



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

**Estudio y Diseño del sistema de agua potable de la
comunidad San José de la Betania del cantón Pucará,
provincia del Azuay**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autores:
BRAIAM ANDRÉS GARZÓN PACHECO
ROYER ORLANDO VEGA SERPA

Directora:
MARÍA BELÉN ARÉVALO DURAZNO

CUENCA – ECUADOR

2017

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, A mi padre, a pesar de haberlo perdido, siento que ha estado conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mi madre, por ser el pilar más importante al demostrarme siempre su cariño y su apoyo para salir adelante en los momentos más difíciles. A mi hermano, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesto a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

Andrés Garzón.

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme llegar hasta este momento de mi formación profesional. A mi esposa, a mi hijo, a mi familia en especial a mi madre, a pesar de nuestra distancia física, tu recuerdo siempre será el impulso para conseguir mis metas en la vida. A mi padre, por ser un pilar importante en mi crecimiento personal y brindarme su apoyo humilde e incondicional en el recorrido de mi vida.

Royer Vega.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme valor para superar obstáculos y dificultades a lo largo de esta etapa de mi vida.

Agradezco también el apoyo emocional y económico brindado por parte de mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi hermano por ser un gran amigo para mí, que juntos hemos pasado momentos inolvidables y acompañarme a afrontar que se han presentado a lo largo de esta etapa. A mi compañero de tesis, Royer por haber logrado nuestro gran objetivo con mucha perseverancia.

A Galo, Gonzalo y Anita que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino, por demostrar que podemos ser grandes amigos y compañeros a la vez.

A la Ing. María Belén Arévalo, directora de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto en especial a los miembros del tribunal de trabajo de titulación.

Andrés Garzón.

Un humilde Gracias a todos los educadores intelectuales que supieron transmitir su conocimiento para guiarnos con éxito en esta etapa importante de nuestra vida.

En especial a la Ing. María Belén Arévalo por su dedicación, tiempo, constancia y su contribución desinteresada en el desarrollo de esta tesis.

Al Ing. Fabian Cazar por su vasta experiencia y notable predisposición en guiarnos el último momento de nuestra carrera universitaria.

Al Ing. Paul Cordero por su ayuda invaluable y voluntad hacia nuestra persona y nuestro trabajo.

Royer Vega.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO 1: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	1
1.1 Recopilación de información cartográfica	1
1.1.1 Ubicación	1
1.1.2 Vía de acceso y comunicación	2
1.1.3 Base cartográfica.....	2
1.1.4 Clima.....	3
1.1.5 Flora y fauna	5
1.1.6 Vialidad.....	8
1.1.7 Telecomunicaciones.....	9
1.1.8 Uso del suelo.....	9
1.1.9 Geomorfología y geología.....	10
1.2 Topografía.....	11
1.2.1 Levantamiento topográfico	12
1.2.2 Modelo digital del terreno.....	13
1.3 Análisis de suelos.....	14
1.3.1 Determinación de la capacidad soportante en suelos.....	15
1.3.2 Capacidad admisible por limitación de asentamientos	16
1.3.3 Conclusiones y recomendaciones	17
1.4 Abastecimiento actual del agua y análisis de las fuentes.....	18
1.4.1 Situación actual	18
1.4.2 Evaluación de fuentes	19
1.4.2.1 Riesgo sanitario.....	21
1.4.2.2 Características del análisis de agua.....	22
1.4.2.2.1 Calidad de agua	22

1.4.2.2.2 Disposiciones específicas.....	22
1.4.2.2.2.1 Características físico-químicas.....	23
1.4.2.2.2.2 Características microbiológicas	26
1.4.2.2.3 Resultados de los análisis.....	26
1.5 Distribución de la población, características socioeconómicas	27
1.5.1 Población.....	27
1.5.2 Vivienda	27
1.5.3 Servicios e infraestructura existente.....	28
1.5.3.1 Energía eléctrica y servicio de telefonía	28
1.5.3.2 Establecimientos educativos y de salud	29
1.5.3.3 Servicio de transporte.....	30
1.5.3.4 Infraestructura sanitaria.....	30
1.5.4 Características socioeconómicas	31
1.5.4.1 Oficios y actividades de los habitantes	31
1.5.5 Encuesta – adquisición del servicio	31
1.6 Revisión de la normativa a utilizar	32
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	33
2.1 Parámetros de diseño.....	33
2.1.1 Definiciones generales	33
2.1.2 Periodo de diseño	34
2.1.2.1 Población de diseño.....	34
2.1.2.2 Población actual.	34
2.1.2.3 Población futura	34
2.1.3 Dotación	35
2.1.4 Caudales de diseño	36
2.1.4.1 Caudal medido	36
2.1.4.2 Caudal medio (Qm).....	37
2.1.4.3 Fugas	37
2.1.4.4 Caudal máximo diario (QMD).....	38
2.1.4.5 Caudal máximo horario (QMH).....	38
2.1.4.6 Caudal unitario	39
2.1.5 Sistemas de agua potable	39
2.1.5.1 Fuente de abastecimiento	39

2.1.5.2 Captación.....	39
2.1.5.3 Conducción	40
2.1.5.3.1 Tipos de conducción	40
2.1.5.3.1.1 Conducción forzada	40
2.1.5.4 Tratamiento	40
2.1.5.5 Almacenamiento	41
2.1.5.6 Distribución de agua potable.....	41
2.1.5.7 Abastecimiento público.....	41
2.1.5.8 Unidades de agua	42
2.1.5.9 Conexiones domiciliarias	42
2.1.6 Determinación de caudales de diseño	42
2.1.7 Parámetros de diseño para la captación	44
2.1.7.1 Volumen requerido del tanque de captación	44
2.1.7.2 Volumen del tanque de captación real	44
2.1.7.3 Comprobación	44
2.1.7.4 Caudal del orificio.....	45
2.1.7.5 Numero de orificios.....	45
2.1.7.6 Área de la tubería principal	45
2.1.8 Parámetros de la línea de conducción	46
2.1.8.1 Caudal de diseño	46
2.1.8.2 Pérdidas unitarias	46
2.1.8.3 Fórmula de Hazen – Williams	46
2.1.8.4 Ecuación de Bernoulli	47
2.1.8.5 Velocidad	47
2.2 Análisis de alternativas de tratamiento	48
2.2.1 Parámetros de tratamiento.....	48
2.2.2 Alternativas de tratamiento FiME	49
2.2.3 Alternativas de tratamiento según la norma ecuatoriana	50
2.2.4 Parámetros de diseño de una planta de tratamiento	51
2.2.4.1 Capacidad del sistema	52
2.2.4.2 Componentes principales	52
2.2.4.2.1 Filtración en múltiples etapas (FiME).....	52
2.2.4.2.2 Filtro grueso dinámico (FGDi)	53
2.2.4.2.2.1 Componentes principales del FGDi	54

2.2.4.2.2.2 Criterios de diseño.....	55
2.2.4.2.2.3 Eficiencia de remoción.....	56
2.2.4.2.2.4 Dimensionamiento FGDi	57
2.2.4.2.3 Filtro lento de arena	61
2.2.4.2.3.1 Componentes de la unidad	62
2.2.4.2.3.2 Criterios de diseño.....	64
2.2.4.2.3.3 Eficiencia de remoción.....	65
2.2.4.2.3.4 Dimensionamiento FLA.....	66
2.2.4.3 Cloración	67
2.3 Sectorización de la red de distribución	68
2.4 Análisis de alternativas de materiales y accesorios a utilizar	69
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEFINITIVO.....	70
3.1 Diseño de la captación	70
3.2 Diseño de la línea de conducción.....	71
3.2.1 Válvulas de aire.....	71
3.2.2 Válvulas de purga.....	72
3.2.3 Tanque rompe presión.....	72
3.3 Planta de tratamiento.....	73
3.3.1 Filtro grueso dinámico	73
3.3.2 Filtro lento de arena	73
3.3.3 Tanque de reserva	74
3.4 Red de distribución	75
3.4.1 Manual de mantenimiento.....	75
CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO	76
4.1 Cuantificación de cantidades de obra.....	76
4.2 Análisis de precios unitarios	76
4.3 Presupuesto	76
4.4 Elaboración de cronograma valorado.....	76
4.5 Fórmula polinómica	77
4.6 Especificaciones técnicas	77
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará.	1
Figura 1.2. Vía de acceso.	2
Figura 1.3. Cartografía Base de la Comunidad San José de la Betania del cantón Pucará.	3
Figura 1.4. Isotermas de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará.	4
Figura 1.5. Isoyetas de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará.	5
Figura 1.6. Vía de San José de la Betania	9
Figura 1.7. Cobertura y uso del suelo	10
Figura 1.8. Estructura geomorfológica de San José de la Betania	11
Figura 1.9. Rango de pendientes de San José de la Betania	12
Figura 1.10. Levantamiento topográfico de la comunidad San José de la Betania.	13
Figura 1.11. Modelo digital del terreno	14
Figura 1.12. Capacidad soportante en suelos	16
Figura 1.13. Fuentes	20
Figura 1.14. Aforo de las fuentes	20
Figura 1.15. Muestras de las fuentes	21
Figura 1.16. Muestras de las fuentes	22
Figura 1.17. Tipo de edificación	28
Figura 1.18. Transformadores de energía de la zona alta del cantón.	29
Figura 1.19. Alcantarillado.	30
Figura 1.20. Actitud hacia el proyecto de agua potable.	32
Figura 2.1. Posible disposición de la planta de tratamiento de agua.	52
Figura 2.2. Procesos que integran la FiME	53
Figura 2.3. Componentes de un filtro grueso dinámico.	53
Figura 2.4. Componentes básicos de un FLA con control a la entrada.	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Vegetación del cantón Pucará	5
Tabla 1.2. Especies animales del cantón Pucará	7
Tabla 1.3. Coordenadas geográficas de las fuentes.....	19
Tabla 1.4. Parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos.	23
Tabla 1.5. Resultados de los índices de calidad de agua (WQI)	27
Tabla 1.6. Unidades médicas en Pucará	29
Tabla 1.7. Ramas de actividad de la población económicamente activa de la comunidad San José de la Betania	31
Tabla 2.1. Tasa de crecimiento poblacional.....	35
Tabla 2.2. Niveles de servicio	35
Tabla 2.3. Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio	36
Tabla 2.4. Aforo en verano de la fuente 2.....	37
Tabla 2.5. Porcentaje de fugas	38
Tabla 2.6. Caudales de diseño.....	42
Tabla 2.7. Velocidades máximas recomendadas para el escurrimiento del agua en los distintos tipos de tuberías, y coeficientes de rugosidad correspondientes	48
Tabla 2.8. Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas, FIME. (Todas las opciones incluyen FGDI 2.0 y FLA0.15).....	49
Tabla 2.9. Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones de FIME.....	50
Tabla 2.10. Tratamiento probable	51
Tabla 2.11. Criterios de diseño para filtros gruesos dinámicos.	55
Tabla 2.12. Eficiencias de remoción encontradas en fuentes superficiales tratadas por filtros gruesos dinámicos.....	56
Tabla 2.13. Criterios de diseño para filtros lentos.	64
Tabla 2.14. Eficiencias típicas de tratamiento para filtros lentos de arena	65
Tabla 2.15. Mínimas concentraciones residuales de cloro requeridas para una desinfección eficaz del agua.....	68
Tabla 2.16. Sectorización de la red de distribución	68
Tabla 3.1. Cálculos filtro grueso dinámico	73
Tabla 3.2. Cálculos sistema de drenaje	73
Tabla 3.3. Cálculos filtro lento de arena	74
Tabla 3.4. Cálculos sistema de recolección y drenaje.....	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Estudio de suelo.....	18
Anexo 2. Fotografías de las fuentes	21
Anexo 3. Estudios de agua	22
Anexo 4. Determinación de WQI.....	27
Anexo 5. Tabulación de encuestas socio-económicas	27
Anexo 6. Formato de encuesta socio-económica.....	32
Anexo 7. Encuestas socio-económicas realizadas a la comunidad San José de la Betania.....	32
Anexo 8. Memoria de cálculo (Caudales, captación 1, captación 2 y línea de conducción).....	43
Anexo 9. Planos de captaciones	70
Anexo 10. Plano de tanques rompe presión y tanques de captaciones	71
Anexo 11. Planos de perfiles de la línea de conducción	71
Anexo 12. Plano constructivo del sistema de agua potable	71
Anexo 13. Plano de la válvula de aire.....	72
Anexo 14. Plano de la válvula de purga.....	72
Anexo 15. Memoria de cálculo F.G.D.	74
Anexo 16. Memoria de cálculo F.L.	74
Anexo 17. Plano de la planta de tratamiento vista en planta	74
Anexo 18. Plano de la planta de tratamiento corte.....	74
Anexo 19. Memoria de cálculo tanque de reserva	75
Anexo 20. Plano de tanque de reserva	75
Anexo 21. Plano del sistema de agua potable	75
Anexo 22. Plano del análisis hidráulico de la red de distribución	75
Anexo 23. Análisis hidráulico de la red de distribución	75
Anexo 24. Plano de conexión domiciliaria	75
Anexo 25. Manual de operación y mantenimiento	75
Anexo 26. Cuantificación de cantidades de obra	76
Anexo 27. Agrupado por rubros	76
Anexo 28. Análisis de precios unitarios.....	76
Anexo 29. Presupuesto.....	76
Anexo 30. Cronograma valorado	77

Anexo 31. Asignación de términos	77
Anexo 32. Fórmula polinómica.....	77
Anexo 33. Especificaciones técnicas	77

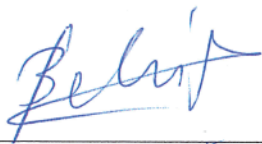
RESUMEN

ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE LA BETANIA DEL CANTÓN PUCARÁ, PROVINCIA DEL AZUAY

RESUMEN

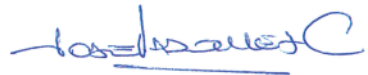
El presente trabajo de titulación aporta a la solución de las necesidades básicas deficientes de la comunidad San José de la Betania perteneciente al cantón Pucará. El estudio está compuesto de varios aspectos como es la investigación de campo realizada, que generó información monográfica de la comunidad. Además, el levantamiento topográfico entregado por el GAD Municipal complementó el trabajo. Se desarrolló la base de datos para el estudio y diseño del sistema de agua potable que incluye captación, conducción, planta de tratamiento y distribución, cumpliendo con las especificaciones y normas establecidas. Se realizó el presupuesto referencial del proyecto con sus especificaciones técnicas correspondientes.

Palabras clave: Estudio, agua potable, captación, conducción, tratamiento, distribución.



María Belén Arévalo Durazno

Directora del Trabajo de Titulación



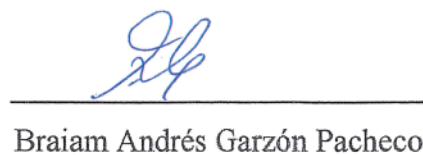
José Fernando Vázquez Calero

Director de Escuela



Royer Orlando Vega Serpa

Autor



Braiam Andrés Garzón Pacheco

Autor

ABSTRACT

STUDY AND DESIGN OF THE DRINKING WATER SYSTEM OF SAN JOSE DE LA BETANIA COMMUNITY, PUCARA CANTON, PROVINCE OF AZUAY

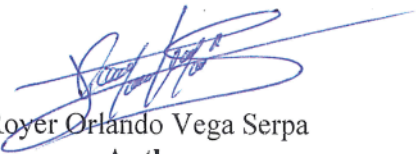
ABSTRACT

This graduation work contributed to the solution of the basic needs of *San Jose de la Betania* community in Pucara. The study was composed of several aspects such as the field research carried out, which generated monographic information of the community. In addition, the topographic survey provided by the Municipal GAD complemented the work. The database for the study and design of the potable water system was developed. This included catchment, conduction, treatment and the distribution plant, which complied with the specifications and established standards. The project's reference budget was prepared with the corresponding technical specifications.

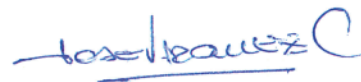
Keywords: study, drinking water, catchment, conduction, treatment, distribution.



María Belén Arévalo Durazno
Thesis Director



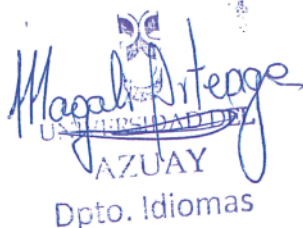
Royer Orlando Vega Serpa
Author



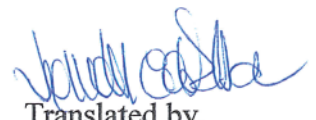
José Fernando Vázquez Calero
School Director



Braiam Andrés Garzón Pacheco
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Braiam Andrés Garzón Pacheco

Royer Orlando Vega Serpa

Trabajo de grado

Ing. María Belén Arévalo Durazno. MSc

Octubre, 2017

**ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA
COMUNIDAD SAN JOSÉ DE LA BETANIA DEL CANTÓN PUCARÁ,
PROVINCIA DEL AZUAY**

INTRODUCCIÓN

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pucará, ha iniciado un amplio plan en el campo de Saneamiento Ambiental, con el fin de solucionar los problemas de infraestructura sanitaria en el medio rural y urbano. Para tal efecto, suscribió un convenio con la Universidad del Azuay para que se realice el ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE LA BETANIA DEL CANTÓN PUCARÁ, PROVINCIA DEL AZUAY, debido a que es prioritario dotar de un servicio de agua potable permanente.

Alcance

El diseño hidráulico a presentar está dirigido a solucionar el problema de escasez de agua potable de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará. El diseño incluirá: captación, conducción, planta de potabilización y red de distribución; con el objetivo de proveer líquido vital a la gente de la comunidad beneficiaria como también de mejorar su calidad de vida.

Para el diseño del sistema en un software especializado como es el EPANET o cualquier otro; adicionalmente se utilizará el software InterPro para valorar el costo final de la obra, la cual tendrá una vida útil estimada de 20 años.

Antecedentes

La comunidad San José de la Betania, provincia del Azuay, actualmente cuenta con un sistema de agua entubada mediante manguera de polietileno colocado directamente de la fuente, sin ningún tratamiento, operación y mantenimiento. Esto hace que sea un sistema insostenible sin garantizar que el agua sea apta para el consumo humano, lo que constituye un problema social y de salud que ha acaparado el interés de las autoridades, organismos competentes y de los ciudadanos.

Según la ONU (ONU, 2010), es un derecho humano disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico. En vista de que este problema afecta la calidad de vida de la población, la Universidad del Azuay conjuntamente con el GAD Municipal del cantón Pucará, realizarán el estudio y diseño del sistema de abastecimiento de agua, el cual proporcionará agua en condiciones óptimas para mejorar la calidad de vida de las personas que viven en la zona

Justificación

Se conoce que la comunidad no tiene abastecimiento de agua potable, y considerando que el agua es vida y salud, resulta indispensable el tratamiento del agua cruda para evitar enfermedades de tipo hídrico en la población. Las zonas rurales son las más perjudicadas debido generalmente a la extrema pobreza de las mismas, lo que implica dificultad para obtener un sistema de agua potable, y si lo tienen, es de baja calidad y eficiencia. Además, los niveles de cobertura de servicio en las zonas rurales son muy bajos, lo que conlleva a que los pobladores opten por consumir el agua directamente desde las fuentes. Por todo lo antes mencionado; se ha optado, solucionar esta problemática con el estudio y diseño de un sistema de agua potable como principal servicio de la comunidad.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar el sistema de agua potable para la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará, provincia del Azuay, el cual estará constituido por: captación, conducción,

planta de potabilización y red de distribución.

Objetivos específicos

- Levantar la información de campo referente a la línea base como: topografía, análisis de agua cruda, análisis de suelos, encuestas, situación socioeconómica.
- Elaborar el diseño del sistema, el mismo que consta de: captación, conducción, planta de tratamiento y red de distribución.
- Realizar un presupuesto; basado en la cuantificación de cantidades de obra, análisis de precios unitarios, cronograma valorado, fórmula polinómica y especificaciones técnicas.

CAPÍTULO 1: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

1.1 Recopilación de información cartográfica

1.1.1 Ubicación

El Proyecto se encuentra ubicado en la comunidad de San José de la Betania del cantón Pucará perteneciente a la Provincia del Azuay; se localiza a una distancia aproximada de 10 Km de la cabecera cantonal hacia la zona noreste, siguiendo por la vía que conduce a la comunidad La Betania (Figura 1.1).

Se encuentra en las coordenadas UTM WGS84 en la zona 17 M, 9649804 m N; 670037 m E con una altura promedio de 3473 msnm.

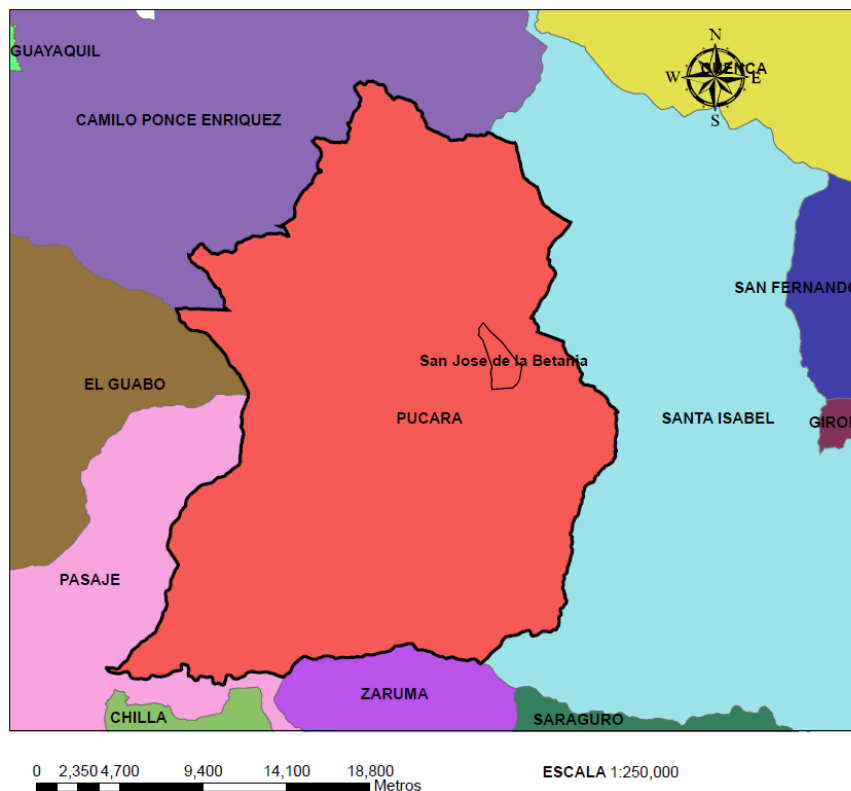


Figura 1.1. Ubicación de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará.

Fuente: Instituto Geográfico Militar, 2010, mapa división del Ecuador, escala 1:50.000.

1.1.2 Vía de acceso y comunicación

Existe una sola vía de acceso a la comunidad San José de la Betania, la cual se comunica desde la cabecera cantonal hasta el poblado con un recorrido de 10.3 km como se observa en la Figura 1.2.



Figura 1.2. Vía de acceso.

Fuente: Google Earth recuperado 13/06/2017.

1.1.3 Base cartográfica

La Base Cartográfica del cantón Pucará es muy importante, ya que por medio de ella se puede conocer la característica del medio, su topografía, accesibilidad a recursos y la ubicación de puntos específicos, que serán de interés de la comunidad designada al estudio y diseño del sistema de agua potable como se ilustra en Figura 1.3.

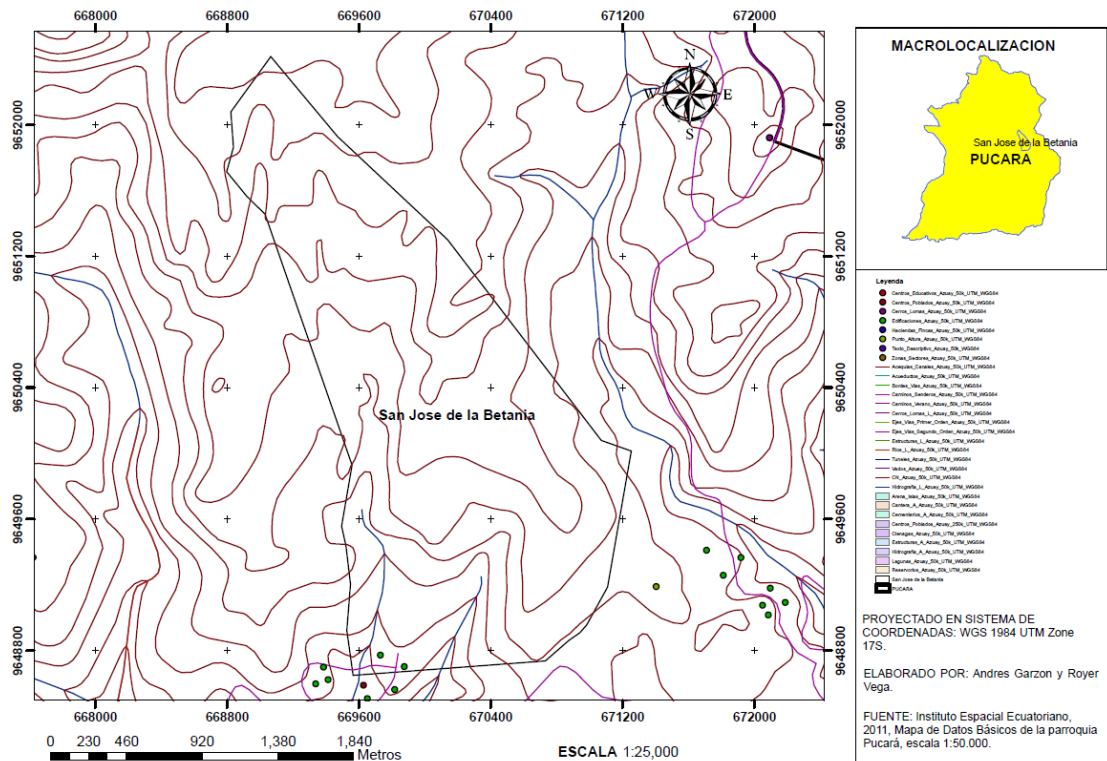


Figura 1.3. Cartografía base de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará.
Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011, mapa de datos básicos de la comunidad Pucará, escala 1:50.000.

1.1.4 Clima

El cantón Pucará presenta rangos de temperatura determinados por el gradiente altitudinal, el cual se sitúa entre los 200 msnm, en la zona más baja hasta los 3280 msnm, en la parte más alta (PODT, 2014).

La comunidad San José de la Betania se encuentra a una altura aproximada de 3569 msnm. en su parte alta (captación) y una altura de 3473 msnm. en la parte consolidada del estudio, esto influye para que su clima sea frío en épocas de invierno que va desde diciembre hasta mayo con una alta presencia de lluvia y de neblina. El verano va desde junio hasta noviembre. Su temperatura anual oscila de 6 a 12 grados centígrados y en épocas de invierno registra hasta 6 grados centígrados, su temperatura media es de 8 grados centígrados como se contempla en la Figura 1.4.

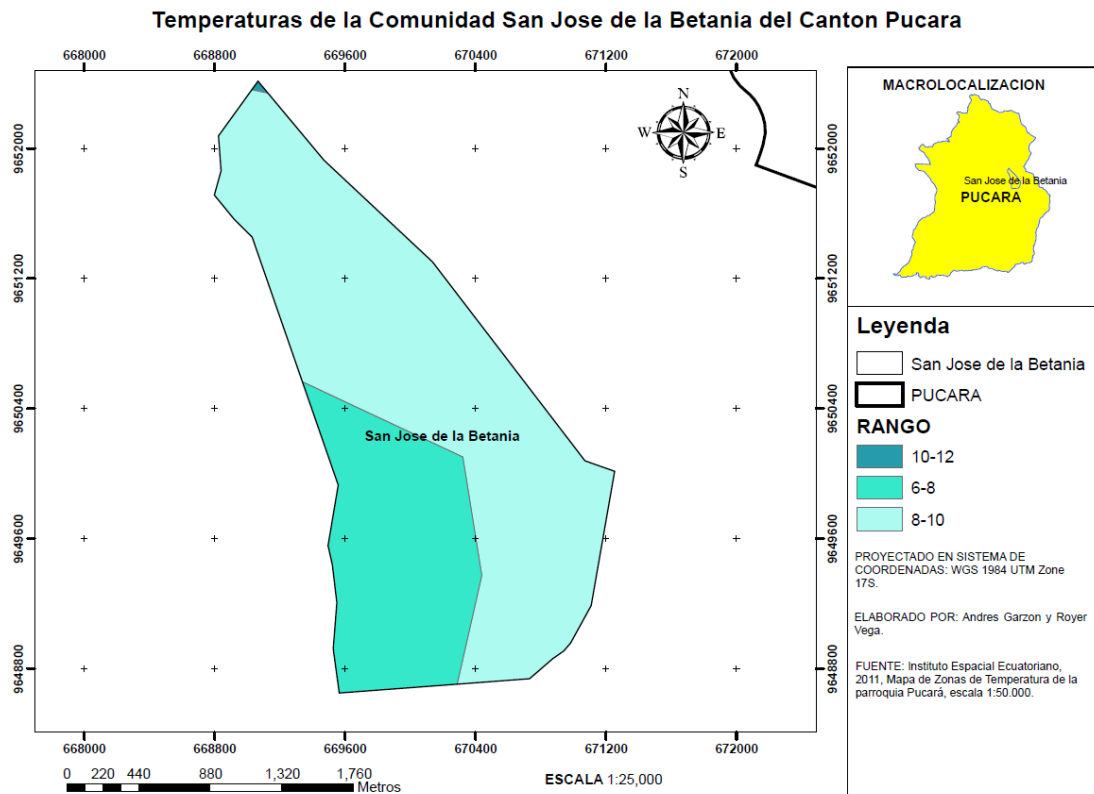


Figura 1.4. Isotermas de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará.

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011, mapa de zonas de temperatura de la comunidad Pucará, escala 1:50.000.

La precipitación en la comunidad resultado del mapa de isoyetas Figura 1.5, se encuentra en un rango de 1000 – 1250 mm en promedio anual, la cual nos indica un recurso hídrico regular, teniendo en cuenta la épocas de verano aumentaría las limitaciones de obtención de agua para los servicios de la comunidad.

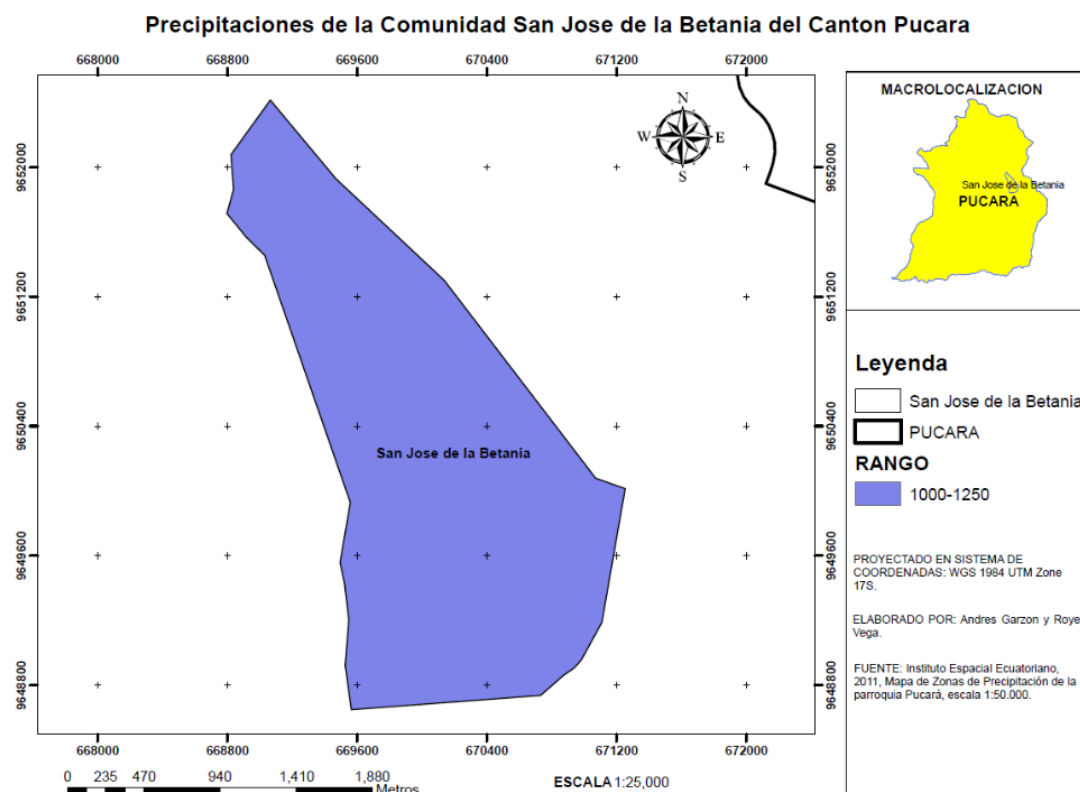


Figura 1.5. Isoyetas de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucará.

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011, mapa de zonas de precipitación de la comunidad Pucará, escala 1:50.000.

1.1.5 Flora y fauna

Para el conocimiento de la flora y fauna, se parte de la taxonomía y de la distribución de las especies en los tres ambientes de vida terrestre, aguas continentales y aéreas.

Referente al cantón Pucará, se detalla en la Tabla 1.1 y Tabla 1.2:

Tabla 1.1. Vegetación del cantón Pucará

Familia	Género	Especie	Nombre común
Asteraceae	Baccharis	sp.	Chilca
Myricaceae	Myrica	pubescens	Laurel de cera
Clusiaceae	Clusia	sp.	Duco
Myrtaceae	Eucaliptus	sp.	Eucalipto
Pinaceae	Pinus	sp.	Pino
Fabaceae	Acacia	sp.	Acacia
Proteaceae	Oreocallis	grandiflora	Gañal
Myricaceae	Myrcianthes	sp.	Guagual
			Tarapo

Betulaceae	Alnus	acuminata	Aliso
			Porotillo
Orchidaceae			Orquídeas
Bromeliaceae			Bromelias
Asteraceae			Altamisa
Solanaceae	Cyphomandra	betacea	Tomate de árbol
Salicaceae	Salix	sp.	Sauco
			Guaylo
Solanaceae	Brugmansia	sp.	Floripondio
			Corono
Cactaceae			Tuna
Rosaceae	Prunus	cerotina	Capulí
Rosaceae	Malus	sp.	Berro
			Vayan
			Cedrillo
Meliaceae	Cedrela	sp.	Cedro
Grossularaceae	Escallonia	myrtilloides	Chachacoma
Asteraceae	Chuquiraga	sp.	Chuquiragua
Cupresaceae	Cupresus	sp.	Ciprés
			Cota
			Dagnia
			Llallón
			Llazhipa
			Motilón
Rosaceae	Robus	sp.	Mora
Poaceae	Stipa, Calamagrostis,	sp.	Paja
	Festuca		
Lamiaceae			Poleo
			Puanac
Araleaceae	Orepanax	sp.	Pumamaqui
Rosaceae	Polylepis	sp.	Quínoa
Cunoniaceae	Weinmannia	sp.	Sarar
Proteaceae	Lomatia	hirsuta	Garao
Asteraceae			Shadán
Podocarpaceae	Podocarpus	sp.	Guabisay
Myrsinaceae	Myrsine	sp.	Shiripe
			Zhordan
Rosaceae	Hesperomeles	sp.	Jalo
Lamiaceae	Mynthostahys	sp.	Tipo
Asteraceae	Gynoxys	sp.	Tushi
Valerianaceae	Valriana	sp.	Valeriana
			Zhiñan
Lauraceae	Ocotea	sp.	Tulapa
			Gullán

Poaceae	Guadua	angustitolia	Guadual
			Pico
			Parpacar
Moraceae	Ficus	sp.	Matapalo
			Copalito
			Guión
			Alcanfor
Lauraceae			Aguacatillo
Jungladaceae	Juglans	neotropical	Nogal
			Facte
Bignoniaceae	Tabebuia	sp.	Roble
			Cascarillón
			Jipa
			Llora sangre
			Pingllo
Boraginaceae	Cordia	sp.	Laurel
			Tilo
Bignoniaceae	Tabebuia	sp.	Guayacán
			Achotillo
Caryocaraceae	Caryocar	sp.	Almendro
			Motelón
			Yarpingo
Lauraceae	Nectandra	sp.	Canelo

Fuente: (PODT, 2014).

Tabla 1.2. Especies animales del cantón Pucará

Aves	Familia	Género	Especie
Carpintero	Picidae		
Chugos		Pheuticus	sp.
Codornices			
Cóndor	Cathartidae	Vultur	gryphus
Gavilán	Accipitridae	Buteo	sp.
Mirlos	Turdidae	Turdus	fuscater
Paloma	Columbidae		
Patillo	Anatidae	Anas	sp.
Pava de monte	Cracidae	Penelope	spp.
Perdis	Tinamidae	Geotrygon	spp.
Quinde	Trochilidae		
Torcaza	Columbidae	Columba	sp.
Azulejo			
Loro			
Gorrión			
Golondrina			
Huisha			

Mamíferos	Orden	Género	Especie
Ardilla	Rodentia	Scinurus	sp.
Armadillo	Xenarthra	Dasytus	sp.
Burriquill			
Champau			
Chucurrillo			
Conejo	Lagomorpha	Sylvilagus	brasiliensis
Cuchucho	Carnívora	Nasua	sp.
Cuy de monte	Rodentia	Cavia	aperea
Gran bestia de danta	Perissodactyla	Tapirus	sp.
Guanta	Rodentia	Agouti	paca
Guatusa	Rodentia	Dasyprocta	punctata
León de monte	Carnívora	Felis	concolor
Lobo o raposo	Carnívora	Pseudalopex	culpaus
Lobo de agua	Carnívora	Galictus	sp.
Mono	Primate		
Oso	Carnívora	Tremarctos	ornatus
Oso Hormiguero	Xenarthra	Tarmandua	sp.
	Artiodactyla		
Zorro	Marsupialia	Didelphis	sp.
Ratón de monte	Rodentia	Mus, Akodon	spp.
Tejón			
Tigre	Carnívora	Panthera	onca
Tigrillo	Carnívora	Felis	pardalis
Venado	Artiodactyla	Odocoileus	virginianus
Reptiles	Familia	Género	Especie
Culebra equis	Crotalidae	Bothrops	atrox
Culebra coral	Elapidae	Micrurus	spp.
Lagartija	Lacertidae	Liolaemus	sp.
Peces	Familia	Género	Especie
Trucha	Salmoniformes	Salmo	trutta

Fuente: (PODT, 2014).

1.1.6 Vialidad

Las redes viales existentes presentan condiciones únicas por sus perfiles topográficos, al ser un territorio montañoso con vías que no han tenido una apertura bajo un diseño técnico apropiado para las características montañosas (ver Figura 1.6), y anchos de calzada no acordes al tráfico promedio diario, mismas que limitan la velocidad de circulación que está entre los rangos de 20 a 50 km/h.

Las relación territorial así como socio-económico que establece la cabecera cantonal

promedio de la vialidad con las comunidades de la región, es importantes ya que trata de establecer mejoras en aspectos como el comercio, equipamiento comunitario, las comunicaciones en especial las viales, el uso del suelo, salud, etc. (PODT, 2014).

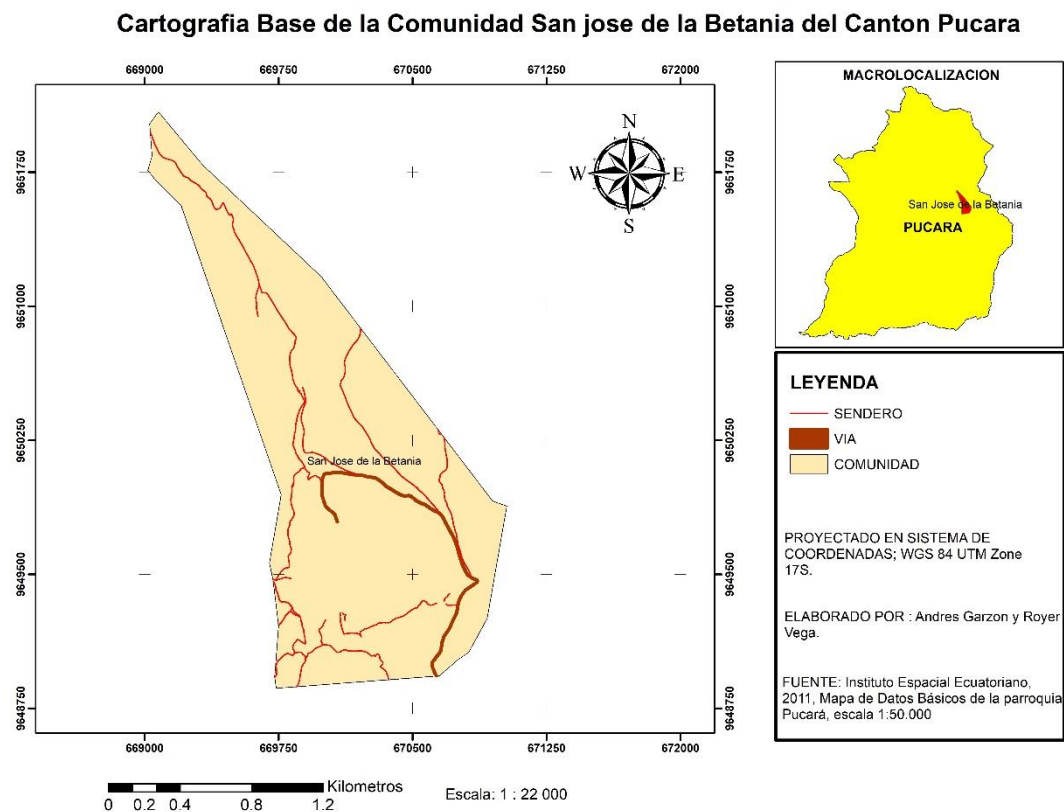


Figura 1.6. Vía de San José de la Betania

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011, mapa de datos básicos de la comunidad Pucará, escala 1:50.000.

1.1.7 Telecomunicaciones

La comunidad San José de la Betania cuenta con tres medios de comunicación los cuales son: radio, televisión y servicio de telefonía celular. La radio tiene una cobertura del 100%, la televisión tiene una cobertura del 30% y el servicio de telefonía tiene una cobertura del 75% de la zona.

1.1.8 Uso del suelo

La superficie de San José de la Betania consta de: páramo y vegetación arbustiva como se ilustra en la Figura 1.7. Sus principales actividades agropecuarias son en su mayoría

los cultivos de papa, maíz, arveja y cultivos de ciclos pequeños tales como: zanahoria, cebolla, nabo, brócoli, etc.

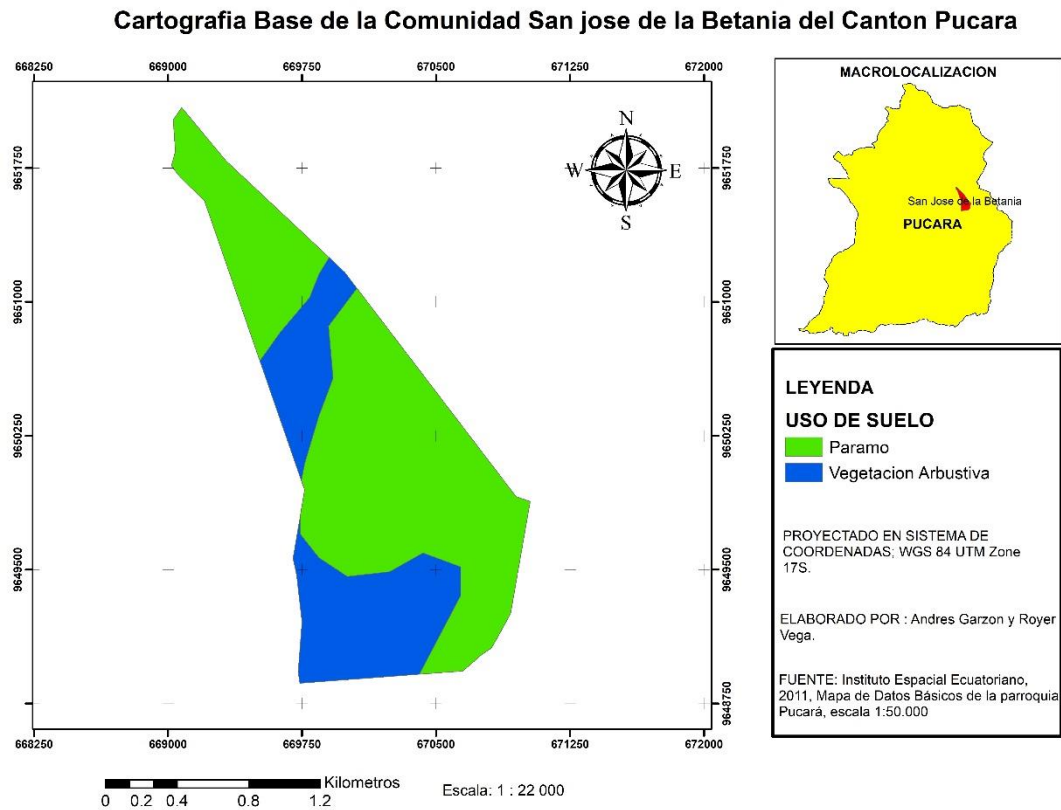


Figura 1.7. Cobertura y uso del suelo

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011, mapa de datos básicos de la comunidad Pucará, escala 1:50.000.

1.1.9 Geomorfología y geología

La comunidad San José de la Betania está constituida principalmente por andesitas a riolitas, piroclastos en toda la superficie (Figura 1.8).

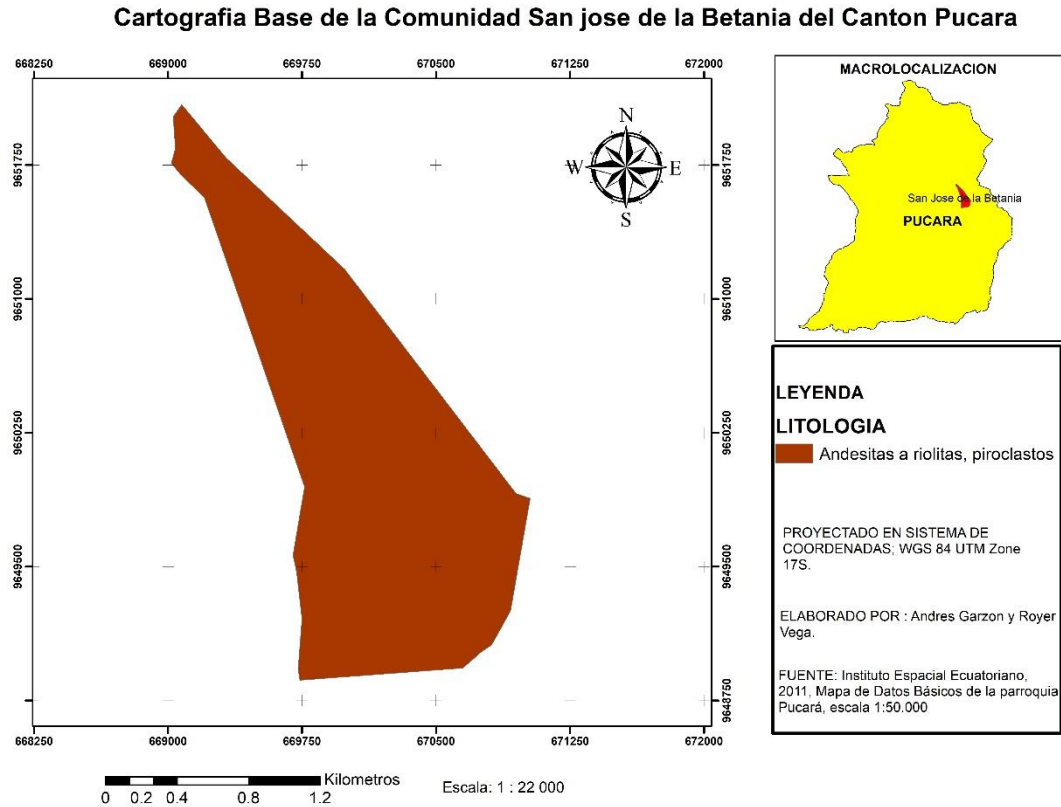


Figura 1.8. Estructura geomorfológica de San José de la Betania

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011, mapa de datos básicos de la comunidad Pucará, escala 1:50.000.

1.2 Topografía

El levantamiento topográfico fue realizado y revisado por el GAD de Pucará; siendo entregado a la Universidad del Azuay para sus diferentes proyectos en el cual se incluye este estudio. La región de estudio se encuentra ubicada en una zona geográfica con pendientes muy variadas como se ilustra en la Figura 1.9, lo cual limita en ciertas zonas sus actividades.

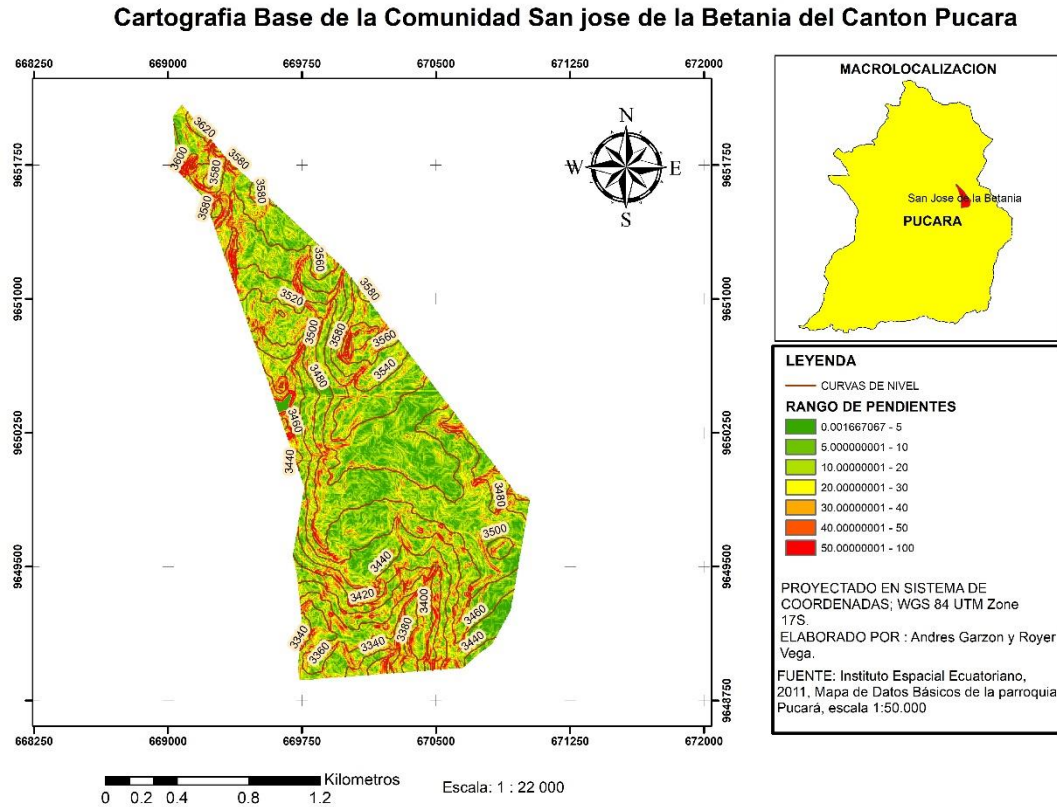


Figura 1.9. Rango de pendientes de San José de la Betania

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011, mapa de datos básicos de la comunidad Pucará, escala 1:50.000.

1.2.1 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico fue elaborado por el GAD de Pucará (Figura 1.10), por lo que se realizó varios recorridos a la zona corroborando la ubicación de cada una de las fuentes; además, se estableció el lugar donde se emplazara la planta de tratamiento conjuntamente con el tanque de almacenamiento y se delimitó puntos importantes para sectorización del sistema de agua potable.

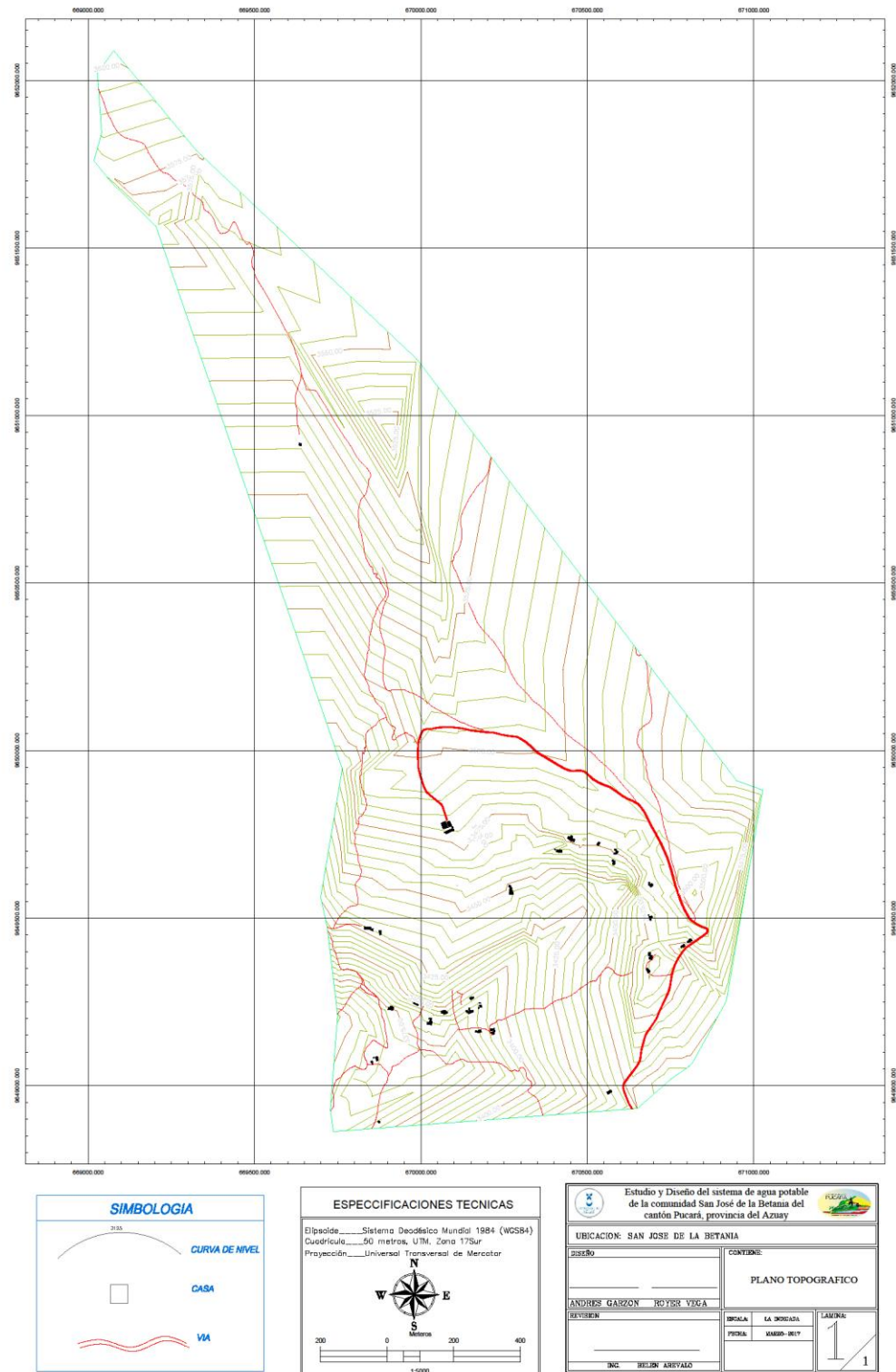


Figura 1.10. Levantamiento topográfico de la comunidad San José de la Betania
 Fuente: GAD de Pucará

1.2.2 Modelo digital del terreno

A partir del modelo digital del terreno del cantón Pucará realizado por SIGTIERRAS

(Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica) en el año 2010 a base de datos *Lidar (Light Detection and Ranging)*, se generó el mapa del MDT de la zona de estudio, donde se consideró que el área de estudio posee una resolución espacial de 3m tomado en cuenta la relación 1mm = 3m; se generaron curvas de nivel a escala 1: 3 000, con intervalos de curvas cada 3m (Figura 1.11).

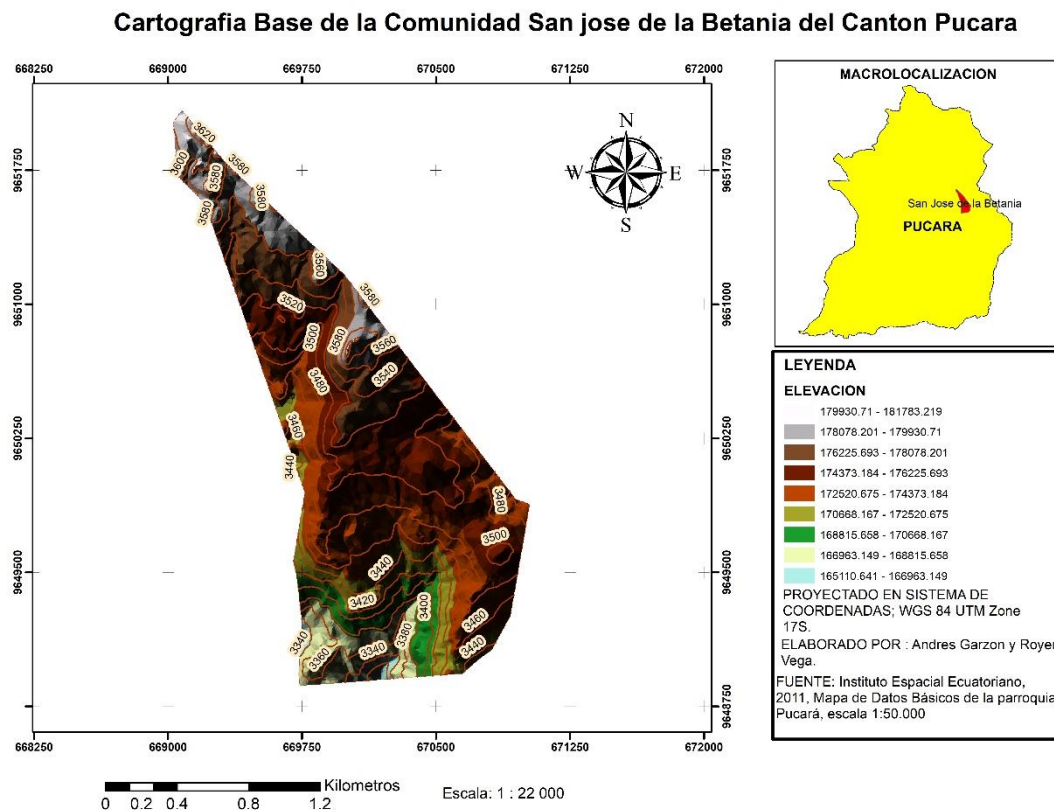


Figura 1.11. Modelo digital del terreno

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011, mapa de datos básicos de la comunidad Pucará, escala 1:50.000.

1.3 Análisis de suelos

El análisis pretende determinar los principales afloramientos y estructuras geológicas presentes en el área del proyecto. En cuanto al estudio geotécnico se trata de establecer las principales propiedades físicas-mecánicas de los materiales de subsuelo, entre estas propiedades: índices, análisis granulométrico, parámetros resistentes, capacidad admisible del suelo de fundación etc.

Para la determinación de la capacidad portante del suelo de fundación, éstos se basarán en dos requerimientos básicos fundamentales:

- a.- Debe ser adecuado su factor de seguridad con respecto a la rotura por esfuerzo cortante y.
- b.- El asentamiento de la fundación debe ser tolerable, y en particular el asentamiento diferencial no debe causar daño apreciable a las estructuras.

1.3.1 Determinación de la capacidad soportante en suelos

Para el cálculo de la capacidad de carga admisible q_{adm} , si utilizó el criterio dado por Terzaghi y Peck para falla local considerado los factores utilizados por VESIC para plintos aislados o cimentación directa con un factor de seguridad de 3:

(Ecuación 1.1)

$$Q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + 0.5\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Donde:

C: Cohesión a la profundidad de cimentación (valores reducidos)

q: esfuerzo efectivo al fondo de la cimentación

γ : peso específico del suelo

B: ancho de la cimentación

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: Factores de forma de la cimentación

(Ecuación 1.1.2)

$$F_{cs} = \frac{BN_q}{LN_c}$$

(Ecuación 1.1.3)

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan(\phi)$$

(Ecuación 1.1.4)

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.40 \frac{B}{L}$$

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$: Factores de profundidad.

(Ecuación 1.1.5)

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

(Ecuación 1.1.6)

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan(\phi) \left(1 - \sin(\phi) \right)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: Factores de inclinación = 1.

N_c, N_q, N_γ : Factores de capacidad de carga que viene dados por las siguientes expresiones (VESIC):

(Ecuación 1.1.7)

(Ecuación 1.1.8)

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{p \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot(\phi)$$

(Ecuación 1.1.9)

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Profundidad (m)	Qadm (kn/m2)	Qadm (Ton/m2)
1.5	197.62	20.14

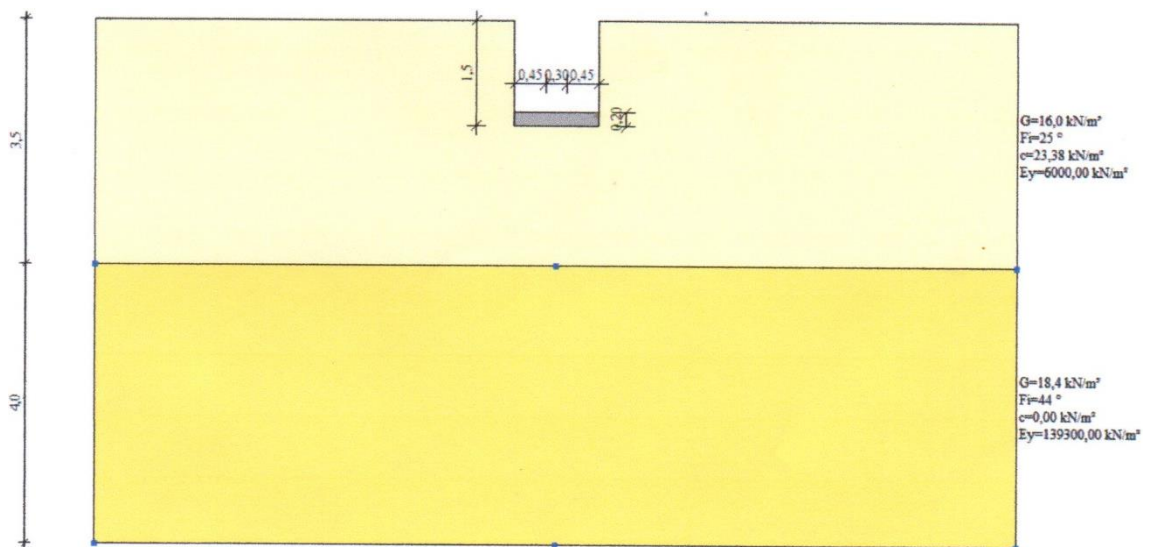


Figura 1.12. Capacidad soportante en suelos

Fuente: (Ordoñez, 2017).

1.3.2 Capacidad admisible por limitación de asentamientos

Dada la característica de los estratos, los asentamientos serán de carácter inmediato.

Para el cálculo a volumen constante en suelos saturados, se aplica la expresión.

(Ecuación 1.2)

$$S_i = q * B * lu \frac{(1 - \nu^2)}{E}$$

En la cual:

q: Presión transmitida por la fundación

B: Ancho máximo de la cimentación

L: Largó máximo de la cimentación

lu: Coeficiente de influencia ($lu = u1 \times u2$)

v: Módulo de Poisson =semejante 0,35

E: Módulo de elasticidad

Presión neta máxima a nivel de cimiento (q)

Por lo tanto se tiene:

Profundidad de cimentación (m)	Asentamiento al borde del cimiento (mm)	Asentamiento al centro del cimiento (mm)
1.5	2.82	10.54

1.3.3 Conclusiones y recomendaciones

La secuencia lito estratigráfica del área donde se desarrolla el proyecto, corresponde a cenizas y tobas volcánicas e ignimbritas de la formación Tarqui, ocurridos a fines de la era terciaria e inicios del cuaternario cubierto por suelos residuales.

En cuanto a la morfología el proyecto se desarrolla desde la cota 3505msnm. La topografía es variable, mayoritariamente presenta pendientes de 9% al 50% catalogadas como fuertemente inclinadas a montañosas. Localmente la morfología del sitio se presenta pendientes suavemente inclinadas.

Con referencia a estructuras geológicas que afectan a las rocas, en las zonas de estudio, las principales y que tienen carácter regional sobre las fallas del Río Jubones y del Río Girón.

El drenaje de la zona se presenta de hídrico subparalelo, las quebradas siguen un recorrido definido por los fracturamientos del macizo rocoso.

En cuanto a la susceptibilidad a presentar inestabilidades, se considera moderada. Los horizontes muy alterados de roca y los suelos residuales son susceptibles a roturas en condiciones saturadas. Mantener un adecuado control de drenaje es la medida más

adecuada para contribuir a la estabilidad de la zona. Predomina la erosión laminar en las zonas donde se ha perdido la cobertura vegetal.

Aspectos geotécnicos

Los sitios analizados, superficialmente se encuentran constituidos en su mayor extensión por suelos finos con comportamiento mayoritariamente friccionante, que de acuerdo al sistema de clasificación unificado SUCS, los suelos encontrados se catalogan como SM es decir arenas limosas inorgánicas de baja compresibilidad.

No se ha podido determinar nivel freático hasta la profundidad alcanzada en el sondeo. La capacidad soportante en el área de estudio varía de un lugar a otro y con la profundidad a cimentar. Para el presente proyecto se ha determinado en 20 ton/m², se espera asentamientos elásticos en el orden de los 12 mm.

Las construcciones a ejecutar, deberá cimentarse a una profundidad mínima de 1.5m con respecto al nivel actual del terreno. Se recomienda una cimentación directa a base de plintos, arriostrados en sus dos direcciones ortogonales mediante vigas de hormigón armado ubicados por debajo del nivel de contrapisos.

Para la construcción de contrapisos, será necesario realizar un reemplazo del material de subrasante por otro de reposición tipo sub-base compactado al 95% del ensayo AASTHO 180-D, en un espesor no menor a 0.3 m. Las losas de contrapiso serán de hormigón armado. Se deberá dotar de drenaje y subdrenaje, para evitar saturación de los terrenos de emplazamiento de la planta de tratamiento, ya que el agua incide negativamente en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de fundación. El subdrenaje el subdrenaje deberá tener una profundidad mínima de 1.5 m.

El tipo de excavación hasta la profundidad de 3 m se podrá considerar como excavación en terreno normal excavable a mano. (Ordoñez, 2017).

Ver Anexo 1. Estudio de suelo

1.4 Abastecimiento actual del agua y análisis de las fuentes

1.4.1 Situación actual

La comunidad San José de la Betania no cuenta con servicio de agua potable. El actual sistema de agua entubada de la comunidad San José de la Betania, fue construido por intermedio de la comunidad, posteriormente ha sido sujeto de varias intervenciones

con el objeto principal de ampliar y cambiar las redes de conducción con la ayuda del GAD de Pucará.

Actualmente las fuentes a analizar no presenten intervenciones, ni algún tipo de protección.

1.4.2 Evaluación de fuentes

El proyecto consta actualmente de cinco fuentes, de las cuales se escogieron dos para el estudio, siendo estas de mejor calidad y de caudal suficiente para abastecer a la comunidad. Las fuentes destacadas se ubican en las coordenadas geográficas: Abscisa: 669373.00 m E; Norte: 9651673.00 m N, y Abscisa: 669373.00 m E; Norte: 9651673.00 m N (Tabla 1.3); siendo estas las captaciones 2 y 4 con una altura promedio de 3569 msnm. Los aforos realizados a estas fuentes cumplen con la necesidad de la comunidad.

Tabla 1.3. Coordenadas geográficas de las fuentes

Captación	Coordenadas UTM		Zona	Altitud (msnm)
	Norte	Abscisa		
1	9652079,00 m S	669100,00 m E	17 M	3610
2	9651673.00 m S	669373.00 m E	17 M	3569
3	9651509,00 m S	669544,00 m E	17 M	3567
4	9651426,00 m S	669571,00 m E	17 M	3569
5	9651131 m S	669724,00 m E	17 M	3539

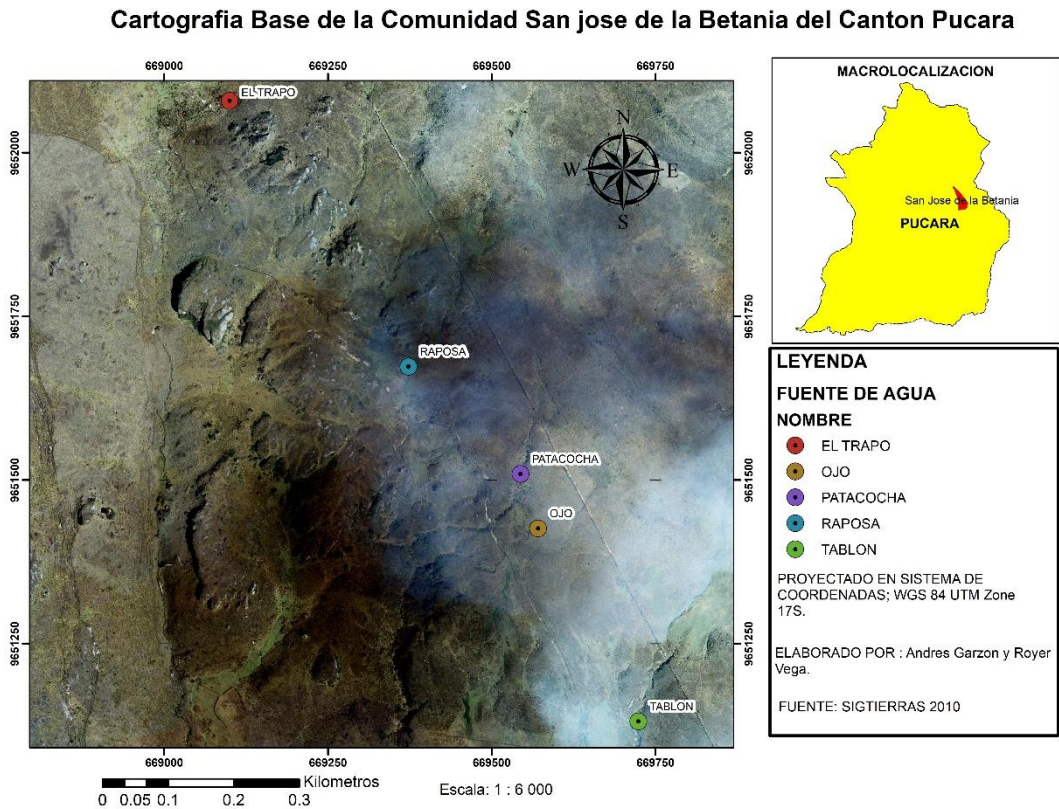


Figura 1.13. Fuentes



Figura 1.14. Aforo de las fuentes



Figura 1.15. Muestras de las fuentes

Ver Anexo 2. Fotografías de las fuentes

1.4.2.1 Riesgo sanitario

A continuación se resume las principales características del agua proveniente de las fuentes, las mismas que servirán como parámetros de diseño para la planta de tratamiento.



Figura 1.16. Muestras de las fuentes

1.4.2.2 Características del análisis de agua

1.4.2.2.1 Calidad de agua

La calidad del agua depende estrictamente de la presencia de los componentes que se encuentran en la misma y su cantidad. Según el análisis realizado de la calidad del agua cruda (fuente) es aceptable para ser potabilizada; ya que de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis (ver Anexo 3) se plantean los siguientes tratamientos que más adelante se describen en lo que es el diseño de la planta de tratamiento. (García Brage, 2002).

Ver Anexo 3. Estudios de agua

1.4.2.2.2 Disposiciones específicas

La norma técnica ambiental utilizada para la comparación de los resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos; es dictado bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, por lo que esta norma es de aplicación

obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La norma establece varios parámetros pero los que utilizaremos para la comparación será en base a los criterios de calidad de fuentes de agua que para consumo humano y domestico requieren tratamiento convencional. Se utiliza esta norma con el fin de obtener resultados que garanticen la calidad del agua y por ende la salud de las personas que lo consumen. (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2002).

Entonces el agua cruda para el diseño de la planta de agua potable de la comunidad de San José de la Betania deberá cumplir con los siguientes criterios expresados en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos.

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Características Inorgánicos		
Manganeso (Mn)	mg/l	0.1
Hierro (Fe)	mg/l	0.3
Características Microbiológicos		
Coliformes fecales (1):		
Tubos múltiples NMP/100 ml ó		< 1.1 *
Filtración por membrana UFC/ 100 ml		< 1 **
Cryptosporidium. número de ooquistes/100 litros		
Giardia. número de quistes/100 litros		
		Ausencia
		Ausencia
* < 1.1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo ** < 1 significa que no se observan colonias (1) ver el anexo 1. para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida		

1.4.2.2.1 Características físico-químicas

Para determinar la calidad física del agua se deben tomar en cuenta varios parámetros que permiten dicha caracterización. Dentro de las características físicas es importante conocer los valores de turbiedad, color, temperatura, sabor y olor.

Las muestras se tomaron en invierno, época en la que se realizó el diagnóstico del sistema y los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se encuentran en su totalidad.

Comparando los valores obtenidos con la tabla de criterios de calidad para aguas crudas que merecen un tratamiento convencional, se deduce:

Característica física	Fuente 2	Fuente 4	Unidad
Temperatura	---		°C
Turbiedad	0.907	0.368	NTU
Color aparente	23	15	UC, Pt Co
Color Real	15	10	UC, Pt Co
Olor	No objetable	No objetable	
Sabor	No objetable	No objetable	
Conductividad	45.2	34.9	microsiemens/cm

Analizando los valores de los parámetros obtenidos, se desprende claramente que el agua de las dos fuentes analizadas presenta valores menores de turbiedad en comparación de los límites máximos permisibles, esto se debe que la mayor parte del caudal de la fuente tiene poco contacto con la escorrentía de la zona ; en tanto que los parámetros relativos a color se encuentran dentro de los límites permitidos para aguas crudas, en los parámetros olor y sabor son no objetables, esto implica que el agua debe tener un tratamiento preliminar para llegar con los parámetros de color a límites aceptables para aguas potables, ya que los consumidores evaluarán la calidad y aceptabilidad del agua de consumo por sus sentidos.

El agua destilada fresca tiene una conductividad de 0,5 a 2 μ S/cm y aumenta de acuerdo al periodo de almacenamiento y la absorción de dióxido de carbono y amoníaco. Entonces los valores de conductividad encontrados presentan un índice de mineralización bajo en el agua.

Dentro de las características químicas se hace necesario conocer los valores de PH, alcalinidad, dureza, contenido de calcio, hierro, cloruros, sulfatos, nitritos y nitratos, cuyos resultados obtenidos en comparación con los valores recomendados por la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua para aguas aptas para tratamiento previo al consumo humano son los siguientes:

Característica química	Muestra 2	Muestra 4	Unidad
PH	7.91	6.63	
Sólidos disueltos totales	29.83	23.03	mg/l
Alcalinidad	17.0	20.8	mg/l, CaCO ₃
Dureza total	10.04	16.2	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.03	0.01	mg/l
Manganeso	0.0	0.0	mg/l
Cobre	0.0	0.0	mg/l
Cloruros	3.9	5.4	mg/l
Sulfatos	5.58	3.99	mg/l
Nitritos	2.53	1.32	ug/l
Nitratos	0.13	0.57	mg/l

Analizando de forma independiente cada una de las características químicas en el análisis de agua, se puede determinar:

El valor del PH se encuentra dentro de los límites permisibles, esto significa que el agua presenta un valor adecuado del PH y no existirán problemas de acidez.

La cantidad de sólidos disueltos totales es inferior al valor recomendado, por lo tanto no existirán problemas de aceptabilidad y con la filtración se llegará a rangos aceptables para aguas potables.

La dureza total promedio obtenido en los ensayos demuestra que el agua se clasifica en términos de dureza como agua blanda y no presentará problemas por incrustaciones de sólidos en los aparatos sanitarios y de cocina, al igual que disolverá adecuadamente el jabón.

Los contenidos de hierro, cobre, calcio, manganeso y cloruros son valores completamente inferiores a los valores permisibles, razón por lo que se demuestra que el contenido de minerales en el agua de la localidad no presenta ningún problema y es apta para ser tratada y consumida por la población luego de un tratamiento convencional. El hierro y el manganeso no van a interferir en operaciones de lavado, ni van a causar incrustaciones en las tuberías, ni permitir el crecimiento de bacterias del hierro.

Los sulfatos también tienen niveles inferiores a los máximos permisibles, es decir se encuentran en concentraciones muy bajas, no va a dar problemas en la potabilización del agua.

La concentración de nitritos y nitratos se encuentran dentro de los límites permisibles, su concentración puede ser por procesos activos biológicos o por contaminación con materia orgánica en descomposición, pero se puede llegar a valores más bajos con proceso adecuado de filtración y desinfección.

1.4.2.2.2 Características microbiológicas

Como su nombre lo indica, el ensayo microbiológico representa la determinación de bacterias existentes en el agua, esto es de aquellas que producen enfermedades de tipo gastrointestinales en los usuarios.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Prueba realizada	Muestra 2	Muestra 4	Unidad
Coliformes totales	2000	49	NMP/100ml.
E. coli	<1.8	33	NMP/100ml.

Analizando la muestra se determina que sí existe un contenido de contaminación en el agua previo al tratamiento. Con el proceso de tratamiento, se disminuirá el índice de contaminación. La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación, se debe mantener la cloración del agua todo el tiempo de vida útil del sistema.

1.4.2.2.3 Resultados de los análisis

Los resultados obtenidos en los análisis serán evaluados a través del índice de calidad de agua *Water Quality Index* (WQI); los cuales son comparados con la Normativa de calidad ambiental y de descargas de efluentes: agua que establece parámetros permisibles para la determinación de la calidad del agua.

Tabla 1.5. Resultados de los índices de calidad de agua (WQI)

Muestra	Resultado	Calificación
Fuente 1	85	Buena
Fuente 2	85	Buena
Fuente 3	85	Buena
Fuente 4	85	Buena
Fuente 5	85	Buena

Ver Anexo 4. Determinación de WQI

1.5 Distribución de la población, características socioeconómicas

1.5.1 Población

En el censo realizado en el año 2010 al cantón Pucará se observa que falta una distribución más específica en las poblaciones y comunidades que conforman este cantón, ya que solo se tiene el dato del centro poblado de Pucará y de san Rafael de Sharug.

Mediante las encuestas socio-económicas realizadas a los habitantes de la comunidad San José de la Betania, se pudo cuantificar 149 personas entre niños y adultos que transcurren para realizar sus diferentes actividades: agrícolas, agropecuarias y comercial, provocando con eso un déficit en los servicios.

Ver Anexo 5. Tabulación de encuestas socio-económicas

1.5.2 Vivienda

En la comunidad San José de la Betania generalmente existen edificaciones de 1 a 2 plantas, en su mayoría las viviendas son de una planta las cuales representan un 69% del total como se observa en la Figura 1.17. Otro dato importante es el material de las viviendas en donde predomina el bahareque con un 55% del total; y las viviendas son 100% propias.



Figura 1.17. Tipo de edificación

Ver Anexo 5. Tabulación de encuestas socio-económicas

1.5.3 Servicios e infraestructura existente

1.5.3.1 Energía eléctrica y servicio de telefonía

El servicio de energía que hay en el cantón son de la Empresa Regional Centro Sur y la Empresa CENEL El Oro, la última en mención da mejor el servicio por requerimiento del proyecto hidrológico de Minas-San Francisco que se desarrolla en esta zona, este mejoramiento se dio con la ampliación de la sub estación de Porotillos, ya que anteriormente existían muchos cortes de este servicio y no garantizaban el suministro de energía para esta zona y proyecto a desarrollarse.

Los servicios de energía eléctrica que de la empresa CENEL El Oro, perteneciente a Machala, abarca a la zona media y baja del cantón Pucará, más el servicio de energía eléctrica que entrega en la zona alta de Pucará es realizada por la empresa eléctrica regional centro sur perteneciente a la ciudad de Cuenca.



Figura 1.18. Transformadores de energía de la zona alta del cantón

Fuente: Departamento de planificación GADM Pucará

1.5.3.2 Establecimientos educativos y de salud

En la actualidad el cantón Pucará posee unidades educativas desde pre-escolar, educación básica y educación secundaria, tres unidades educativas las mismas que son escuelas y colegios en el mismo recinto, cada una de estas se encuentran en la zona baja, media y alta, en el cantón existen 54 establecimientos educativos entre estos la Escuela 19 de Marzo perteneciente a la comunidad San José de la Betania.

Una de las debilidades del cantón es la salud (Tabla 1.6), siendo este servicio pésimo ya que en el mismo no existe hospital general ni especializados, clínicas, existe un consultorio médico privado en la parroquia Pucará, este atiende solo los días sábados y domingos, existe una farmacia y una botica, una ambulancia y ninguna clínica veterinaria.

Tabla 1.6. Unidades médicas en Pucará

Denominación	Cantidad	Ubicación
Unidades de salud	6	Zona Baja - Media - Alta
Hospital general	Ninguno	-----

Hospital de especialidades	Ninguno	-----
Clínicas	Ninguna	-----
Consultorios médicos	1	Parroquia Pucará
Farmacias	1	Parroquia Pucará
Boticas	1	Parroquia Pucará
Ambulancia	1	Centro de salud Pucará
Clínicas Veterinarias	Ninguna	-----

Fuente: Departamento de planificación GADMP

1.5.3.3 Servicio de transporte

La movilización en la comunidad es a pie, seguido del uso de motos y camionetas, por último la movilización en animales como caballos o burros, dentro de la comunidad no se disponen del servicio de alquiler de camionetas. Respecto al transporte público de buses existen dos empresas de buses, Transportes Santa Isabel que realiza el recorrido Cuenca – Pucará con aproximadamente cuatro horas de viaje y el servicio informal llamado Pucareña que realiza en mismo recorrido y duración.

1.5.3.4 Infraestructura sanitaria

La comunidad San José de la Betania no cuenta con el servicio de alcantarillado público (Figura 1.19), se estima que el 50% de las edificaciones disponen de fosas sépticas y el resto no dispone de ningún sistema para la eliminación de excretas. (PODT, 2014).



Figura 1.19. Alcantarillado.

1.5.4 Características socioeconómicas

1.5.4.1 Oficios y actividades de los habitantes

De acuerdo a las encuestas realizadas en la comunidad San José de la Betania, la principal actividad que desempeña la población económicamente activa es la rama de la agricultura y ganadería con 37% del total, seguido de la rama comerciante con un 26%, en tercer puesto obrero de construcción con un 21% donde existe el 100% de la participación de hombres. El resto de las ramas actividades de la población económicamente activa se encuentran entre el 0 y el 13 %, como se observa en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Ramas de actividad de la población económicamente activa de la comunidad San José de la Betania

OCUPACION		
Descripción	Numero	Porcentaje
Agricultura y ganadería	39	37
Obrero de construcción	22	21
Comerciante	28	26
Otros	3	3
Jornalero	14	13
Total	106	100

Fuente: Tabulación de encuestas socio-económicas

1.5.5 Encuesta – adquisición del servicio

La comunidad se reunió y llegaron a un acuerdo del 50% de aceptación del proyecto de agua potable, pero al realizar las encuestas tenemos un 59% de acuerdo al proyecto.



Figura 1.20. Actitud hacia el proyecto de agua potable.

Ver Anexo 5. Tabulación de encuestas socio-económicas

Ver Anexo 6. Formato de encuesta socio-económica

Ver Anexo 7. Encuestas socio-económicas realizadas a la comunidad San José de la Betania.

1.6 Revisión de la normativa a utilizar

Es importante que los estudios y diseños del sistema de agua potable de la comunidad San José de la Betania se realicen dentro de las condiciones reales de las poblaciones rurales ecuatorianas; para lo cual se empleó el Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitaria Norma CO 10.7- 602 Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural; la Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas de la Organización Panamericana de la Salud en el año 2005 para el diseño de abastecimiento de agua potable.

Para la comparación de los resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos; se utilizara la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Para la determinación de la cantidad de cloro en el proceso de desinfección del agua se basó en Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitaria Norma CO 10.7- 601 Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Urbana.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

2.1 Parámetros de diseño

El presente estudio se realiza ajustando los parámetros y bases de diseño que para el efecto dispone el Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitaria Norma CO 10.7- 602 Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural.

2.1.1 Definiciones generales

Período de diseño: Lapso durante el cual la obra cumple su función satisfactoriamente sin necesidad de ampliaciones.

Vida útil: Lapso de tiempo en el cual la obra o equipo debe ser reemplazado por uno nuevo.

Población futura o de diseño: Número de habitantes que se espera tener al final del período de diseño.

Dotación media actual: Cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio, por cada habitante, al inicio del periodo de diseño.

Dotación media futura: Cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio, por cada habitante, al final del periodo de diseño.

Caudal medio anual: Caudal de agua, incluyendo pérdidas por fugas, consumido en promedio, por la comunidad.

Caudal máximo diario: Caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo.

Caudal máximo horario: Caudal de agua consumido por la comunidad durante la hora de máximo consumo en un día.

Nivel de Servicio: Grado de facilidad y comodidad con el que los usuarios acceden al servicio que les brindan los sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas o residuos líquidos.

Fugas: Cantidad no registrada de agua perdida por escape en el sistema.

Factor de mayoración máximo diario (KMD): Es la relación entre el caudal máximo diario al caudal medio.

Factor de mayoración máximo horario (KMH): Es la relación entre el caudal máximo horario al caudal medio.

2.1.2 Periodo de diseño

El período de diseño depende, de entre otros factores, de la vida útil de los materiales a usarse en el sistema, pero se considera un período que satisfaga las necesidades de la población y además que guarde relación con el nivel económico de la comunidad.

De acuerdo a la concordancia con la norma CO 10.7 - 602, el período de diseño para este tipo de obras civiles es de 20 años. Por lo tanto el final del período de diseño del proyecto será el año 2037.

2.1.2.1 Población de diseño.

La población de diseño se calculará en función a la población presente determinada mediante las encuestas socio-económicas realizadas a la población de la comunidad San José de la Betania.

2.1.2.2 Población actual.

En base a la información obtenida por las encuestas socio-económicas (Anexo 5), dicha población asciende a 147 hab., con un total de 49 familias, 34 casas y 1 escuela a la cual asisten 34 niños contemplados en la población actual y 2 profesores.

Ver Anexo 5. Tabulación de encuestas socio-económicas

2.1.2.3 Población futura

Con los criterios anteriormente analizados y en base a la información obtenida, la determinación de la población futura se ha realizado aplicando el método geométrico, tomando a 2017 como año base y aplicando la siguiente expresión:

(Ecuación 2.1)

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

En donde:

Pf: población futura

Pa: población actual

r: tasa de crecimiento geométrico de la población

n: Período de diseño en años

Se adopta la tasa de crecimiento anual recomendada por norma CO 10.7 – 602 cuyo valor será de 1.0% por ser región Sierra.

Tabla 2.1. Tasa de crecimiento poblacional

Región geográfica	r %
Sierra	1
Costa, oriente y galápagos	1.5

Fuente: (Norma CO 10.7 - 602, 1997).

Calculo:

(Ecuación 2.2)

$$Pf = 147 * (1 + 0.01)^{20}$$

$$Pf = 180 \text{ hab}$$

La población futura asciende a 180 habitantes como se observa en la Ecuación 2.2.

2.1.3 Dotación

Se considera como dotación, la cantidad de agua consumida diariamente, en promedio anual por cada habitante.

Para definir el nivel de servicio se toma la siguiente tabla de la norma:

Tabla 2.2. Niveles de servicio

NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP EE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario.
Ia	AP EE	Grifos públicos Letrinas sin arrastre de agua

Ib	AP EE	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP EE	Conexiones domiciliarias, con grifo por casa Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP ERL	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa Sistema de alcantarillado sanitario
Simbología utilizada: AP: Agua potable EE: Eliminación de excretas ERL: Eliminación de residuos líquidos		

Fuente: (Norma CO 10.7 - 602, 1997).

Por varias visitas realizadas a la comunidad; se escoge de la Tabla 2.2 el nivel de servicio IIb ya que representa los sistemas observados en los domicilios.

Tabla 2.3. Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio

NIVEL DE SERVICIO	CLIMA FRIO (l/hab*día)	CLIMA CALIDO (l/hab*día)
I a	25	30
I b	50	65
II a	60	85
II b	75	100

Fuente: (Norma CO 10.7 - 602, 1997).

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona (clima frío) y el nivel de servicio (II b) y según las recomendaciones de la Norma CO 10.7 – 602 para estudio y diseño del sistema de agua potable se adopta una dotación media futura de 75 l/hab/día debido a que con el presente proyecto mejorará las condiciones existentes.

2.1.4 Caudales de diseño

2.1.4.1 Caudal medido

Se realizaron las mediciones correspondientes en la captación para poder determinar

los caudales de diseño para los diferentes elementos del sistema obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 2.4. Aforo en verano de la fuente 2

Aforo #2			
Nombre: Raposa-Cornelio Heras			
Fecha: Jueves 10 de Agosto del 2017			
Coordenadas: GMS S 3° 9' 1.44" O 79° 28' 32.52"			
i	tp(sg)	V(lt)	Q
1	6.17	4.00	0.65
2	5.82	4.00	0.69
3	5.86	4.00	0.68
4	5.35	4.00	0.75
5	5.23	4.00	0.76
TOTAL	5.69	4.00	0.71

2.1.4.2 Caudal medio (Qm)

El caudal medio representa el consumo promedio anual, y se expresa por el producto de la población futura y la demanda media futura correspondiente al final del período de diseño.

(Ecuación 2.3)

$$Qm = f * \frac{P * D}{86400}$$

En donde:

Qm: Caudal medio (l/s).

f: Factor de fugas.

P: Población al final del periodo de diseño (habitantes).

D: Dotación futura (l/hab x día).

2.1.4.3 Fugas

El porcentaje de fugas corresponde directamente al nivel de servicio del proyecto, este porcentaje se toma en cuenta debido a las pérdidas ocasionadas en la red de distribución.

Tabla 2.5. Porcentaje de fugas

NIVEL DE SERVICIO	PORCENTAJES DE FUGAS
Ia y Ib	10%
II a y II b	20%

Fuente: (Norma CO 10.7 - 602, 1997).

Se consideró un porcentaje de fugas f (20%) adicional debido a pérdidas según la tabla 2.5.

2.1.4.4 Caudal máximo diario (QMD)

Corresponde al caudal necesario para cubrir el día de mayor consumo durante el período de diseño. Este caudal se obtiene al mayorar el Q_m multiplicando por un coeficiente KMD asumido de 1.25 según la norma.

(Ecuación 2.4)

$$QMD = KMD * Q_m$$

En donde:

QMD: Caudal máximo diario (l/s).

KMD: Factor de mayoración máximo diario.

2.1.4.5 Caudal máximo horario (QMH)

Corresponde al máximo caudal en el día de mayor consumo, este se calcula mayorando al Q_m por un coeficiente KMH asumiendo el valor de 3, para sectores rurales.

(Ecuación 2.5)

$$QMH = KMH * Q_m$$

En dónde;

QMH: Caudal máximo horario (l/s).

KMH: Factor de mayoración máximo horario.

El caudal para cada domicilio se obtiene mediante la siguiente expresión:

(Ecuación 2.6)

$$Q_{unitario} = \frac{Q_{MH}}{\# \text{ de viviendas}}$$

QMH: Caudal máximo horario (l/s).

de viviendas: cantidad de viviendas.

2.1.4.6 Caudal unitario

El caudal unitario expresa el consumo por casa, se calcula dividiendo el caudal máximo horario sobre el número de casas del proyecto, su fórmula es:

(Ecuación 2.7)

$$Q_{unitario} = \frac{Q_{MH}}{N. \text{casas}}$$

Dónde:

Q unitario: caudal unitario (l/s x casa)

QMH: caudal máximo horario (l/s).

N. casas: número de casas del proyecto

2.1.5 Sistemas de agua potable

En los siguientes párrafos se encuentran disposiciones específicas que tomaremos para el diseño del sistema establecido por la Norma CO 10.7 – 602.

2.1.5.1 Fuente de abastecimiento

La fuente debe cumplir un caudal mínimo de 2 veces el caudal máximo diario futuro.

(Ecuación 2.8)

$$Q_{abastecimiento} = 2 * Q_{MD}$$

2.1.5.2 Captación

La captación permitirá derivar un caudal mínimo de 1.2 veces el caudal máximo diario.

(Ecuación 2.9)

$$Q_{captacion} = 1.2 * QMD$$

2.1.5.3 Conducción

Si no es necesario bombeo, el caudal de diseño deberá cumplir 1.1 veces el caudal máximo diario.

(Ecuación 2.10)

$$Q_{conduccion} = 1.1 * QMD$$

2.1.5.3.1 Tipos de conducción

La conducción podrá ser diseñada utilizando los conceptos de flujo libre o flujo forzado, pero en ambos casos deberá evitarse en su trayectoria la contaminación y el vandalismo.

2.1.5.3.1.1 Conducción forzada

Este tipo de conducción puede ser por gravedad o por bombeo. La presión dinámica mínima en la línea de conducción será de 5 m. En ningún punto la tubería deberá funcionar a presión superior a la de trabajo especificada por el fabricante. Para el diseño de la conducción, deberán tomarse en cuenta, las presiones estáticas, dinámicas, así como las sobre presiones causadas por el golpe de ariete. El diámetro mínimo de las tuberías en la línea de conducción será de 25mm (1").

2.1.5.4 Tratamiento

El caudal de diseño de la planta de tratamiento será 1.10 veces al caudal máximo diario; considerando la desinfección como tratamiento mínimo.

(Ecuación 2.11)

$$Q_{tratamiento} = 1.10 * QMD$$

2.1.5.5 Almacenamiento

El tanque de reserva tendrá una capacidad del 50% del volumen medio diario futuro, con un volumen de almacenamiento mínimo de $10m^3$.

(Ecuación 2.12)

$$V_{almacenamiento} = 0.5 * Qm \frac{l}{s} * \frac{86400s}{1dia} * \frac{1m^3}{100l}$$

2.1.5.6 Distribución de agua potable

El caudal máximo horario será utilizado para el diseño de la red con cualquier nivel de servicio y conformada por ramales abiertos, mallas o mixtos.

También deberá cumplir las siguientes especificaciones:

- La presión estática máxima será de $4kg/cm^2$ o 40 m c a.
- La presión dinámica máxima será de $3kg/cm^2$ o 30 m c a.
- La presión dinámica mínima será de $0.7kg/cm^2$ o 7 m c a.
- El diámetro nominal mínimo de los conductos de la red será de 19mm (3/4").
- La red debe disponer de válvulas que permitan independizar sectores para su operación o mantenimiento, sin necesidad de suspender el servicio en toda la localidad.
- En ramales aislados y sobre todo en tramos que involucren bombeo, la tubería deberá diseñarse considerando la sobre presión producida por el golpe de ariete.

2.1.5.7 Abastecimiento público

- Se proyectarán abastecimientos públicos tomando en cuenta que cada uno de ellos dará servicio a un número máximo de 60 personas.

- Cada sitio de abastecimiento público tendrá incorporado un medidor volumétrico.

2.1.5.8 Unidades de agua

- Se diseñarán unidades de agua tomando en cuenta que cada una prestará servicio a un número no mayor a 60 personas.
- Cada unidad estará conformada por: dos llaves de llenado de recipientes, dos lavanderías y dos duchas.
- Para su diseño, se considerará una simultaneidad de uso del 100% de todos los servicios. El caudal será abastecido desde un tanque de volumen adecuado localizado sobre la estructura de la unidad y que recibirá alimentación directa de la red.
- Cada unidad de agua estará equipada con el respectivo medidor.

2.1.5.9 Conexiones domiciliarias

- Se realizará una sola conexión por cada vivienda.
- Cada conexión constará de los elementos necesarios que aseguren un acoplamiento perfecto a la tubería matriz, a la vez que sea económicamente adecuada al medio rural.
- El medidor se localizará en un sitio de fácil accesibilidad y que ofrezca seguridad contra el vandalismo.
- Se excluirá el uso del medidor por razones plenamente justificadas y siempre que lo autorice la SSA.

2.1.6 Determinación de caudales de diseño

En base a los parámetros anteriormente indicados se puede determinar los caudales de diseño para los diferentes elementos del sistema (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Caudales de diseño

CAUDALES DE DISEÑO

PROYECTO: Estudio y Diseño del Sistema de Agua Potable de la comunidad San José de la Betania del cantón Pucara de la provincia del Azuay			
BASES DEL DISEÑO			
<u>POBLACION</u>			
Periodo	:	20	años
Nº de casas		34	
Población	:	147	hab
Población alumnos	:	36	hab
Índice de crecimiento	:	1	%
Población actual	:	147	hab
Población futura	:	180	hab
Población futura	:	180	Hab
<u>CAUDALES</u>			
Dotación básica	:	75	lit/hab/día
Factor de fugas	:	1.2	
KMD	:	1.25	
KMH	:	3	
Caudal medio	:(Qm)	0.19	lt/s
Caudal máximo diario	:(QMD)	0.24	lt/s
Caudal máximo horario	:(QMH)	0.57	lt/s
Caudal unitario	:(Q unitario)	0.017	lt/s
<u>SISTEMA DE AGUA POTABLE</u>			
Aforo	:	0.71	lt/s
Fuente de abastecimiento	:	0.5	lt/s Cumple
Captación	:	0.29	lt/s Cumple
Conducción	:	0.26	lt/s Cumple
Tratamiento	:	0.26	lt/s Cumple
<u>R E S E R V A</u>			
Almacenamiento	:	8.21	m3

Del cálculo previo se puede observar que el caudal medio diario total necesario para abastecer a la comunidad San José de la Betania puede ser cubierto por la captación.

Ver Anexo 8. Memoria de cálculo (caudales, captación 1, captación 2 y línea de conducción)

2.1.7 Parámetros de diseño para la captación

En el literal 2.1.5.2. la norma establece las condición del caudal necesario para el diseño; y con los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las fuentes determinó que el agua cumple con los criterios de calidad para el consumo humano y uso doméstico, se valoró la capacidad de los tanques de captación para cada vertiente, por un tiempo de recolección de 5min, por lo que se propone un dique pequeño de hormigón con tubería de perforada.

2.1.7.1 Volumen requerido del tanque de captación

(Ecuación 2.13)

$$V_r = Q \cdot t$$

Dónde:

V_r : volumen requerido del tanque de captación (m^3)

Q : caudal (m^3/s)

t = tiempo de retención (s) $t=5 \text{ min}$

2.1.7.2 Volumen del tanque de captación real

(Ecuación 2.14)

$$V = A \cdot h$$

Dónde:

V : volumen del tanque de captación real (m^3)

A : área del fondo (m^2)

h : altura desde el fondo del tanque hasta el tubo de desagüe (m)

2.1.7.3 Comprobación

(Ecuación 2.15)

$$V > V_r$$

Dónde:

V: volumen del tanque de captación real (m³)

Vr: volumen requerido del tanque de captación

2.1.7.4 Caudal del orificio

(Ecuación 2.16)

$$q_o = V_o * A_o$$

Dónde:

q_o: caudal del orificio (m³/s)

V_o: velocidad del orificio (m/s); V_o ≤ 1m/s

A_o: área del orificio (m²)

2.1.7.5 Numero de orificios

(Ecuación 2.17)

$$N_o = \frac{Q}{q_o}$$

Dónde:

N_o: Numero de orificios

Q: Caudal de diseño (m³/s)

Q_o: Caudal de un orificio (m³/s)

2.1.7.6 Área de la tubería principal

(Ecuación 2.18)

$$\frac{A_o}{A_p} = (0.3 - 0.5)$$

Dónde:

A_o: área de los orificios

A_p: área de la tubería principal

2.1.8 Parámetros de la línea de conducción

La topografía de la zona es la principal condición que permite que la conducción se realice a gravedad para ello se utilizó la Norma Co 10.7 602. Sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos sólidos en el área rural. Los parámetros fundamentales en el diseño de la línea a tomarse en cuenta son: caudal, cotas, presión, pérdidas unitarias, diámetros, velocidad, longitudes y tipo de material.

2.1.8.1 Caudal de diseño

La condición del caudal de diseño se verificó en el literal 2.1.5.3., en el cual cumple los requerimientos de la norma.

2.1.8.2 Pérdidas unitarias

La fricción del fluido entre si y en contacto con las paredes de la tubería producen pérdidas de presión las cuales son considerables en el diseño; por lo que es necesario determinar un valor de pérdidas unitarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

2.1.8.3 Fórmula de Hazen – Williams

La fórmula o ecuación de Hazen-Williams permite determinar las pérdidas de un fluido que circula por la tubería el cual trabaja a presión es decir es un conducto cerrado en temperaturas ordinarias (5 °C - 25 °C) tomando en cuenta al diámetro de la tubería, al caudal de circulación, longitud de tramo analizada, y la rugosidad del material.

(Ecuación 2.19)

$$h_f = \frac{10.667 L}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}$$

Dónde:

h_f : pérdida por fricción (m).

D: diámetro de la tubería (m).

L: longitud de la tubería (m).

Q: caudal (m³/s).

C: valor de rugosidad; 140 para tubería de PVC

2.1.8.4 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli expresa el comportamiento de un fluido en movimiento a lo largo de un conducto cerrado manteniendo su energía constante.

(Ecuación 2.20)

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

Dónde:

Z: Cota del punto de evaluación (m)

P: presión (kg/m²)

γ : peso específico del fluido; $\gamma = 1000$ (kg/m³)

v: velocidad en el punto de evaluación (m/s)

g= gravedad (m/s²); g = 9.81 m/s²

h_f: pérdida de carga que existe de un punto a otro (m)

2.1.8.5 Velocidad

La velocidad es una característica importante del fluido, ya que si no se controla podría ocasionar daños en la tubería perjudicando al sistema, por lo que se utilizó la fórmula de Manning para generar de condiciones óptimas en la conducción.

(Ecuación 2.21)

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Dónde:

V: Velocidad m/s

R: Radio hidráulico

$$R = \frac{D}{4}$$

D: Diámetro útil de la tubería

S: pendiente de carga de la línea de alturas piezométricas (perdida de carga por unidad de longitud del conducto m/m)

$$S = \frac{hf}{L}$$

hf: pérdida por fricción (m).

L: longitud de la tubería (m).

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Tabla 2.7. Velocidades máximas recomendadas para el escurrimiento del agua en los distintos tipos de tuberías, y coeficientes de rugosidad correspondientes

Tubería	Velocidad máximas permisibles (m/s)	Coeficiente de rugosidad de Manning
Concreto simple hasta 0.45 m de diámetro	3.00	0.011
Concreto reforzado de 0.60 m de diámetro o mayor	3.50	0.011
Fibro cemento	5.00	0.010
Acero galvanizado	5.00	0.014
Acero sin revestimiento	5.00	0.014
Acero con revestimiento	5.00	0.011
Polietileno de alta densidad	5.00	0.009
PVC (policloruro de vinilo)	5.00	0.009

Fuentes: (Valdez, 1994).

2.2 Análisis de alternativas de tratamiento

2.2.1 Parámetros de tratamiento

En el literal 2.1.5.4. se considera los requerimientos de la Norma Co 10.7 602. Sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos sólidos en el área rural.

2.2.2 Alternativas de tratamiento FiME

La Organización Panamericana de la Salud generaliza que el tratamiento mínimo a ser implementado en el medio rural es un Filtro Grueso Dinámico y un Filtro Lento Arena; se debe considerar para la elección del tipo de tratamiento los parámetros de calidad del agua, eficiencia del proceso y costos del proyecto primordialmente.

Tabla 2.8. Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas, FIME. (Todas las opciones incluyen FGDI 2.0 y FLA0.15)

Turbiedad (UNT) Color Real (UC) Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
< 500	Sin FGA	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3 0.3}
500 - 10000	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3 0.3}
10000 - 20000 (*)	FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3 0.3}

(*) Para valores superiores a 70 UNT; 20000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto.

(El subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h) Clasificación de fuentes según el rango de calidad:

	Bajo
	Medio
	Alto

FGDI - FILTRO GRUESO DINAMICO

FGAC - FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS

FGAS3 - FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN SERIE (3 ETAPAS)

FGH3 - FILTRO GRUESO HORIZONTAL (3 ETAPAS) FLA - FILTRO LENTO ARENA

Fuentes: (OPS O. P., 2005).

Tabla 2.9. Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones de FIME

RANGO	NIVEL PROMEDIO
Bajo	Turbiedad < 10 UNT Coliformes fecales < 500 UFC/100 ml Color Real < 20 UPC
Intermedio	Turbiedad 10 - 20 UNT Coliformes fecales 500 - 10000 UFC/100 ml Color Real 20 - 30 UPC
Alto	Turbiedad 20 - 70 UNT Coliformes Fecales 10000 - 20000 UFC/100 ml Color real 30 - 40 UPC

Fuentes: (OPS O. P., 2005).

2.2.3 Alternativas de tratamiento según la norma ecuatoriana

La Norma Co 10.7 601 Sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos sólidos en el área urbana manifiesta que las aguas naturales se clasifican en los siguientes tipos:

Tapo A: Aguas subterráneas libre de contaminación, y que satisface a las normas de calidad del agua potable.

Tipo B: Aguas superficiales provenientes de cuencas protegidas, can características físicas y químicas que satisfacen las normas de calidad para agua potable, y con un NMP medio mensual máximo de 50.

Tipo C: Aguas subterráneas o superficiales provenientes de cuencas no protegidas, que pueden encuadrarse dentro de las normas de calidad para agua potable mediante un proceso que no exija coagulación.

Tipo D: aguas superficiales provenientes de cuencas no protegidas, y cuyas características exigen coagulación y los procesos necesarios para cumplir con las normas de calidad para agua potable.

Tipo E: aguas superficiales provenientes de cuencas no protegidas sujetas a contaminación industrial, y que por tanto exigen métodos especiales de tratamiento para cumplir con las normas para agua potable.

Además se deberá tener en cuenta las siguientes características al momento de preselección de algunas alternativas de tratamiento, como son:

Todas las aguas deberán ser desinfectadas ante de su distribución.

Las aguas tipo C podrá requerir además pre tratamiento, sedimentación simple y/o filtración lenta, según los siguientes criterios:

Tabla 2.10. Tratamiento probable

Características de agua	Tratamiento probable
Turbiedad media <10 UNT NMP < 1000 col/100ml	Filtración lenta
Turbiedad media <50 UNT NMP < 1000 col/100ml	Filtración lenta con pretratamiento
Turbiedad media <150 UNT NMP < 5000 col/100ml	Filtración lenta con sedimentación simple y pretratamiento.

Fuentes: (Norma CO 10.7 - 602, 1997).

2.2.4 Parámetros de diseño de una planta de tratamiento

Para el proceso de diseño de un proyecto de filtración consiste de dos fases en su proceso; en la primera fase se busca:

- Especificar la capacidad del sistema de almacenamiento.
- Identificar la alternativa de pretratamiento que se va a proyectar.
- Estimar los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Los resultados logrados en la primera fase pueden emplearse para conseguir recursos, planear y organizar el proyecto.

La segunda fase se origina a:

- La conceptualización y ejecución del diseño estructural.
- La definición de especificaciones técnicas tanto de materiales como de equipos utilizados en el diseño.

2.2.4.1 Capacidad del sistema

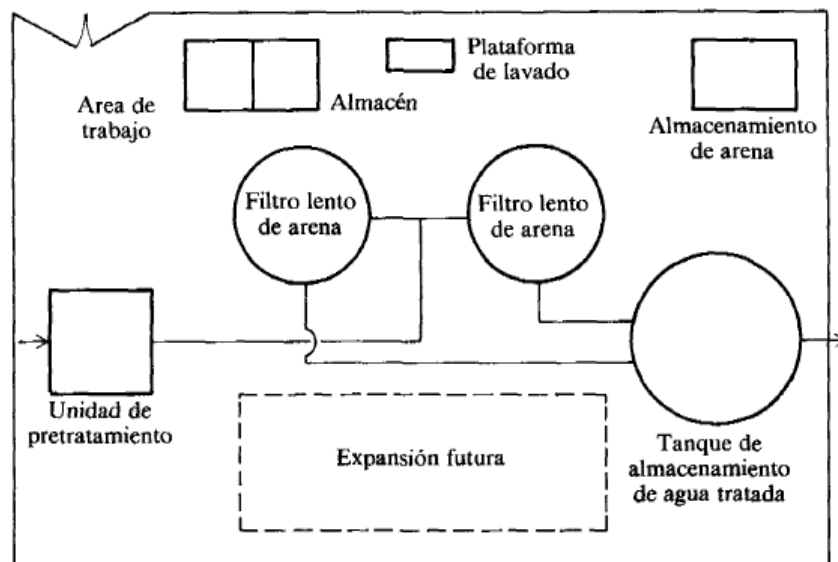
Al diseñar un sistema de abastecimiento de agua, uno de los factores primordiales a definir es la capacidad del sistema, se trata de la cantidad de agua total requerida por día o demanda máxima diaria la cual depende de otros factores como:

- Periodo de diseño.
- La población de diseño.
- La demanda de agua per cápita.
- Calculo de la demanda diaria de diseño.

2.2.4.2 Componentes principales

Una vez definido el tratamiento y la demanda, se inicia a diseñar el sistema tomando en cuenta los escenarios más desfavorables para al lado de la seguridad. Se debe controlar que los filtros operen de una forma continua, garantizando que el flujo de entrada sea igual al de salida.

Figura 2.1. Posible disposición de la planta de tratamiento de agua.



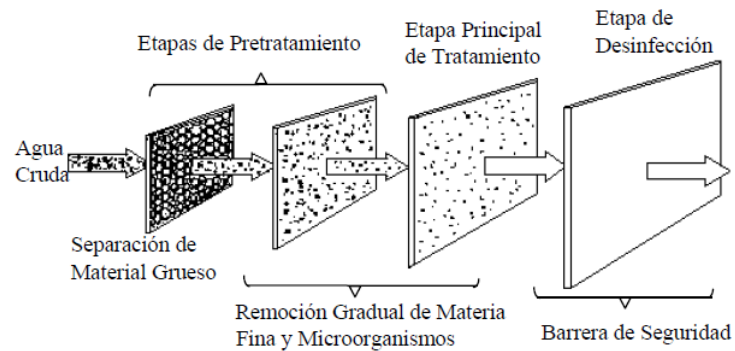
Fuente: (Galvis & Latorre, 1999).

2.2.4.2.1 Filtración en múltiples etapas (FiME)

Se trata de una combinación que está conformada por unidades de pretratamiento y de filtración lente de arena con la finalidad de alcanzar un efluente de calidad sin

necesidad de la utilización reactivos químicos durante el proceso.

Figura 2.2. Procesos que integran la FiME

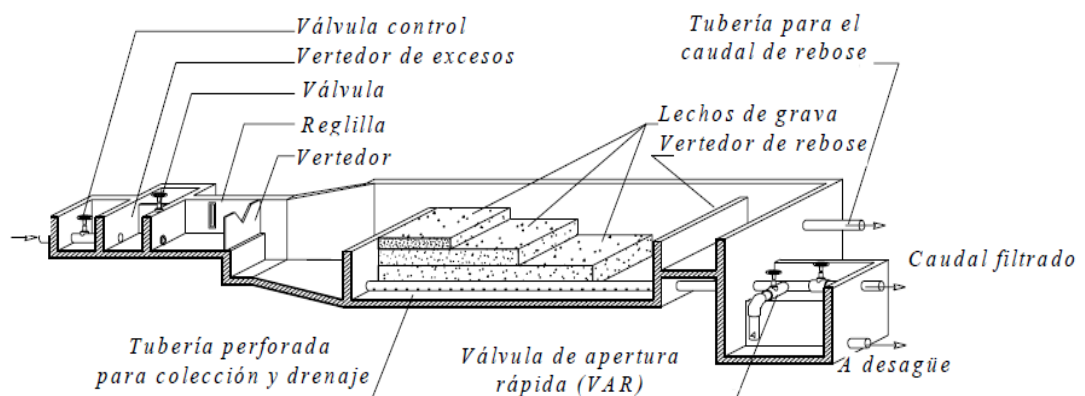


Fuente: (OPS & CEPIS, 2004)

2.2.4.2.2 Filtro grueso dinámico (FGDi)

Los filtros dinámicos son unidades de pretratamiento, consisten en tanques que abarcan gravas de diferentes tamaños colocadas de menor a mayor diámetro en la dirección del flujo, formando un lecho filtrante y en su fondo contiene un sistema de drenaje. La grava de menor tamaño origina grandes áreas superficiales dentro del lecho filtrante lo que beneficia al proceso de sedimentación.

Figura 2.3. Componentes de un filtro grueso dinámico.



Fuente: (Galvis & Latorre, 1999).

2.2.4.2.2.1 Componentes principales del FGD_i

Estas unidades están compuestas de:

- Estructura de entrada y salida
- Accesorios de regulación y control
- Cámara de filtración
- Lecho filtrante y de soporte
- Sistema de drenaje y cámara de lavado

❖ Estructura de entrada y salida

Está constituida por dos unidades, la primera que sirve como dissipador de energía del flujo, la segunda unidad tiene como función facultar el drenaje del caudal.

❖ Accesorios de regulación y control

Estos accesorios están conformados por válvulas para la regulación del caudal, siendo de suma importante para el buen funcionamiento del FGD_i, como también de vertederos que son los encargados del control del flujo.

❖ Cámara de filtración

Es la región donde se encuentra ubicado el borde libre, capa de agua, lecho filtrante, el medio de soporte y el sistema de drenaje.

❖ Lecho filtrante y de soporte

El lecho filtrante es donde se genera el proceso de tratamiento del agua y cuenta con tres capas de grava con tamaños que oscilan entre 3.0 y 25 mm, colocadas de menor a mayor en dirección descendente. El lecho de soporte es de similar composición ya que contiene capas de grava, pero de menores tamaños que pueden llegar a contener una capa de arena gruesa.

❖ Sistema de drenaje y cámara de lavado

El sistema de drenaje tiene la finalidad de captar el agua que se ha filtrado por el lecho filtrante y de soporte, a través de tuberías principales y laterales estas últimas estarán provistas de orificios. La cámara de lavado tiene como función recolectar agua para el lavado cuando se realicen tareas de mantenimiento.

2.2.4.2.2 Criterios de diseño

Tabla 2.11. Criterios de diseño para filtros gruesos dinámicos.

FILTRO GRUESO DINAMICO (FGDi)	
CRITERIO	VALOR RECOMENDADO
Periodo de diseño (años)	8 a 12 CINARA y OMS 20 CO 10.7-602
Periodo de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)	2 a 3
Número mínimo de unidades en paralelo	2
Área de filtración por unidad en (m ²)	< 10
Velocidad superficial de flujo durante el lavado (m/s)	0.15 - 0.30
Velocidad de lavado (m/h)	20
Velocidad en los orificios (drenes) (m/s)	≤ 4
Orificios recomendable ø (mm) (pulg)	10 (3/8")
Espaciamiento entre orificios (cm)	10 a 30
Espaciamiento entre laterales (m)	0.5 - 1
Lecho Filtrante	
Longitud (m)	0.6

Tamaño de las gravas (mm)	Granulometría y espesor de capas para lecho filtrante		
	Posición en la Unidad	Espesor de la Capa (m)	Tamaño de Grava (mm)
	Superior	0.20	3.0 - 6.0
	Intermedio	0.20	6.0 - 13.0
	Granulometría y espesor de capas para lecho soportante		
	Capa	Tipo	Díametro de la partícula (mm)
	Superior	Arena gruesa	1 - 2
	Segunda	Grava gruesa	2 - 5
Altura del veredero de salida (m)	Tercera	Grava gruesa	5 - 10
	Inferior		10 - 25
0.03 (Medidos a través del lecho superficial de grava fina)			

Fuente: (Galvis & Latorre, 1999).

2.2.4.2.2.3 Eficiencia de remoción

En la siguiente tabla se da a conocer la capacidad que tiene el FGD_i para remover algunos parámetros del agua de fuentes superficiales.

Tabla 2.12. Eficiencias de remoción encontradas en fuentes superficiales tratadas por filtros gruesos dinámicos.

Parámetro	Reducción típica
Sólidos Suspendidos	Entre el 70 y el 80%, con fuentes en el rango de 10 a 200 mg/1
Turbiedad	Entre 30 y el 50% en fuentes de zona plana. En fuentes de ladera, la remoción fue aproximada al 50%. La eficiencia de remoción es afectada por la naturaleza, tamaño y distribución de las partículas.
Color Real	Entre 10 y 25%, con fuentes en el rango entre 15 y 20 UPC.
Hierro, Manganeso	Entre 40 y 70% como hierro total y entre el 40 y 60% para manganeso.
Coliformes Fecales	Entre 50 y 80%, para niveles de coliformes fecales en el agua cruda en el rango 2000 a 100000 UFC/100 ml y sólidos suspendidos entre 10 y 50 mg/1.

Fuente: (Galvis & Latorre, 1999).

2.2.4.2.2.4 Dimensionamiento FGD_i

❖ Área total (At):

(Ecuación 2.22)

$$At = \frac{Qd}{Vf}$$

Donde:

Qd: Caudal de diseño (m³/h)

Vf: Velocidad de filtración 2 (m/h)

❖ Área superficial de cada filtro (Asf):

(Ecuación 2.23)

$$Asf = \frac{At}{N}$$

Donde:

At: Área total del filtro (m²)

N: Número de unidades (u)

❖ Diámetro del Filtro (D):

(Ecuación 2.24)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Asf}{\pi}}$$

Donde:

Asf: Área superficial de cada filtro (m²)

Altura del lecho del filtro (Hf):

$$Hf = h0 + h1 + h2 + h3 + h4$$

Donde:

h0: Altura de drenaje (m)

h1: Altura de grava 1 (m)

h2: Altura de grava 2 (m)

h3: Altura de grava 3 (m)

h4: Altura de seguridad (m)

❖ **Altura del vertedero triangular (hv):**

(Ecuación 2.25)

$$h_v = \left(\frac{Qd}{1.434} \right)^{2/5}$$

Donde:

Qd: Caudal de diseño (m³/h)

❖ **Numero orificios por lateral (no):**

(Ecuación 2.26)

$$no = (0.0015 - 0.005) \frac{Asf}{Ao \, tl}$$

Donde:

Asf: Área superficial de cada filtro (m²)

Ao: Área de orificio (m²)

tl: Cantidad de tuberías laterales

❖ **Diámetro de la tubería lateral (Dtl):**

(Ecuación 2.27)

$$Atl = (2 - 4) \, no \, Ao$$

$$\frac{\pi (Dtl)^2}{4} = (2 - 4) \, no \, \frac{\pi (Do)^2}{4}$$

$$Dtl = ((2 - 4) \, no)^{1/2} \, Do$$

Donde:

Atl: Área de la tubería lateral (m²)

no: Numero de orificios por lateral

Ao: Área de orificio (m²)

Do: Diámetro del orificio

❖ **Diámetro de la tubería principal (Dtp):**

(Ecuación 2.28)

$$Atp = (1.5 - 3) tl Atl$$

$$\frac{\pi (Dtp)^2}{4} = (1.5 - 3) tl \frac{\pi (Dtl)^2}{4}$$

$$Dtp = ((1.5 - 3) tl)^{1/2} Dtl$$

Donde:

Atp: Área de la tubería principal (m²)

tl: Cantidad de tuberías laterales

Atl: Área de la tubería lateral (m²)

Dtl: Diámetro de la tubería lateral

❖ **Pérdidas de carga ecuación de Rose (hf1):**

(Ecuación 2.29)

$$hf1 = 1.067 CD \frac{1}{e^4} \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$$CD = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad Re = \frac{Vd}{\nu}$$

d: Diámetro en (mm)

L: Longitud de circulación (m)

V: Velocidad de circulación por el lecho

e: Coeficiente de porosidad

g: Gravedad (m/s²)

ν: Viscosidad (m²/s)

❖ **Pérdidas en los orificios (hf2):**

(Ecuación 2.30)

$$hf2 = \frac{1}{2g} \left(\frac{Vl}{\alpha \beta} \right)^2$$

Donde:

Vl: Velocidad de lavado (m/s)

 α : coeficiente de gasto en un orificio (0.61) β : Relación del área de los orificios entre el área del lechog: Gravedad (m/s²)❖ **Pérdidas por longitud Hazen Williams (hf3):**

(Ecuación 2.31)

$$hf3 = \frac{10.667 L}{D^{4.87}} \left(\frac{Ql}{C} \right)^{1.852}$$

Donde:

Ql: Caudal de lavado (m³/s)

D: Diámetro del tubo principal

C: coeficiente de Hazen Williams

L: Longitud de la tubería (m)

❖ **Pérdidas en los accesorios (hf4):**

(Ecuación 2.32)

$$hf4 = \sum K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

K: coeficiente de cada accesorio

Vb: Velocidad en la tubería (m/s)

g: gravedad (m/s²)

❖ **Pérdidas de Carga por lavado (hf5):**

(Ecuación 2.33)

$$hf5 = 20 Vb L$$

Donde:

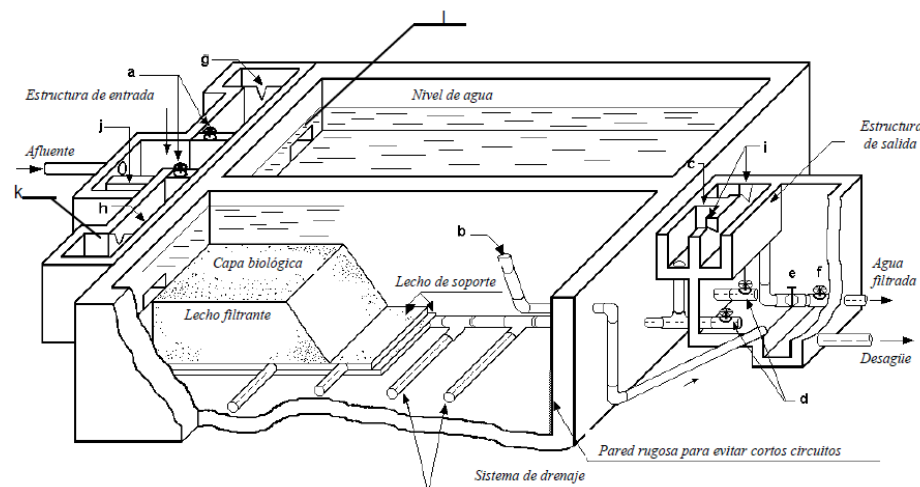
Vb: Velocidad de circulación (m/s)

L: Longitud del lecho (m)

2.2.4.2.3 Filtro lento de arena

La filtración lenta en arena es uno de los procesos de tratamiento de agua más efectivos, simples y económicos y es apropiado particularmente para áreas rurales de países en desarrollo.

Figura 2.4. Componentes básicos de un FLA con control a la entrada.



- a. Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración
- b. Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, "cuello de ganso".
- c. Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- d. Válvula para drenar lecho filtrante
- e. Válvula para desechar agua tratada
- f. Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- g. Vertedero de entrada
- h. Indicador calibrado de flujo
- i. Vertedero de salida.
- j. Vertedero de excesos
- k. Cámara de entrada a FLA
- l. Ventana de acceso a FLA

Fuente: (OPS O. P., 2005).

2.2.4.2.3.1 Componentes de la unidad

Esta unidad está comprendida por:

- Capa sobrenadante de agua
- Lecho de arena fina
- Sistema de drenaje
- Estructura de entrada y de salida
- Conjunto de dispositivos de regulación y control

❖ Caja de filtro

La caja de filtro tiene un área superficial fijada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros especificados para operar en paralelo.

La altura total del filtro, desde el fondo hasta la corona de los muros, puede variar de 1.9 a 2.5 m y se puede construir en hormigón reforzado, ferro cemento, piedra o mampostería. La caja del filtro y las estructuras de entrada y salida deben ser estancos para prevenir pérdidas y evitar la re contaminación del agua tratada por las aguas subterráneas poco profundas o de escorrentía superficial.

❖ Estructura de entrada

La estructura de entrada está compuesta de un vertedor de excesos, canales o conductos para distribución, dispositivos para medición y control de flujo, cámara de entrada y ventana de acceso al filtro sin dañar la biomembrana que yace sobre la parte superior del lecho de arena.

❖ Capa de agua sobrante

La capa de agua provee de una carga hidráulica que es suficiente para hacer que el agua fluya a través del lecho de material filtrante, a la par que crea un período de retención de varias horas para el agua. La profundidad apropiada para la capa de agua sobrenadante se encuentra entre 0.80 y 1.0 m y varía dependiendo del tipo de control.

❖ Salida de impurezas flotantes

Se requiere de un dispositivo para extraer las impurezas, tales como: hojas, algas y demás material flotante en la capa de agua. Este dispositivo también puede servir como un rebosadero para el agua sobrenadante y para drenarla cuando se requiere sacar de servicio la unidad para mantenimiento y limpieza.

❖ Lecho filtrante

En el lecho filtrante se pueden utilizar diversos materiales inertes y granulares como material filtrante, generalmente la arena es la mejor elección por ser barata, inerte, duradera y de fácil obtención.

Para que esta pueda ser colocada, obligatoriamente tiene que estar libre de arcilla, tierra y materia orgánica. El material filtrante se especifica en función de su tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad.

La arena usada en los filtros lentos debe ser relativamente fina, tener un tamaño efectivo de 0.15 – 0.30 mm y un coeficiente de uniformidad menor de 5, pero preferiblemente entre 2 y 3.

El espesor mínimo del lecho filtrante debe ser de 0.5 m. Como la limpieza periódica se realiza mediante la extracción de 1 – 2 cm de la capa superior de arena, se añade 0.3 m para elevar a 0.8 m su espesor inicial. Con las continuas limpiezas se reducirá gradualmente el espesor del filtro, lo cual se debe reponer con el tiempo.

❖ Sistema de drenaje

El sistema de drenaje tiene dos objetivos: en primer lugar, el paso libre del agua tratada y en segundo lugar, soportar el lecho de material filtrante.

Generalmente se compone de un drenaje principal y uno lateral contruidos de tuberías perforadas, o de un piso falso hecho en bloques de hormigón o de ladrillo, cubiertos con capas de grava gradada. Estas capas obstaculizan que la arena del filtro penetre u obstruya el sistema de drenaje y aseguran la recolección uniforme del agua filtrada.

El espesor del sistema de drenaje, incluyendo las capas de grava, puede variar de 0.2 – 0.5 m, aunque su profundidad será de 0.15 a 0.2 si se emplean tuberías corrugadas.

Relación del área del orificio y el área del lecho lavado: entre $(1.5 \text{ y } 5.0) \times 10^{-3}$ a 1.0.

Relación del área del tubo lateral a la suma de las áreas de los orificios: (2.0 a 4.0) a 1.0.

Relación entre el área de la tubería principal a la suma de las áreas de las tuberías laterales: entre (1.5 a 3.0) a 1.

Diámetro de los orificios: entre 1/4" y 3/4" (de 6.35 mm a 19.05 mm).

Espaciamiento entre los orificios: de 3 a 12". (de 7.6 a 30.5 cm).

Espaciamiento entre laterales: aproximadamente igual al de los orificios.

❖ Cámara de salida

La cámara de salida generalmente consta de dos secciones separadas por una pared, en cuya parte superior se coloca un vertedero con su rebosadero ligeramente por encima de la parte superior del lecho de arena. Este vertedero previene el desarrollo de una presión inferior a la atmosférica en el lecho filtrante, pues ello podría dar lugar a la formación de burbujas de aire debajo de la capa biológica. El vertedero también asegura que el filtro funcione independientemente de las fluctuaciones en el nivel del tanque de agua clara.

Al permitir la caída libre del agua sobre el vertedero, se aumenta la concentración de oxígeno en el agua filtrada, por cuyo motivo la cámara del vertedero debe estar debidamente ventilada para facilitar la aireación.

2.2.4.2.3.2 Criterios de diseño

Tabla 2.13. Criterios de diseño para filtros lentos.

Criterios de diseño	Valores recomendados
Período de diseño (años)	10 a 15 Cinara 20 CO 10.7-602
Período de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)	0,1 - 0,2
Carga Hidráulica (m/d)	2-5
Área superficial del filtro (m ²)	5 - 20 por filtro
Número de filtros	mínimo 2 unidades

Altura del lecho filtrante	
Inicia (m)	0,8 - 0,9
Mínima (m)	0,5 - 0,6
Especificación de la arena	
Tamaño efectivo	0,15 - 0,30
Coeficiente de uniformidad	< 5 preferiblemente
Altura de drenaje	
incluye capa de grava (m)	0,3 - 0,5
Altura de agua sobrenadante	0,8 - 1,0 m
Velocidad en los orificios (drenes)	≤ 4 m/s
Orificios recomendable $\varnothing$ (mm) (pulg)	10 (3/8")
Espaciamiento entre orificios (cm)	10 a 30

Fuente: (OPS O. P., 2005).

2.2.4.2.3.3 Eficiencia de remoción

En la siguiente tabla se presentan valores típicos de remoción de algunos parámetros presentes en el agua cruda:

Tabla 2.14. Eficiencias típicas de tratamiento para filtros lentos de arena

PARÁMETRO	REDUCCIÓN TÍPICA
Entero - bacterias	90 - 99% o aún mayor. Sin embargo, la eficiencia de remoción de coliformes es reducida por bajas temperaturas, aumento en la velocidad de filtración, uso de arena gruesa, poca profundidad del lecho de arena, concentración reducida del contaminante y justo después de la remoción de la membrana biológica.
Cercarías de esquistosoma	Remoción virtualmente completa.
Quistes de protozoarios	99 - 99.99% aun después de la remoción de la biomembrana.
Turbiedad	Generalmente reducida a menos de 1 UNT.

Color	30 - 90% siendo 30% la eficiencia más usualmente reportada.
Materia orgánica	DQO 30 - 90%; COT 15 - 30%. Materia orgánica tal como ácidos húmicos, detergentes, fenoles y algunos pesticidas y herbicidas pueden ser removidos desde 50 hasta más de 99%.
Hierro, Manganeseo	Pueden ser significativamente removidos.
Metales pesados	30 - 90% o aún más.

Fuente: (Galvis & Latorre, 1999).

2.2.4.2.3.4 Dimensionamiento FLA

❖ Área del lecho (As):

(Ecuación 2.34)

$$As = \frac{Qd}{Vf}$$

Donde:

Qd: Caudal de diseño (m³/s)

Vf: Velocidad de Filtración (m/s)

❖ Área de cada filtro (Asf):

(Ecuación 2.35)

$$Asf = \frac{As}{N}$$

Donde:

As: Área del lecho

N: Numero de filtros

❖ **Diámetro del filtro lento (D):**

(Ecuación 2.36)

$$D = \sqrt{\frac{4 \text{ Asf}}{\pi}}$$

Donde:

Asf: Área de cada filtro (m²)❖ **Altura total del filtro lento de arena (HTF):**

(Ecuación 2.37)

$$HTF = h_o + h_1 + h_2 + h_3$$

Donde:

h_o: Altura de drenaje (m)h₁: Altura de la arena (m)h₂: Altura de agua sobrante (m)h₃: Altura de seguridad (m)

Nota: Para el resto de parámetros se emplea la misma formulación que se utilizó para el Filtro Grueso Dinámico.

2.2.4.3 Cloración

Luego del tratamiento primario se procederá a la eliminación de microorganismos patógenos a través de hipoclorito de sodio obtenido a través de un proceso electrolítico, del cual se obtiene la sustancia a partir del cloruro de sodio (sal común). Una vez producido el compuesto, este se mezcla con el agua proveniente de la fuente en una caseta de cloración y posteriormente se almacenara en el tanque de reserva para la distribución por la comunidad.

El cloro a emplear se dosificara de acuerdo a los establecido del fabricante de la maquina fabricadora de cloro en cual expresa que en 1Kg de sal se disuelva en 14.2 litros de agua potable y procesada a la colocación en la maquina cloradora, el proceso de fabricación de cloro dura aproximadamente es de 24 horas.

De acuerdo al análisis de agua de las fuentes se determinó que el rango de Ph es 6.6 a 7.9 y se obtuvo un promedio de 7.3 Ph; basándose en la Tabla 2.15 se establece que la concentración de cloro es de 1.5 mg/l con un tiempo de contacto de 60 minutos.

Tabla 2.15. Mínimas concentraciones residuales de cloro requeridas para una desinfección eficaz del agua

MINIMAS CONCENTRACIONES RESIDUALES DE CLORO REQUERIDAS PARA UNA DESINFECCIÓN EFICAZ DEL AGUA		
pH del agua	Cloro libre residual, mg/l, tiempo mínimo de contacto, 10 minutos	Cloro residual combinado, mg/l, tiempo mínimo de contacto, 60 minutos
6_7	0,2	1
7_8	0,2	1,5
8_9	0,4	1,8
9_10	0,8	No se recomienda
más de 10	0,8(con mayor período de contacto)	No se recomienda

Fuente: (MIDUVI, 2012)

2.3 Sectorización de la red de distribución

La red de distribución está conformada por ramales, los cuales inician desde el tanque de reserva hacia los distintos sectores de la comunidad con el objetivo de dotar de agua potable a toda la población.

Tabla 2.16. Sectorización de la red de distribución

Sectorización de la Red de Distribución			
Ramal	# Viviendas	Caudal unitario (l/s)	Caudal por ramal (l/s)
1A	3	0.017	0.051
2A	3	0.017	0.051
3A	2	0.017	0.034
4A	1	0.017	0.017
5A	1	0.017	0.017

6A	2	0.017	0.034
7A	1	0.017	0.017
8A	2	0.017	0.034
9A	2	0.017	0.034
10A	1	0.017	0.017
11A	1	0.017	0.017
12A	1	0.017	0.017
1B	2	0.017	0.034
2B	1	0.017	0.017
3B	2	0.017	0.034
4B	1	0.017	0.017
5B	2	0.017	0.034
6B	2	0.017	0.034
7B	2	0.017	0.034
8B	1	0.017	0.017
9B	1	0.017	0.017

2.4 Análisis de alternativas de materiales y accesorios a utilizar

Los materiales y accesorios a utilizar serán los siguientes:

- Tubería PVC
- Válvulas de compuerta
- Tanque rompe presiones
- Válvulas de purga
- Válvulas de aire
- Accesorios para conexiones.

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEFINITIVO

3.1 Diseño de la captación

La captación se realizará a través de galerías filtrantes, las que tienen como objetivo filtrar el agua por una capa de material seleccionado hacia un tubo de P.V.C., el cual conducirá el agua hacia el pozo colector para su posterior conducción.

El análisis de los parámetros físicos de las fuentes determinó que las características de agua cumplen los criterios de calidad, se valoró la capacidad de los tanques de captación para cada vertiente, por un tiempo de recolección de 10min, además se propone un dique pequeño de hormigón con tubería de perforada.

Para la captación de agua de las fuentes se optó por dos diseños de captación debido a las características de las fuentes. El primer diseño de captación consta de un muro de hormigón simple de 210 Kg/cm² con las siguientes dimensiones: 10cm de espesor, 1.80m de largo y 0.95m de alto; con una tubería de PVC de 110mm con perforaciones de 40mm separadas cada 10cm con una longitud total de tubería de 1.5m. El segundo diseño de captación también posee un muro de hormigón simple de 210 Kg/cm² de dimensiones: 10cm de espesor, 1.60m de largo y 0.95m de alto, con una tubería de PVC de 110 mm, con perforaciones de 40mm separadas cada 10cm con una longitud total de tubería de 1.5 m. Además, para evitar el ingreso de basura, ramas, hojas, etc. y la obstrucción de la tubería, se colocará grava y una malla de geotextil a los costados de la estructura de captación.

Ver Anexo 8. Memoria de cálculo (caudales, captación 1, captación 2 y línea de conducción)

Ver Anexo 9. Planos de captaciones

Para la recolección del agua proveniente de las captaciones se optó por el diseño de tanques de captación, formados por un cajón de hormigón simple de 210 kg/cm² tanto para el primer modelo como para el segundo, con una capacidad de 0.52 y 0.20 m³ respectivamente. Se consideró el paso directo del agua proveniente de las captaciones a los tanques, posee además una cámara de salida la cual permite el paso del agua a la línea de conducción así como un sistema de desagüe, que consta de un conjunto de

accesorios hidráulicos como: tuberías, codos, tees, universales y válvulas para evitar la inundación y el mantenimiento constante del tanque.

Ver Anexo 10. Plano de tanques rompe presión y tanques de captaciones

3.2 Diseño de la línea de conducción

La línea de conducción inicia en los tanques de captación y termina en la planta de tratamiento, posee válvulas de aire y purga.

La línea de conducción está constituida por 3 ramales los cuáles son: el ramal uno nace del tanque de captación uno terminando en el nodo 6 de la línea de conducción y tiene una longitud de 358.91 m; el ramal dos nace en la captación dos finalizando en el nodo 6 de la línea de conducción, está conformado por tubería con una longitud de 93.00 m; además, del nodo 6 nace el ramal tres que continua con la línea de conducción y termina en el planta de tratamiento, con una longitud de 1362.58 m; todos los ramales están conformados por tubería de PVC de diámetro de 50mm.

Se realizó el análisis de la línea piezométrica, considerando el caudal aforado. Además, se tomó en cuenta la topografía del terreno, diámetro y calidad de la tubería de PVC de 1MPA, longitudes y ubicación de tanques rompe presión.

Ver Anexo 8. Memoria de cálculo (caudales, captación 1, captación 2 y línea de conducción)

Ver Anexo 11. Planos de perfiles de la línea de conducción

Ver Anexo 12. Plano constructivo del sistema de agua potable

3.2.1 Válvulas de aire

La línea de conducción contará con 3 válvulas nuevas en total; se colocarán en los puntos más altos de la línea de conducción y la red de distribución cuya función es eliminar la acumulación de aire en las tuberías y que no se produzca la reducción del área útil de la tubería.

La caja de la válvula de aire es de 210 kg/cm² de dimensiones: 1x1x1.10 m, y posee una válvula automática de una pulgada con collarines de derivación a 40 mm.

Ver Anexo 12. Plano constructivo del sistema de agua potable

Ver Anexo 13. Plano de la válvula de aire

3.2.2 Válvulas de purga

Se contará con 4 válvulas nuevas en total; se colocarán en los puntos más bajos de la línea de conducción y la red de distribución, cuya función es expulsar los sedimentos que se encuentran en la tubería, evitando la obstrucción de ésta, además permite el mantenimiento y limpieza de un tramo de tubería.

La caja de la válvula de purga es de 210 kg/cm² con las siguientes dimensiones: 1.10x0.90x0.90 m, y posee una tubería de desagüe de ½”.

Ver Anexo 12. Plano constructivo del sistema de agua potable

Ver Anexo 14. Plano de la válvula de purga

3.2.3 Tanque rompe presión

Se colocaron en los puntos donde se desean romper la presión de la red de distribución, evitando las presiones elevadas en el sistema, además está conformada por una cámara de entrada, un tanque y una cámara de salida, la tubería y accesorios de estos son de HG de diámetros 40 y 50 mm. Además presenta una válvula de flotación tipo helberth de 1” que permite la regulación del caudal.

El área total del tanque rompe presión es de 2.23 m² de superficie y su altura varía de 0.6 a 1.00 m.

Ver Anexo 10. Plano de tanques rompe presión y tanques de captaciones

Ver Anexo 12. Plano constructivo del sistema de agua potable

3.3 Planta de tratamiento

3.3.1 Filtro grueso dinámico

La unidad de pretratamiento es un filtro grueso dinámico, este tendrá forma circular con un diámetro de 2.50m y la altura total del filtro será de 2.80. (Tabla 3.1)

Tabla 3.1. Cálculos filtro grueso dinámico

Qdsño (m3/s)	0.0002640
Tasa de filtración (m/d)	24
N (número de unidades)	1
Área de filtración total (m2)	4.56
D = Diámetro (m)	2.41
h1 Altura del lecho filtrante (m)	0.60
h2 Altura del lecho de soporte (m)	0.15
h3 Altura sobrenadante de agua (m)	0.96
Altura de seguridad (m)	0.73
H Altura total del filtro (m)	2.70

Sistema de drenaje

Tabla 3.2. Cálculos sistema de drenaje

Sistema de drenaje	
Do Diámetro del orificio (cm)	4.0
Ao Área del orificio (cm2)	12.56
DI Diámetro de tubería (mm)	63
Al Área lateral de la tubería (cm2)	31.17
Distancia long. entre orificios (cm)	10
n número de orificios	34

3.3.2 Filtro lento de arena

La unidad de Filtro Lento de Arena, este tendrá forma circular con un diámetro de 2.50 y la altura total del filtro será de 2.80. (Tabla 3.3)

Tabla 3.3. Cálculos filtro lento de arena

Qdsño (m3/s)	0.000132
Tasa de filtración (m/d)	3
N (número de unidades)	2
Área de Filtración total (m2)	4.56
D = Diámetro (m)	2.41
h1 altura del lecho filtrante (m)	1.55
h2 Altura del lecho de soporte (m)	0.35
h3 Altura sobrenadante de agua (m)	1.00
Altura de seguridad	0.15
H Altura total del filtro (m)	2.80

Sistema de drenaje

Tabla 3.4. Cálculos sistema de recolección y drenaje

Sistema de recolección y drenaje	
Do Diámetro del orificio (cm)	4
Ao Área del orificio (cm2)	12.56
DI Diámetro de tubería (mm)	63
Al Área lateral de la tubería (cm2)	31.17

Ver Anexo 15. Memoria de cálculo F.G.D.

Ver Anexo 16. Memoria de cálculo F.L.

Ver Anexo 17. Plano de la planta de tratamiento vista en planta

Ver Anexo 18. Plano de la planta de tratamiento corte

3.3.3 Tanque de reserva

Se establece que la capacidad de almacenamiento necesario para la comunidad es de 10m³ el mínimo especificado por NORMA CO 10.7 - 602 por lo que, será necesario la construir un tanque de ferrocemento, con la capacidad antes mencionada de configuración circular y su cúpula. El cual contará con cámaras de entrada y salida, válvulas de control, tubería de reboce y subdrenes.

Ver Anexo 19. Memoria de cálculo tanque de reserva

Ver Anexo 20. Plano de tanque de reserva

3.4 Red de distribución

El análisis de la red de distribución se realizó mediante la puesta en marcha de la modelación en el software EPANET 2.0 basándose en los datos como demandas, áreas de aporte, topografía del terreno, tipo de material, puntos de roturas de presión.

Se priorizó así las características de la red para mejorar el comportamiento en funcionalidad y optimización del sistema.

Los planos constructivos y de análisis hidráulico se desarrollaron en AUTOCAD CIVIL 3D.

La red contará con una distancia de 5.04Km.

Las tuberías de PVC a emplear son de los siguientes diámetros 25 y 40 mm, la red principal es de 40mm en su totalidad y debido al modelo hidráulico de la red contará con 2 tanques rompe presiones, la capacidad de la tubería va desde 1 a 1.6 MPA.

Ver Anexo 21. Plano del sistema de agua potable

Ver Anexo 22. Plano del análisis hidráulico de la red de distribución

Ver Anexo 23. Análisis hidráulico de la red de distribución

Ver Anexo 24. Plano de conexión domiciliaria

3.4.1 Manual de mantenimiento

El manual consta de 10 capítulos los cuales son: introducción, definiciones y responsabilidades; captaciones; línea de conducción y red de distribución; planta de tratamiento; tanque de almacenamiento; válvula de purga y válvula de aire; tanque rompe presión; conexiones domiciliarias; calendario de actividades de mantenimiento; materiales, herramientas y equipo de trabajo; problemas y soluciones frecuentes; reporte de mantenimiento. Se utilizaron imágenes que ayudan a un mejor entendimiento de los procesos y actividades realizadas en el manual.

Ver Anexo 25. Manual de operación y mantenimiento

CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO

4.1 Cuantificación de cantidades de obra

La cuantificación de cantidades de obra se basó en los planos, especificaciones técnicas y actividades constructivas, en las cuales se incluye sus diferentes unidades de medida; obteniendo los recursos necesarios para la ejecución de la obra incluyendo su transporte en m³-km.

Ver Anexo 26. Cuantificación de cantidades de obra

Ver Anexo 27. Agrupado por rubros

4.2 Análisis de precios unitarios

El análisis de precios unitarios es un modelo matemático que proyecta el resultado expresado en moneda de una situación, que en nuestro caso es el estudio y diseño del sistema de agua potable; por lo que es muy importante para determinar su presupuesto. Con referente a costos directos y costos indirectos de nuestro presupuesto, se consideró a los costos indirectos sean un 25% de los costos directos; elaborando así, los análisis de precios unitarios.

Ver Anexo 28. Análisis de precios unitarios

4.3 Presupuesto

El presupuesto se determinó mediante el software INTERPRO 2010 módulo de OFERTAS, en el cual se consideró un 12% de IVA y un 25% de costos indirectos; finalmente obteniendo un precio del proyecto de 153,360.97 dólares sin IVA.

Ver Anexo 29. Presupuesto

4.4 Elaboración de cronograma valorado

El cronograma valorado igualmente se realizó en el software INTERPRO 2010, el cual

es necesario para ejecución del proyecto y gestionar las actividades constructivas de la manera eficaz.

Ver Anexo 30. Cronograma valorado

4.5 Fórmula polinómica

Para determinar la fórmula polinómica se asignó los siguientes términos a cada recurso.

- A = Tubos y accesorios de PVC - Para presión
- B = Mano de obra
- D = Cemento Portland tipo I- sacos
- E = Equipo y maquinaria de construcción vial
- F = Acero en barras
- H = Tubos y accesorios de hierro o acero (I)
- L = Ladrillos comunes de arcilla
- M = Madera aserrada, cepillada y/o escuadrada
- P = Materiales pétreos (Azuay)
- X = Índice de precios consumidor Urbano - Cuenca

El coeficiente de mano de obra representa el 32.69% del presupuesto total.

Ver Anexo 31. Asignación de términos

Ver Anexo 32. Fórmula polinómica

4.6 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas están de acuerdo a los rubros obtenidos; el seguimiento y control de estas garantizara la correcta funcionabilidad del sistema.

Las especificaciones técnicas fueron tomadas de ETAPA EP y del GAD de Pucará; las que se encuentran en el Anexo 33.

Ver Anexo 33. Especificaciones técnicas

CONCLUSIONES

A través del levantamiento de información de campo correspondiente a los resultados de topografía, análisis de agua y suelo, encuestas socioeconómicas y análisis físico del agua que se puede observar en el capítulo 1, parámetros que han servido de base para el diseño del sistema de agua potable. De acuerdo a los análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados a las cinco fuentes propuestas en la topografía por el GAD Municipal, dos que son denominadas por los comuneros como La Raposa y Ojo, estas son las seleccionadas para proveer de líquido vital, ya que son capaces de abastecer de agua a la comunidad y poseen buena calidad de agua.

Para el tratamiento del agua se analizaron las alternativas para el Sistema de Agua Potable, en el cual se optó por utilizar un filtro de pretratamiento (Filtro Grueso Dinámico), dos filtros de tratamiento (Filtro Lento de Arena) y de una caseta de desinfección, los cuales tendrán un periodo de diseño de 20 años; con este tipo de tratamiento propuesto se espera una reducción de los valores de color y coliformes fecales, cumpliendo los parámetros especificados por la Norma INEN 1 108.

En el presente trabajo de titulación se realizó el estudio y diseño completo; captaciones acondicionadas a las características de los efluentes; la línea de conducción fue evaluada mediante la construcción de la línea piezométrica y la red de distribución fue modelada en el programa EPANET. Tanto la línea de conducción como la red de distribución fueron diseñadas tomando en cuenta: presiones, velocidades, pérdidas unitarias según indica la norma. Obteniendo resultados satisfactorios para mejorar el consumo de agua de las comunidades.

En el capítulo 4 se realizó la propuesta económica determinando el costo total del proyecto, que consta de cuantificación de cantidades de obras, análisis de precio unitarios, presupuesto, cronograma valorado, fórmula polinómica y especificaciones técnicas con la finalidad de que el proyecto pueda ser financiado y construido posteriormente.

RECOMENDACIONES

La ejecución de la obra se debe regir a los planos y especificaciones técnicas estipuladas en el documento, y en caso de presentarse cambios que puedan ser considerados pertinentes por parte del constructor, deberán ser aprobados por el fiscalizador al momento de la construcción de la obra.

Se recomienda en la ejecución de la obra, que los elementos de hierro a utilizarse en las estructuras y que tengan contacto con el agua deben protegerse con pintura anticorrosiva que no contenga plomo. Además se recomienda que el ancho de excavación será el indicado en los planos o, por lo menos, 60 cm mayor que el diámetro exterior de la tubería.

La operación y mantenimiento del sistema de agua potable deberá realizarse por personal capacitado, él mismo que será encargado de correcto funcionamiento y su eficiencia; además, deberá seguir el manual de operación y mantenimiento que se anexa al documento.

Es importante prevenir la contaminación de las fuentes, ya que permitirán que el sistema funcione correctamente y evitara enfermedades en la población; para esto es necesario un monitoreo y control periódico de la calidad de agua en la planta de tratamiento, con la intención de precautelar la calidad de vida de los habitantes.

Se debe concientizar a los habitantes de la comunidad acerca de la importancia del mal uso del agua, instalaciones clandestinas o defectuosas; además, los beneficiarios deberán colaborar entre sí para realizar actividades de mantenimiento y limpieza del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- López García, L., & López Perales, J. (1999). *Elementos de construcción*. Castilla: Universidad de Castilla.
- Galvis, G., & Latorre, J. (1999). *Filtración en múltiples etapas*. Santiago de Cali: Artes Gráficas de Univalle.
- García Brage, A. (2002). *Calidad y tratamiento del agua: manual de suministros de agua comunitaria*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
- MIDUVI. (2012). *Código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias*. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2002). *Norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes: recurso de agua*. Quito, Ecuador.
- Norma CO 10.7 - 602, I. E. (1997). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Quito: INEN.
- ONU. (2010). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. Zaragoza, España.
- OPS, & CEPIS. (2004). *Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural*. Lima: Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- OPS, O. P. (2005). *Guía para diseño e sistemas de tratamiento de filtros de múltiples etapas*. Lima.
- Ordoñez, F. (2017). *Estudio de suelos y determinación de la capacidad soportante para el proyecto de estudio y diseño del sistema de agua potable para la comunidad San José de la Betania en el cantón Pucará de la provincia del Azuay*. Cuenca.
- PODT, G. A. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Pucará, Ecuador: Administración 2014 – 2018.
- SIGTIERRAS. (2010). *MDT. Proyecto SIGTIERRAS*. Quito, Ecuador.
- Valdez, E. C. (1994). *Abastecimiento de agua*. México: Facultad de Ingeniería UNAM.
- Vargas, L., Maldonado, V., & Barrenechea, A. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Planta de tratamiento. Tomo I*. Lima: Cepis.
- Water Quality Index Calculator. (30 de Mayo de 2017). *Water Research Center*. Obtenido de Water Research Center: <http://www.water-research.net/>

ANEXOS

Ver CD