes de agua no cuenta con un adecuado tratamiento de la misma para que este en óptimas condiciones para el consumo de sus habitantes.

En este sentido con el fin de cuantificar un valor aproximado del ahorro que incurren los hogares y el GAD en términos de demanda y oferta de servicios de salud respectivamente, se utilizó información obtenida de la encuesta realizada a 49 familias de la Comunidad de Cotama. Así, como datos se establece que:

- El porcentaje de población con problemas de salud relacionados con problemas de calidad del agua es de 16,33%, y de este alrededor del 85% acudiría al médico.
- Los habitantes de Cotama que sufran de este tipo de enfermedades en promedio visitarían al médico 4 veces al año.
- Costo de la consulta: 10 USD (promedio).
- Costo de medicamentos: 15 USD (promedio).

- El 50% de la población enferma se realizaría exámenes médicos. Con una periodicidad de 2 veces por año.
- Costo de exámenes de laboratorio: 10 USD (promedio).

De esta manera se obtiene una proxy, proyectada al año 2037, del ahorro en el que incurrirían las familias de la comunidad de Cotama en temas de salud en el caso que se llevaría a cabo el proyecto. Ver Tabla 36.

Tabla 36. Beneficios valorados del proyecto al horizonte de diseño.

Año	Población efectiva	Población con problemas de salud, que acude al médico	Población con problemas de salud, que se realiza exámenes	Consulta médica (USD)	Receta médica (USD)	Exámenes de laboratorio (USD)	Total (USD)
2037	1115	619	155	6.189,39	9.284,08	1.547,35	10.831,43

Nota: Beneficios al año 2037
Elaborado por: David Rosado

De igual forma, el que la población incurra en menores tasas de morbilidad reducirá el porcentaje de inasistencia a la escuela o trabajo según sea el caso, evitando con esto posible deserción escolar/desempleo, problemas sociales que limitan la productividad y desarrollo de un país.

Por último, es importante señalar que existen otros beneficios sociales vinculados a este proyecto, como la promoción de la paz y la seguridad. En la actualidad ya existen conflictos entre ciertos miembros de la Comunidad de Cotama por el mal uso del agua (utilizan el agua destinada al consumo para riego), esto ocasiona molestia debido a que ciertas familias se quedan con poco o nulo abastecimiento del líquido vital.

6.1.2.2 Ingresos

Se ha considerado como único ingreso probable del proyecto al que provendría del cobro de una tarifa por metro cubico usado. Pero como una tarifa pensada en la

recuperación de la inversión resultaría prohibitiva para los usuarios, se la ha relacionado con dos alternativas realmente existentes. En la primera se ha supuesto, que se cobra, durante la vida útil del proyecto, una tasa fija equivalente a lo que se está cobrando actualmente la junta de aguas por agua entubada de calidad no apta para el consumo humano, y en la segunda se usa la tasa por metro cubico que realmente cobra el GADMCO (Gobierno Municipal Autónomo del Cantón Otavalo)

En la primera alternativa se obtiene un flujo cuya transformación a valor presente a la tasa de 9,76% anual nos arroja un valor de \$96.620,09, mientras que la segunda alternativa considerando la misma tasa de descuento nos genera la cifra de VAN = \$35.340,81.

Cualquiera de las dos alternativas que se consideran son claramente inferiores a la inversión inicial, por lo que, el resto de información que se recabará de los estados financieros no hará sino comprobar y detallar la imposibilidad de recomendar la realización de este proyecto basándonos únicamente en los criterios de rentabilidad y de liquidez, por lo que se convertirá en imprescindible para recomendar su realización que nos basemos en criterios más amplios que incluirán una valoración social y ambiental; la consideración de estos aspectos suplirá con largueza las deficiencias que se demuestran con claridad en una evaluación centrada en el aspecto financiero. Ver Tabla 37, Tabla 38 y Tabla 39.

Tabla 37. Costos de inversión o presupuesto de las Fases

DESCRIPCIÓN	TOTAL (USD)
FASE I	
CAPTACIÓN EN MESÍAS POGYO	3.981,32
CONDUCCIÓN POR GRAVEDAD DESDE VERTIENTE MESÍAS POGYO A PLANTA DE TRATAMIENTO	5.188,59
CAPTACIÓN COTAMA POGYO	917,87
TANQUE SEDIMENTADOR Y CÁRCAMO DE BOMBEO HACIA EL TRATAMIENTO	6.209,54
PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO	13.326,91
TANQUE DE ALMACENAMIENTO #1 PARA SECTOR BAJO Y CÁRCAMO DE BOMBEO PARA EL TANQUE #2 ELEVADO	16.640,51
DISTRIBUCIÓN SISTEMA AGUA POTABLE (B)	49.492,20
VARIOS	2.859,84
FASE II	
CAPTACIONES EN APÁNGORA #1, #2 Y #3	9.975,11
CONDUCCIÓN DESDE APANGORA #1 HASTA APANGORA #3	3.072,72
BOMBEO #1 HACIA EL TANQUE #2 ELEVADO	6.083,09
IMPULSIÓN DESDE LA PLANTA DE TRATAMIENTO AL TANQUE ELEVADO #2	1.056,60
TANQUE #2 ELEVADO	10.337,00
SISTEMA DE BOMBEO #2 DESDE APANGORA #3 HASTA LA PLANTA DE TRATAMIENTO	12.479,71
IMPULSIÓN DESDE APANGORA #3 HASTA LA PLANTA DE TRATAMIENTO	1.722,20
DISTRIBUCIÓN SISTEMA AGUA POTABLE (A)	34.585,91
TOTAL	177.929,12

Elaborado por: David Rosado

Tabla 38. Costos de operación y mantenimiento anual
RESUMEN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL

COMPONENTE	VALOR (\$)
Aguatero	7.800,00
Herramientas	240,00
Materiales	654,12
Cloro	185,55
Tuberías	170,28
Equipamiento	145,00
Costos energéticos.	395,17
Costo Operativo	9.590,12

Nota: Valores al año 2018

Elaborado por: David Rosado

Tabla 39. Costo anual de operación y mantenimiento al horizonte de diseño

Año	Costo Operativo (USD)	Personal (USD)	Aguatero (USD)	Herramientas (USD)	Materiales (USD)	Cloro (USD)	Tuberías (USD)
2038	9.853,60	7.800	7.800	240	654,12	269,74	170,28

Nota: Costos en el año 2037

Elaborado por: David Rosado

6.1.3 Flujo económico y financiero

Los Egresos

Los egresos operativos representan solo un 5% de la inversión inicial, sin embargo, solamente en la primera alternativa los ingresos operativos permiten cubrir los egresos, pero en ninguna de ellas se alcanzaría a realizar reservas suficientes como para compensar la depreciación, lo cual implica la imposibilidad de generar un flujo de caja que permita honrar un crédito para la totalidad de la inversión, este aspecto se mirará con más claridad en el análisis de los flujos de caja.

Flujo de caja.

Los flujos de caja demuestran la imposibilidad de autofinanciamiento del proyecto, por lo cual, se requiere que el monto total de la inversión en infraestructura, maquinaria y equipo sea financiado con un crédito no-rembolsable. En el primer año para capital de operación se requiere también un monto que podría situarse en alrededor del 50% de los gastos operativos, lo cual equivale a una cifra de \$ 5.000 pero además de esto se necesitaría programar un nuevo ingreso de \$ 10.000 en similares condiciones a la mitad de la vida útil del proyecto, es decir, bajo la suposición de que en ese año se va a realizar una inversión para reposición de maquinaria y equipo. Los remanentes positivos de los flujos de cajas son muy

exiguos, y en todo caso solo podrían servir como colchón de amortiguamiento en relación con algún gasto no programado.

En la segunda alternativa, el monto sugerido de préstamo no-rembolsable sería incluso mayor, \$210.448,48 y no podría asumirse ningún crédito ni a corto ni a largo plazo. Este monto permite tener un remanente inicial de \$ 32.519,36. Pero esta cantidad solamente permitiría el funcionamiento adecuado del proyecto hasta el año quinto, a partir del cual es necesario un subsidio adicional para su funcionamiento de \$ 5.000 Dólares anuales con excepción del año décimo primero en el que es necesario programar un ingreso no rembolsable de \$20.000

Y aunque a primera vista estas alternativas de financiamiento podrían considerarse sin mucho asidero, en realidad se presentan una gama enorme de alternativas de financiamiento que claramente podrían ser aprovechadas. Estas oportunidades se han ampliado mucho desde cuando la ONU declaró a la provisión de agua como un derecho universal; entre las alternativas de financiamiento que se pueden citar están la que proporcionan los gobiernos de países amigos, como por ejemplo Japón, pero también entidades estatales, como el Banco del Estado, el cual ha realizado préstamos no rembolsables destinados a la construcción e infraestructura para provisión de agua potable en el Oriente ecuatoriano.

Las proyecciones del Balance general.

La información que nos provee las proyecciones del Balance General de la alternativa # 1, no hace sino corroborar lo dicho hasta aquí, pues, el Patrimonio resulta positivo y en igual monto que el préstamo no rembolsable de \$ 177.929,12

Pero este patrimonio sufre un deterioro permanente de su valor, hasta llegar en el año 20, en el que finaliza la vida útil del proyecto, a alcanzar un valor de \$ 1.547,78

Estado de pérdidas y ganancias.

Además de la falta de liquidez que ha sido claramente demostrada en el flujo de caja y en el análisis de sus elementos constitutivos, el estado de pérdidas y ganancias confirma la carencia de rentabilidad financiera del proyecto, pues los valores estimados como resultado siempre nos arrojan pérdidas las cuales van desde \$ -10.367,78 en el primer año hasta \$ -5.122,40 en el último año. En la segunda alternativa, las pérdidas también son decrecientes y van desde \$ -15.457,45 en el primer año hasta \$ -14.276,81

6.1.4 Indicadores económicos y financieros (VAN, TIR, B/C)

En la primera alternativa \$ 7.507,42 es el Valor Actual neto antes de financiamiento (excluyendo el valor de la inversión inicial), consecuente el valor del Tir también nos arroja un valor negativo de -10%, la aplicación de cualquiera de los dos criterios de selección de inversiones serían motivo suficiente para rechazar la inversión si nos basáramos únicamente en los criterios financieros.

En la segunda alternativa el VAN (siguiendo el mismo criterio del párrafo anterior) es incluso de menor Valor, -\$ 48.322,82. Por lo que el criterio de rechazo del proyecto se acentuaría.

Relación Beneficio Costo.

El Van de los ingresos es \$ 96.620,09 y el Van costos \$ 165.368,70

El B/C = 0,58

La relación costo beneficio también aconsejaría que el proyecto sea rechazado.

Por otro lado, se optó por no incluir en el análisis financiero aquellos beneficios sociales valorados -aun cuando si se los presenta en un listado aparte-, este criterio se

adopta en consideración, a que si bien algunos beneficios pueden ser valorados, el efecto real rebasa en mucho esa valoración, por ejemplo, si consideramos el impacto en la disminución de la mortalidad, en este caso tendríamos que encontrar una tasa de equivalencia monetaria respecto al valor de la vida humana, pero incluso dentro de una óptica economicista resulta muy complejo valorar el impacto en la producción futura y en el bienestar de la sociedad que produciría el uso del capital humano mejorado a causa de un consumo de agua segura.

6.1.5 Sostenibilidad económica y financiera

La búsqueda de financiamiento para un proyecto que debería estar contemplado dentro de un plan de ejecución municipal no hace más que evidenciar la particular situación que afronta la comunidad de Cotama, ya que ella se encuentra ubicada dentro de la parroquia San Luis (parroquia urbana del cantón Otavalo), y, aun así, es considerada como zona rural, solo por la división del río Jatunyacu. Al presentar este particular marco jurisdiccional ha dejado a esta comunidad en una especie de limbo jurídico por consiguiente su atención es deficiente por parte del GAD municipal, y al no ser parte de una parroquia rural tampoco recibe la ayuda de las juntas parroquiales, esta peculiar situación es un factor importante en el abandono de la satisfacción de las necesidades de la comuna.

Para solventar esta desatención se podría acudir como fuente de financiamiento a instancias no gubernamentales, organismos internacionales e instituciones del aparato estatal. Por ejemplo, la embajada de Japón en Ecuador ofrece asistencia financiera no reembolsable para proyectos comunitarios de seguridad humana (ACP). El gobierno de Japón considera como proyectos elegibles aquellos que estén estrechamente relacionadas con la satisfacción de necesidades humanas básicas; cubriendo así proyectos relacionados con salud y la dotación de infraestructura

básica (sistema de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, entre otros.) En este sentido el financiamiento por parte de este ente internacional es muy viable, ya que el proyecto planteado se ajusta a los requerimientos del mismo

6.2 Viabilidad ambiental

6.2.1 Análisis de impacto ambiental y riesgo

La presente evaluación está orientada al establecimiento o identificación de las alteraciones o impactos que sufrirá el ambiente en sus componentes físicos, biótico y socio-económico, por el proyecto “Diseño de un Sistema de Agua Potable para la comunidad de Cotama, cantón Otavalo, provincia Imbabura”, teniendo como objetivo primordial el establecimiento o la adopción de medidas correctivas con el fin de lograr que estas actividades perjudiquen en lo mínimo posible el ambiente en que están inscritas.

Para la evaluación de impactos se ha empleado una Matriz de Identificación de Impactos o Matriz Leopold que es una matriz de doble entrada causa-efecto; esta matriz, combina las actividades del proyecto en un eje y la lista de factores ambientales afectados a lo largo del otro eje de la matriz. Cuando se espera que una acción determinada provoque un cambio de un factor ambiental, éste se apunta y posteriormente se describe en términos de magnitud e importancia. De forma que se obtiene un análisis integrado, global, sistemático e interdisciplinario del medio y de sus muchos componentes.

Las matrices causa-efecto es un método de identificación y valoración que serán ajustados a diferentes fases del proyecto, arrojando resultados cuali-cuantitativos, realizando un análisis de las relaciones de causalidad entre una acción dada y sus posibles efectos sobre el medio. Esta matriz proporciona la relación entre la causa -

acción de proyecto- y el factor ambiental sobre el que ésta actúa produciendo en efecto.

En cada elemento de la matriz se incluyen dos elementos por separado por una diagonal. Uno indica la “magnitud” de la alteración del factor ambiental correspondiente y, por tanto, el grado del impacto, y otro la importancia del mismo.

La magnitud del impacto se refiere al grado de incidencia sobre el factor ambiental en el ámbito específico en que actúa, para lo cual se puntuará directamente sobre la base del juicio técnico del consultor, como se presenta en la Tabla 40.

Tabla 40. Criterios de puntuación para la evaluación de la Magnitud del impacto

VALORES ASIGNADOS	1,0	2,5	5,0	7,5	10,0
CRITERIO DEL CONSULTOR	Interacciones de poca incidencia sobre la calidad ambiental del factor	Mediana incidencia de la acción sobre la calidad ambiental del factor con el que interacciona	Considerable incidencia de la acción sobre la calidad ambiental del factor con el que interacciona	Alta incidencia de la acción sobre la calidad ambiental del factor con el que interacciona	Altísima incidencia de esa acción sobre la calidad ambiental del factor con el que interacciona

Elaborado por: David Rosado

Se añade además el signo positivo o negativo, que indica si el impacto es beneficioso o adverso, respectivamente.

La importancia del impacto de una acción sobre un componente ambiental se refiere a la influencia que se deriva en términos del cómputo de la calidad ambiental, para lo cual se aplica una metodología basada en evaluar las características de extensión, duración y reversibilidad de cada interacción, e introducir factores de ponderación de acuerdo a la importancia relativa de cada característica.

Las características consideradas para la valoración de la importancia, se las define de la manera siguiente:

- **Extensión:** Se refiere al área de influencia del impacto ambiental en relación con el entorno del proyecto.

- **Duración:** Se refiere al tiempo que dura la afección y que puede ser temporal, permanente o periódica, considerando, además las implicaciones futuras o indirectas.
- **Reversibilidad:** Representa la posibilidad de reconstruir las condiciones iniciales una vez producido el impacto ambiental.

El cálculo del valor de importancia de cada impacto se expresa mediante la siguiente

ecuación:
$$\text{Imp} = W_e \times E + W_d \times D + W_r \times R$$

En Donde:

Imp	=	Valor calculado de la importancia del impacto ambiental
E	=	Valor del criterio de Extensión
W _e	=	Peso del criterio de Extensión
D	=	Valor del criterio de Duración
W _d	=	Peso del criterio de Duración
R	=	Valor del criterio de Reversibilidad
W _r	=	Peso del criterio de Reversibilidad

La restricción de la ecuación es que: $W_e + W_d + W_r = 1$

Para los valores de peso o factores de ponderación se ha definido que los siguientes valores:

Peso de criterio de Extensión = $W_e = 0,20$

Peso de criterio de Duración = $W_d = 0,40$

Peso de criterio de Reversibilidad = $W_r = 0,40$

La asignación de valores para los criterios de puntuación se presenta en la Tabla 41.

Tabla 41. Puntuación para Calificación de la importancia de los Impactos

CARACTERÍSTICA DE LA IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL	PUNTUACIÓN DE ACUERDO A LA MAGNITUD DE LA CARACTERÍSTICA				
	1,0	2,5	5,0	7,5	10,0
EXTENSIÓN	Puntual	Particular: en el sitio del proyecto	Local: sector del proyecto	Generalizada: ciudad	Regional: cantón
DURACIÓN	Esporádica	Temporal	Periódica	Recurrente	Permanente
REVERSIBILIDAD	Completamente reversible	Medianamente reversible	Parcialmente reversible	Medianamente irreversible	Completamente irreversible

Elaborado por: David Rosado

Unificando los criterios de importancia y magnitud, se realizará la media geométrica de la multiplicación de los valores de importancia y magnitud, respetando el signo de su carácter. El resultado de esta operación se lo denomina valor del impacto y responde a la ecuación:

$$\text{Valor del impacto} = \pm (\text{Imp} \times \text{Mag}) \wedge 0,5$$

En virtud a la metodología utilizada, un impacto ambiental puede alcanzar un valor del impacto máximo de 10 y mínimo de 1. Los valores cercanos a 1, denotan impactos intrascendentes y de poca influencia en el entorno, por el contrario, valores mayores a 6,2 corresponden a impactos de elevada incidencia en el medio, sea estos de carácter positivo o negativo.

El cálculo del valor del impacto se hará para cada interacción identificada en la matriz causa - efecto.

6.2.2 Factores ambientales a ser evaluados

Se ha seleccionado un número apropiado de características ambientales según subcomponentes. En la Tabla 42, constan las características ambientales consideradas en el proyecto; su clasificación de acuerdo al componente que pertenece; y, la definición de su inclusión en la caracterización ambiental.

Tabla 42. Factores ambientales a ser evaluados

COMPONENTE AMBIENTAL	SUB-COMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	DEFINICIÓN
ABIÓTICO	Aire	Calidad de aire	Variación de los niveles de emisión e inmisión en el área de influencia
		Ruido y Vibraciones	Variación de niveles de ruido, y vibraciones
	Suelo	Compactación y asentamientos	Pérdida del volumen del suelo, debido a la compactación manual mecánica de zanjas para conducción de tuberías.
		Agua	Obstrucción o relleno de cursos de agua, afectados por el proyecto
BIÓTICO	Flora	Cobertura vegetal	Afectación de la cobertura vegetal existente en la zona a intervenir
	Fauna	Poblaciones y Hábitat	Afectación de las especies que existen en el lugar.
ANTRÓPICO	Medio perceptual	Incidencia visual	Alteración de la expresión propia del entorno natural, especialmente en el área de influencia directa del proyecto.
		Vista Panorámica	Alteración del paisaje actual, especialmente en el área de influencia
	Infraestructura	Red vial	Alteración del tránsito vehicular.
		Servicios básicos	Interferencia de los servicios básicos en el sector.
	Humanos	Calidad de vida	Interferencia en los aspectos de salud y económicos de la población
		Conflictos socio ambiental	Referente a situaciones de oposición ante la construcción del proyecto.
		Salud y Seguridad	Afectación a la salud y seguridad de la población
		Empleo	Valoración de la capacidad de absorber la población económicamente activa (PEA), en las diferentes actividades productivas directas e indirectas generadas por el proyecto.
		Economía Local	Variación de la dinámica local debido a la construcción y funcionamiento del proyecto.

Elaborado por: David Rosado

6.2.3 Determinación de acciones que ejercerá el proyecto sobre el área

Para la realización del Estudio de Impacto Ambiental se ha conformado un registro de acciones de tal manera que sean lo más representativas del estudio en las fases de construcción, operación y mantenimiento del proyecto, ver Tabla 43.

Tabla 43. Acciones que ejercerá el proyecto

ACCIÓN	DEFINICIÓN
Replanteo y nivelación	Referente a las actividades de topografía para la colocación de estacas marcadas con desnivel a ser excavados.
Instalación de campamento	Comprende las adecuaciones necesarias para mejorar las condiciones de trabajo.
Movimiento de tierras	Comprende todo trabajo de movimiento de tierras para conformar la zanja y/o la construcción de las obras inherentes a la misma.
Desbroce de vegetación	Actividades de corta de cobertura vegetación
Excavación mecánica de zanjas	Comprende todo trabajo de movimiento de tierras para conformar la zanja y/o la construcción de las obras inherentes a la misma, empleado maquinaria pesada de excavación.
Transporte de materiales	Se refiere a la acción de transportar los diversos materiales desde su punto de origen al sitio de los trabajos.
Construcción de nueva estructura de captación	Consiste en realizar la construcción de una nueva captación en la vertiente “Mesías Pogyo” con actividades de : picado, enlucido y colocación de acero.
Rehabilitación de estructuras de captación existentes	Se refiere a la rehabilitación de las captaciones existentes de las tres vertientes “Apangora”
Instalación de bombeo y redes de conducción e impulsión	Consiste en la instalación de tuberías de PVC y bombeo de las vertientes Apangora hacia la Planta de Tratamiento ubicada en el sector de Miravalle e instalación de línea impulsión hacia el tanque reservorio No. 2
Construcción de la Planta de Tratamiento y tanque reservorio No. 1	Consiste en la construcción e instalación de una planta de tratamiento modular, tanque reservorio No.1 de 31,5 m ³ para el sector bajo de la comunidad, cárcamo o tanque de bombeo y bombeo
Instalación de accesorios para la conducción	Comprende en la colocación de accesorios para evitar daños en la conducción del sistema
Construcción de tanque reservorio No. 2	Se refiere a la construcción de un tanque para almacenamiento de agua tratada de 19 m ³ .
Instalación de redes de distribución y de acometidas domiciliarias	Consiste en la instalación de nuevas acometidas domiciliarias para ampliar la red de distribución de agua
Señalización y comunicación de actividades del proyecto	Se refiere a la utilización de rótulos, cinta plástica de peligro, conos de seguridad; y comunicación para la comunidad del área de influencia a través de charlas, prensa, radio y volantes.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
ACCIÓN	DEFINICIÓN
Control de enfermedades hídricas	Relacionado al control de enfermedades gástricas y de la piel, derivadas de la contaminación del agua de consumo humano.
Cloración del agua	Consiste en colocar cantidades necesarias de cloro en los tanques reservorios para complementar el tratamiento existente.
Control de la contaminación Ambiental	Con la construcción del proyecto se evitará la contaminación de las aguas subterráneas y el vertido de los efluentes sanitarios domiciliarios al medio ambiente.

Elaborado por: David Rosado

6.2.4 Matriz de identificación, valoración y evaluación de impactos del proyecto

Para la identificación y evaluación de los impactos ambientales, se procedió a realizar una identificación y valoración de los efectos que podría ocasionar las acciones humanas y su trascendencia en la región. Este se resume en la Tabla 44.

Tabla 44. Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales

ACCIONES			CONSTRUCCIÓN														OPERACIÓN - MANTENIMIENTO						
COMPONENTE	SUB COMPONENTES	ELEMENTOS	Replanteo y nivelación	Instalación del campamento	Mejoramiento de vía de acceso para el traslado de materiales construcción y vías de acceso a trabajadores	Desbroce de vegetación	Excavación mecánica de zanjas	Transporte de materiales	Relleno de zanja	Compactación del suelo	Depósito de materiales	Mano de Obra	Ruptura y reposición de carpeta asfáltica	Protección de tubería	Instalación de válvulas de aire	Señalización y comunicación de actividades del proyecto	Limpeza y mantenimiento de estructura de captación	Reconstrucción de estructura de captación	Monitoreo periódico del proyecto de agua potable	AFECCIONES POSITAS	AFECCIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTOS	
ABIOTICA	AIRE	Calidad de aire		2,00	2,00		5,05	1,80	3,46												0	5	-14,32
		Ruido y vibraciones		1,58	2,00		5,05	1,14		3,46	2,55		2,83								0	7	-18,61
	AGUA	Recursos hídricos																	2,65		0	1	-2,65
		Cambio de uso		3,32							2,00										0	2	-5,32
BIOTIC	SUELO	Compactación y asentamientos			3,94		3,87			6,12			1,00								0	4	-14,93
		Cobertura vegetal	1,14	3,32	2,83	4,74	3,54				2,83						2,45				1	6	-15,94
	FAUNA	Hábitat		2,35	1,38	3,54	2,18	1,38	2,18		2,00										0	7	-15,00
																					1	8	-12,93
ANTRÓPICO	MEDIO PERCEPTUAL	Incidencia visual	1,00	3,00	1,00	1,58	3,81	1,14	2,45	2,45							3,50				0	1	-1,26
		Vista Panorámica		1,26																	1	2	-2,34
	INFRAESTRUCTURA	Red vial					4,69						3,08			5,43				3	2	8,06	
		Servicios básicos					2,55						2,00			3,67		2,69	6,24		4	2	12,64
	HUMANOS	Calidad de vida					4,42						2,00			5,20	4,15	3,46	6,24		2	10	-17,27
		Conflicto socio ambiental	3,39			1,58	2,96	1,38	2,83	2,00	1,58		1,58	3,08	3,08	3,50					4	11	-8,77
		Salud y seguridad	1,55	1,26	2,00		3,12	2,18	2,45	3,46	2,00			2,00	3,08	2,18	3,39	4,66	3,08	5,39			
	ECONÓMICO	Empleo	1,55	1,38	2,18	2,92	4,69	2,18	3,46	3,46	2,00	7,00	2,00	3,08	2,18	3,39	2,69	2,18	2,69		17	0	49,04
		Economía local		1,58									3,5								2	0	5,08
			1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	7	4	4	5	35			
			4	8	7	4	11	6	5	5	6	0	7	2	2	0	0	1	0			68	
			-5,53	-15,13	-12,96	-8,53	-36,54	-6,84	-9,91	-14,04	-10,96	10,50	-12,49	-3,08	-3,08	28,08	13,96	8,77	23,26				-54,52

Elaborado por: David Rosado

6.2.5 Resultados de valoración de Impactos

En la Tabla 45, se detallan los factores ambientales que de acuerdo a la metodología aplicada son afectados negativamente por las actividades del proyecto:

Tabla 45. Factores ambientales afectados	
FACTOR AMBIENTAL	VALORACIÓN (-)
Ruido y vibraciones	-18,61
Conflicto socio ambiental	-17,27
Cobertura vegetal	-15,94
Hábitat	-15,00
Compactación y asentamientos	-14,93
Calidad de aire	-14,32
Incidencia visual	-12,93
Salud y seguridad	-8,77
Cambio de uso	-5,32
Recursos hídricos	-2,65
Red vial	-2,34
Vista Panorámica	-1,26

Elaborado por: David Rosado

En la Tabla 46, se enlistan los factores ambientales beneficiosos en el desarrollo y funcionamiento del proyecto:

Tabla 46. Factores ambientales beneficiosos	
FACTOR AMBIENTAL	VALORACIÓN (+)
Empleo	49,04
Calidad de vida	12,64
Servicios básicos	8,06
Economía local	5,08

Elaborado por: David Rosado

La valoración de las actividades de construcción identificadas como negativas, se presentan en la Tabla 47.

Tabla 47. Actividades de Construcción del proyecto (negativas)

Actividades de construcción del proyecto	Valoración (-)
Excavación mecánica de zanjas	-36,54
Instalación del campamento	-15,13
Compactación del suelo	-14,04
Mejoramiento de vía de acceso para el traslado de materiales construcción y vías de acceso a trabajadores	-12,96
Ruptura y reposición de carpeta asfáltica	-12,49
Depósito de materiales	-10,96
Relleno de zanja	-9,91
Desbroce de vegetación	-8,53
Transporte de materiales	-6,84
Replanteo y nivelación	-5,53
Protección de tubería	-3,08
Instalación de válvulas de aire	-3,08

Elaborado por: David Rosado

La valoración de las actividades de construcción identificadas como positivas, se presentan en la Tabla 48.

Tabla 48. Actividades de construcción del proyecto (positivas)

Actividades de construcción del proyecto	Valoración (+)
Señalización y comunicación de actividades del proyecto	28,08
Mano de Obra	10,50

Elaborado por: David Rosado

El resultado de la evaluación de todas las actividades de operación y mantenimiento que son beneficiosas en el desarrollo del proyecto, se presenta en la Tabla 49.

Tabla 49. Actividades de operación del proyecto positivas o beneficiosas.

Actividades de operación del proyecto	Valoración (+)
Monitoreo periódico del proyecto de agua potable	23,26
Limpieza y mantenimiento de estructura de captación	13,96
Reconstrucción de estructura de captación	8,77

Elaborado por: David Rosado

Para el presente proyecto se han identificado un total de 103 interacciones de causa – efecto; estas se resumen en la Tabla 50.

Tabla 50. Cantidad de interacciones por naturaleza del impacto

Interacciones ambientales	Interacciones	%
Positivas	35	34,00
Negativas	68	66,00
TOTAL	103	100,00

Elaborado por: David Rosado

Si bien se prevé se ocasionen impactos negativos en las fases de construcción y rehabilitación del sistema de agua potable de la comunidad de Cotama, estos en su mayoría pueden prevenirse y controlarse, a través del cumplimiento de las medidas establecidas en el Plan de manejo ambiental. Ver Anexo 8.

Capítulo 7

7. Presupuesto y Cronograma

7.1 Presupuesto

El presupuesto se divide en la fase 1, que comprende la construcción de la infraestructura necesaria para abastecer a la parte baja de la población, y fase 2, la cual incluye a la parte alta de la comunidad. Ver el resumen del presupuesto en Tabla 51.

Tabla 51. Resumen del presupuesto

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
FASE I				
Captación en mesías pogyo conducción por gravedad desde vertiente mesías pogyo a planta de tratamiento	U	1	3.981,32	3.981,32
Captación cotama pogyo tanque sedimentador y cárcamo de bombeo hacia el tratamiento	U	1	5.188,59	5.188,59
Planta modular de tratamiento tanque de almacenamiento #1 para sector bajo y cárcamo de bombeo para el tanque #2 elevado	U	1	917,87	917,87
Distribución sistema agua potable (b)	U	1	6.209,54	6.209,54
Varios	U	1	13.326,91	13.326,91
FASE II				
Captaciones en apángora #1, #2 y #3 Conducción desde apangora #1 hasta apangora #3	U	1	9.975,11	9.975,11
Bombeo #1 hacia el tanque #2 elevado	U	1	3.072,72	3.072,72
Impulsión desde la planta de tratamiento al tanque elevado #2	U	1	6.083,09	6.083,09
Tanque #2 elevado	U	1	1.056,6	1.056,6
Sistema de bombeo #2 desde apangora #3 hasta la planta de tratamiento	U	1	10.337	10.337
Impulsión desde apangora #3 hasta la planta de tratamiento	U	1	12.479,71	12.479,71
Distribución sistema agua potable (a)	U	1	1.722,2	1.722,2
TOTAL			34.585,91	34.585,91
			177.929,12	

Elaborado por: David Rosado

El detalle de las actividades y rubros del presupuesto se encuentran en el Anexo 17. Los costos fueron definidos mediante un análisis de precios unitarios, usando bases de datos actualizadas existentes dentro provincia de Imbabura. Ver Anexo 19.

7.2 Cronograma

La ejecución de la primera etapa, prevé un periodo de 4 meses, y 3 meses para la segunda etapa, dando un total de 7 meses. El cronograma detalla la duración de las actividades y la inversión necesaria mes a mes. Ver Anexo 17.

Conclusiones

- La comunidad de Cotama, ubicada en la periferia norte del casco urbano del cantón Otavalo, se abastece actualmente mediante un sistema de agua entubada con 162 usuarios o familias, que no satisface adecuadamente las necesidades tanto en calidad como en cantidad.
- Las proyecciones de la población futura, se la estimó según la recomendación de la normativa ecuatoriana, mediante el método geométrico (SENAGUA, 2016) y el censo comunitario realizado en el año 2016, dando como resultado una población beneficiaria, al año 2037, de 1115 habitantes, con una capacidad de captación de 1,74 L/s.
- Según el mapa de riesgo sísmico NEC-2015, el proyecto se encuentra en la zona IV, catalogada como de muy alta intensidad sísmica, con un factor Z, para diseño sismo resistente de estructuras, igual a 0,4g.
- La dotación de agua requerida para satisfacer a la población de la comunidad de Cotama es de 75 L/hab/día, dado el nivel de servicio y clima predominante en la zona.
- El cálculo del caudal de diseño requerido en las fuentes de abastecimiento es de 2,90 L/s, sin embargo, el caudal aforado disponible en las fuentes es de 2,72 L/s, esta diferencia de caudal será complementada por los tanques de almacenamiento, los cárcamos de bombeo que se implementan y por el bombeo desde la vertiente Apangora.
- Los caudales de diseño de los elementos del sistema son: captación $Q = 1,74$ L/s, conducción $Q = 1,60$ L/s, tratamiento $Q = 1,60$ L/s, distribución $Q = 3,48$ L/s, y un volumen de almacenamiento es de $50,15 \text{ m}^3$.

- La presión dinámica de la red de conducción a la llegada al tratamiento es de 6,01 mca; en la distribución, de acuerdo a normas de la Secretaria del Agua, está en un rango comprendido entre 0,7 kg/cm² a 3 kg/cm², excediéndose solo en un pequeño tramo, imposible de evitar; por lo que, para sortear el impacto, se especifica que las viviendas del sector utilicen accesorios de buena calidad.
- El diseño de la captación en Mesías Pogyo comprende la construcción de una estructura que recolecte 1,08 L/s, que aflora en el sector;
- La conducción de Mesías Pogyo al tratamiento se diseña por gravedad, con tubería de PVC de 63 mm de diámetro.
- El cálculo de la distribución comprende dos redes independientes, el uno que parte del tanque elevado ubicado en la cota 2541,00, para abastecer al sector “alto” de la comunidad, y el otro desde el tanque bajo, en la cota 2522,32, para el suministro de la zona “baja”, con diámetros que van de 25 a 63 mm.
- La evaluación de impactos ambientales durante las fases de construcción, rehabilitación, operación y mantenimiento, ha identificado 103 interacciones causa – efecto, de los cuales, 34 % son positivas y 66 % negativas; las últimas, pueden prevenirse y controlarse a través de las medidas preestablecidas en el plan de manejo ambiental.
- Se han considerado dos fases de ejecución: la primera a gravedad, para cubrir las necesidades de la zona baja de la población, por un costo de USD \$ 98.616,78; y, una segunda, que involucra bombeo, para completar el servicio también a la parte alta, por un monto de USD \$ 79.312,34
- El periodo de diseño tomado para cada elemento del sistema será de 20 años, según normativa.

Recomendaciones

- No es recomendable ejecutar un proyecto cuyo diseño se realiza con escasa información de caudales. Para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema, previo a la construcción del proyecto se debe realizar una caracterización de las fuentes, que justifique y valide de manera técnica la disponibilidad del recurso hídrico.
- Previo a la construcción del proyecto se recomienda realizar el proceso de regulación ambiental, ante la autoridad ambiental competente, para la construcción y rehabilitación del sistema de agua potable de la comunidad de Cotama.
- Durante la construcción del proyecto se deberá cumplir con las especificaciones técnicas y normativas vigentes.
- Realizar una reforestación en las zonas de captación, con el fin de evitar la merma de caudal.
- Efectuar un seguimiento periódico de las fuentes de abastecimiento de agua potable del sistema para determinar disminuciones de caudales, contaminación, etc.
- Llevar un control periódico de los registros de medición de caudales consumidos, con el fin de controlar el mal uso del líquido, a través de instalaciones clandestinas, o usos indebidos.
- Realizar análisis regular del agua producida, para verificar su idoneidad para ser consumida por los pobladores.

Referencias Bibliográficas

- ACI-350.3-01. (2001). Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures. American Concrete Insitute, "ACI Committee 350", Farmington Hills, Mich, EE.UU.
- ACI 318 – 14. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete & Commentary. Standard by American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, EE.UU..
- Besson, L. (productor) y Arthus-Bertrand, Y. (director). (2009). Home [Documental]. Francia: Europacorp.
- Calero, I. (2016). Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos I. Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito
- CEALEP. (2015). Actualización y complementación del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo de la Provincia de Imbabura.
- EPA (2008). EPANET 2.0.12 [Software]. Software que modela el comportamiento hidráulico y de calidad del agua de los sistemas de tuberías de distribución de agua. United States Environmental Protection Agency. Obtenido de: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- INAMHI (2016). Información proporcionada por el Instituto Nacional de meteorología e hidrología. República del Ecuador
- López, P. L. (2004). Población de muestra y muestreo. Versión On-line revista Punto Cero v.09 n.08 Cochabamba.
- NEC-SE-DS (Norma Ecuatoriana de la Construcción) (2015). Peligro sísmico diseño

- sismo resistente. Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador.
- OMS (2001). Water for Health. Taking Charge. Organización Mundial para la Salud, The World Health Organization.
- ONU (2017). Informe mundial sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. UNESCO.
- OPS/CEPIS (2004).04.105, Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural.
- OPS/CEPIS (2005). Organización Panamericana de la Salud y el Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y Ciencias del Ambiente. Guías para el Diseño de Estaciones de Bombeo de Agua Potable. Lima
- OPS/CEPIS (2005).158, Guía para el diseño de Desarenadores y Sedimentadores, Lima
- PCA (Portland Cement Association) (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU.
- Rosado G., Guillet C., Rosado R. y Duque M. (2016). GIS-APAL_96-V16.08.20. [Software]. Gestión integral de servicios urbanos y rurales de agua potable, alcantarillado y catastros. HIDROSOFT LTDA. Obtenido de: <https://hidrosoft.ec/gisapal.html>.
- Rosen, S. and Vincent, J.R. (1999) Household Water Resources and Rural Productivity in Sub-Saharan Africa: A Review of the Evidence. Harvard Institute for International Development, Cambridge.
- SENAGUA. (2016). Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.

<https://doi.org/10.7>.

Soria, M. (2016). Apuntes de clase de Sanitaria. Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito.

Uneze E., Tajudeen I. and Iweala O., (2013). Cost-Effectiveness and Benefits-Cost Analysis of Some Water Interventions (the Case of Bauchi State, Nigeria). The Global Development Network (GDN).

ANEXOS