



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

**Diseño de Redes de Alcantarillado Sanitario y Planta de  
Tratamiento de Aguas Residuales para las Comunidades de  
La Dolorosa y Hatobolo de la Parroquia Ludo, Cantón  
Sígsig, Provincia del Azuay**

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

**Autores:**

**BRIAN STEVEN GUERRERO HEREDIA**  
**GABRIEL FRANCISCO CASTRO CASTRO**

**Director:**

**FABIÁN EDUARDO CAZAR ALMACHE**

**CUENCA – ECUADOR**

**2018**

## **DEDICATORIA**

A mi padres Patricio y María Elena, quienes con su amor infinito y apoyo, sembraron en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, que han sido base fundamental para la construcción de mi vida profesional.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional en mi vida para poder seguir adelante y cumplir con mis metas.

A mi familia, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

A mis amigos, con su apoyo y entusiasmo fueron una parte fundamental para este proceso.

**Brian Steven Guerrero Heredia.**

Al Creador de todo cuanto existe, el que me ha dado la fortaleza y me ha dotado de la sabiduría necesaria y de la fuerza para no rendirme jamás, por esto, mi trabajo es dedicado principalmente a Él.

Así mismo, dedico este trabajo de investigación a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental, mi apoyo, mi fortaleza, mis mejores amigos, quienes han formado la persona en la que me he convertido, y quienes jamás me han dejado solo.

A mi querida hermana, quien ha sido mi compañera de toda la vida, de quien he aprendido que rendirse no es una opción.

A mi familia en general, ya que gracias a su apoyo incondicional me mostraron que en el mundo existen personas en las que puedes confiar, con quienes he superado los más difíciles momentos así como disfrutado los más buenos.

A mi estimado amigo, Brian Guerrero, con quien incansablemente caminamos hacia nuestro cometido para llegar hasta donde estamos, haciendo de ésta una gran experiencia.

**Gabriel Francisco Castro Castro.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente a Dios por guiarme en mi vida, darme fortaleza y sabiduría para la realización de este proyecto, así como en mi formación universitaria.

A mis padres por su confianza en todo momento, por guiarme y aconsejarme en los momentos más duros de mi vida, por compartir mis tristezas y alegrías durante mi formación universitaria y demostrarme siempre su amor incondicional.

A Paola, quién ha sido un pilar fundamental durante este proyecto, ha sabido apoyarme y aconsejarme en todo momento.

A mi compañero Gabriel, con quien hemos trabajado incansablemente por cumplir esta meta.

**Brian Steven Guerrero Heredia.**

Agradezco a Dios por ser el eje de mi vida, por brindarme su protección en cada paso que he dado y otorgarme las fuerzas para jamás rendirme ante ninguna dificultad.

A mis padres y hermana, que con su ejemplo y sabiduría han sabido formar mi personalidad a tal punto que con la expresión más grande de humildad desde mi corazón les extiendo mi más sincero agradecimiento.

A Suley, por estar conmigo en mis buenos y malos momentos, mostrándome que todo se puede lograr con esfuerzo y que el amor de Dios jamás claudica.

A mi amigo y compañero Brian, por haber hecho de esta experiencia algo verdaderamente enriquecedor, afianzando nuestros lazos fraternos.

Infinitas gracias a todos quienes hicieron parte de esta experiencia, que con su aporte, ya sea de manera directa o indirecta, ayudaron a que este proyecto tenga el realce con el que cuenta hoy.

**Gabriel Francisco Castro Castro.**

Agradecemos de manera especial al Ingeniero Paúl Cordero por facilitarnos el presente trabajo de grado; a nuestro director el Ingeniero Fabián Cazar por su guía, conocimiento y apoyo en la realización de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>4</b>
<b>RECOPIACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>4</b>
1.1. Ubicación geográfica .....	4
1.2. Redes viales y de transporte.....	7
1.3. Área del proyecto .....	9
1.4. Clima .....	10
1.5. Topografía y pendientes.....	12
1.6. Cobertura del suelo .....	14
1.7. Geología .....	17
1.8. Hidrografía .....	18
1.9. Áreas naturales protegidas .....	20
1.10. Precipitación.....	22
1.11. Turismo .....	24
1.12. Aspectos demográficos .....	24
1.13. Enfermedades .....	25
1.14. Cobertura de salud.....	26
1.15. Aspectos socioeconómicos.....	27

1.16.	Estado sanitario actual.....	28
1.17.	Agua .....	29
1.18.	Energía eléctrica .....	30
1.19.	Servicios sanitarios existentes .....	30
<b>Capítulo 2 .....</b>		<b>31</b>
<b>PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO .....</b>		<b>31</b>
2.1.	Tipo de sistema .....	31
2.2.	Áreas de aportación.....	31
2.3.	Parámetros de diseño .....	31
2.3.1.	Período de diseño .....	32
2.3.2.	Dotación .....	32
2.3.3.	Caudal de diseño ( $Q_s$ ).....	33
2.3.4.	Profundidades .....	36
2.3.5.	Diámetros de tubería.....	36
2.3.6.	Velocidades .....	36
2.3.7.	Rugosidad .....	37
2.3.8.	Pendiente mínima .....	37
2.4.	Análisis poblacional.....	37
2.4.1.	Población actual.....	37
2.4.2.	Población futura.....	37
2.4.3.	Densidad poblacional .....	39
2.5.	Hidráulica de redes de alcantarillado .....	39
2.5.1.	Estimación de coeficientes de resistencia o fricción “C” .....	40
2.6.	Flujo en tuberías a sección llena .....	41
2.7.	Flujo en tuberías a sección parcialmente llena.....	41

<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>49</b>
<b>DISEÑO DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO .....</b>	<b>49</b>
3.1. Generalidades.....	49
3.2. Pozos de revisión .....	49
3.3. Sistema de alcantarillado sanitario y condominial.....	50
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>54</b>
<b>DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	
<b>.....</b>	<b>54</b>
4.1. Generalidades.....	54
4.2. Caracterización de aguas residuales.....	54
4.3. Sistema de depuración de aguas residuales.....	56
4.3.1. Tratamiento primario .....	57
4.3.2. Tratamiento secundario .....	64
4.4. Ubicación .....	68
4.5. Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	69
4.5.1. Objetivo .....	69
4.5.2. Definiciones.....	69
4.5.3. Personal .....	70
4.5.4. Sistema de tratamiento .....	71
4.5.5. Rejilla al ingreso de la fosa séptica de doble cámara .....	72
4.5.6. Fosa séptica de doble cámara .....	73
4.5.7. Filtro anaerobio de flujo ascendente.....	75
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>76</b>
<b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....</b>	<b>76</b>
5.1. Análisis de precios unitarios .....	76
5.2. Presupuesto .....	76
5.3. Fórmula de reajuste de precios.....	76

5.4. Cronograma de obra.....	77
5.5. Especificaciones técnicas .....	77
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1.1: mapa de límites del cantón Sígsig.</i> .....	5
<i>Figura 1.1.2: mapa de las parroquias del cantón Sígsig.</i> .....	6
<i>Figura 1.2.1: presencia de transporte (buses). Cantón Sígsig.</i> .....	8
<i>Figura 1.2.2: transporte que se utiliza en el cantón Sígsig.</i> .....	9
<i>Figura 1.4.1: zonas de temperatura de la parroquia de Ludo.</i> .....	11
<i>Figura 1.5.1: rangos de pendientes de la parroquia de Ludo.</i> .....	13
<i>Figura 1.6.1: cobertura y uso actual de la tierra de la parroquia de Ludo.</i> .....	16
<i>Figura 1.7.1: estructura geomorfológica de la parroquia Ludo.</i> .....	18
<i>Figura 1.8.1: división hidrográfica de la parroquia Ludo.</i> .....	20
<i>Figura 1.9.1: áreas de bosques y vegetación protectora de la parroquia Ludo.</i> .....	22
<i>Figura 1.10.1: precipitaciones de la parroquia de Ludo.</i> .....	23
<i>Figura 1.12.1: estructura de la población del cantón Sígsig.</i> .....	25
<i>Figura 1.16.1: tipo de servicio higiénico o excusado en ludo.</i> .....	29
<i>Figura 1.17.1: abastecimiento de agua potable.</i> .....	29
<i>Figura 1.18.1: energía eléctrica.</i> .....	30
<i>Figura 1.19.1: abastecimiento de agua potable.</i> .....	30
<i>Figura 2.7.1: flujo de agua a sección parcialmente llena.</i> .....	42
<i>Figura 2.7.2: parámetros hidráulicos de conductos de sección circular.</i> .....	44



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.2.1: longitud de vías en la parroquia Ludo. ....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 1.2.2: longitud de vías urbanas y rurales en la parroquia Ludo. ....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 1.3.1: ubicación de las comunidades de la parroquia de Ludo. ....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 1.5.1: tipo, porcentaje y extensión de pendientes. ....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 1.6.1: cobertura y uso de la superficie de la parroquia de Ludo. ....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 1.12.1: estructura de la población de la parroquia de Ludo. ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 1.12.2: evolución de la población 1990-2010. ....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 1.13.1: perfil epidemiológico. ....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 1.15.1: población económicamente activa de la parroquia de Ludo. ....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 1.16.1: tipo de servicio higiénico o escusado en ludo al año 2010. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2.3.2.1: niveles de servicio para niveles de abastecimiento de agua potable. ....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2.3.2.2: dotación para diferentes niveles de servicio. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2.7.1: n/n llena en función de H/D. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 2.7.2: propiedades hidráulicas de conductos circulares. ....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 3.3.1: parámetros de diseño del alcantarillado sanitario. ....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 3.3.2: parámetros de diseño del alcantarillado condominial. ....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4.2.1: resultados de caracterización de aguas residuales. ....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 4.2.2: valores promedio de la caracterización del agua residual al ingreso a las lagunas de estabilización de Ucubamba. ....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 4.3.1.1: periodo de retención. ....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 4.3.1.2: eficiencia de remoción de DBO5. ....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4.3.1.3: eficiencia de remoción de Sólidos en Suspensión. ....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4.3.1.4: contribución unitaria de aguas residuales y lodos por tipo de predios y ocupantes. ....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 4.3.1.5: parámetros de diseño de la fosa séptica de doble cámara. ....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 4.3.1.6: recomendaciones constructivas de la fosa séptica. ....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 4.3.1.7: dimensiones reales de la fosa séptica. ....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 4.3.1.8: tiempo requerido la digestión de lodos. ....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 4.3.1.9: parámetros de diseño del lecho de secado. ....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 4.3.1.10: dimensionamiento del lecho de secado. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 4.3.1.11: dimensiones constructivas del lecho de secado. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 4.3.1.12: clasificación de los lechos bacterianos. ....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4.3.1.13: características del lecho bacteriano. ....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 4.3.1.14: contribución diaria de vertidos y carga orgánica por tipo de edificio y ocupantes. ....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 4.3.1.15: parámetros de diseño filtro anaerobio de flujo ascendente. ....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4.3.1.16: dimensionamiento del Volumen útil y total del filtro anaerobio. ....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4.3.1.17: medidas constructivas del filtro anaerobio. ....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4.3.1.18: parámetros de remoción en unidades de la PTAR. ....</i>	<i>68</i>

<i>Tabla 4.5.4.1: límites de descarga a un cuerpo de agua dulce</i> .....	71
<i>Tabla 4.5.4.2: criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario</i> .....	72
<i>Tabla 5.3.1: fórmula polinómica</i> .....	76
<i>Tabla 5.3.2: mano de obra cuadrilla tipo</i> .....	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

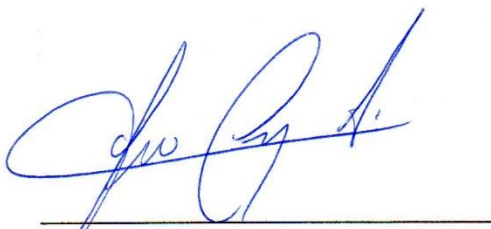
- Anexo 1: Encuestas realizadas en las comunidades.
- Anexo 2: Resultado de caracterización de aguas residuales.
- Anexo 3: Resultado estudio de suelos.
- Anexo 4: Cálculo del diseño de la red de alcantarillado sanitario y condominial.
- Anexo 5: Planos en planta y perfil de la red de alcantarillado sanitario y condominial.
- Anexo 6: Encamisado de tubería y planos estructuras colgantes.
- Anexo 7: Planos de la PTAR.
- Anexo 8: Presupuesto y análisis de precios unitarios.
- Anexo 9: Cronograma.
- Anexo 10: Especificaciones técnicas.

# **Diseño de Redes de Alcantarillado Sanitario y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para las Comunidades de La Dolorosa y Hatobolo de la Parroquia Ludo, Cantón Sígsig, Provincia del Azuay**

## **RESUMEN**

Las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo, pertenecientes al cantón Sígsig, no cuentan con una infraestructura adecuada para la conducción y depuración de las aguas residuales, este inconveniente genera problemas en la salud de los habitantes y contaminación del entorno a las comunidades; por este motivo se realiza el estudio y diseño del sistema de alcantarillado sanitario, condominial y una planta de tratamiento de aguas residuales; conformada por una fosa séptica de doble cámara, dos filtros anaerobios de flujo ascendente y un lecho de secado de lodos, el GAD y las comunidades ahora cuenta con herramientas de gestión para hacer realidad el proyecto.

**Palabras Clave:** Alcantarillado, condominial, aguas residuales, sistema, tratamiento, saneamiento, fosa séptica, filtros anaerobios.



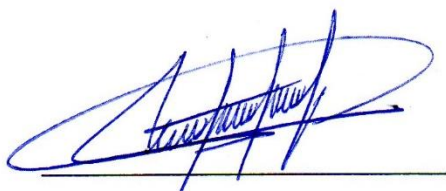
---

Ing. Fabián Eduardo Cazar Almache  
**Director del Trabajo de Titulación**



---

Ing. José Fernando Vázquez Calero  
**Coordinador de Escuela**



---

Brian Steven Guerrero Heredia



---

Gabriel Francisco Castro Castro

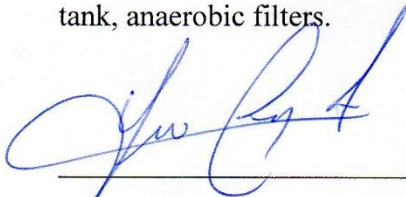
**Autores**

# **Design of Sanitary Sewer Networks and a Wastewater Treatment Plant for the Communities of La Dolorosa and Hatobolo of Ludo Parish, Sígsig, Province of Azuay**

## **ABSTRACT**

La Dolorosa and Hatobolo communities of Sígsig did not have an adequate infrastructure for the conduction and purification of wastewater. This inconvenience generated problems in the health of the population and contamination of the environment. The study and design of the sanitary and condominial sewer system along with a wastewater treatment plant were carried out. The plant was conformed by a double chamber septic tank, two anaerobic upflow filters and a sludge drying bed. The GAD and the communities could now have the necessary management tools to make the project a reality.

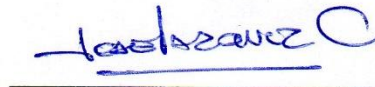
**Keywords:** Sewage, condominial, wastewater, system, treatment, sanitation, septic tank, anaerobic filters.



---

Ing. Fabián Eduardo Cazar Almache


**Thesis Director**



---

Ing. José Fernando Vázquez Calero

**Faculty Coordinator**



---

Brian Steven Guerrero Heredia



---

Gabriel Francisco Castro Castro

**Authors**



Translated by:

Ing. Paúl Arpi

Gabriel Francisco Castro Castro  
Brian Steven Guerrero Heredia  
Trabajo de Graduación  
Ing. Fabián Eduardo Cazar Almache  
Noviembre, 2017

**Diseño de redes de alcantarillado sanitario y planta de  
tratamiento de aguas residuales para las comunidades de La  
Dolorosa y Hatobolo de la Parroquia Ludo, Cantón Sígsig,  
Provincia del Azuay**

**INTRODUCCIÓN**

Los pobladores de las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo tienen la necesidad de mejorar sus condiciones de vida, por este motivo el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Sígsig y la Universidad del Azuay mediante un convenio acuerdan realizar el estudio y diseño de las redes de alcantarillado para los poblados indicados, así como la planta de tratamiento de aguas residuales.

Ya que en los últimos años la población ha aumentado significativamente, no se desea seguir con los sistemas de letrinas y pozos sépticos, que poseen actualmente estas comunidades. Con este proyecto se pretende solucionar estos problemas, además el sistema de alcantarillado sanitario y la PTAR servirán para prevenir la contaminación en la zona, evitando impactos ambientales adversos y enfermedades que se pudieran presentar en las comunidades.

## **Antecedentes**

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Sígsig, preocupado por dotación de servicios básicos a las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo, como la falta de un sistema de alcantarillado, mediante un convenio con la Universidad del Azuay, se planteó realizar el estudio del sistema de alcantarillado de las comunidades, además de una planta de tratamiento para una disposición adecuada de las aguas residuales.

El proyecto abarca dos comunidades de áreas similares, aunque la comunidad de La Dolorosa tiene un mayor número de habitantes que la comunidad de Hatobolo; la cual se encuentra en una zona más baja que la comunidad de La Dolorosa. La mayor parte de la población de estas comunidades se dedican a la agricultura y a la ganadería, pero en menor escala; las mujeres de estas comunidades como actividades complementarias se dedican al tejido de sombreros de paja toquilla generando una fuente adicional de ingresos para estas familias.

## **Justificación**

Las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo al no contar con infraestructura adecuada para transportar las aguas residuales y menos con un dispositivo para tratarlas y darles una disposición final, están propensos a afecciones en la salud, pudiendo presentarse: enfermedades infecciosas, contaminación del suelo, y alteración en fuentes agua.

Por lo tanto, este proyecto se realizará con el objetivo de que las comunidades conozcan cuál es su realidad actual y cuáles podrían ser los mecanismos para mejorarla, y además conseguir un ambiente limpio, sano y sin contaminación. Y que en un futuro viendo los beneficios de estos sistemas, los mismos habitantes de las comunidades sean los gestores de nuevos proyectos pensando en ampliar y mejorar las redes de alcantarillado sanitario y dotar de este servicio básico a todos los habitantes de las comunidades.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar las redes de alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento de aguas residuales de las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo de la parroquia Ludo de Sígsig, Cantón Sígsig, Provincia del Azuay.

### **Objetivos Específicos**

- Levantar y recopilar información necesaria para el diseño.
- Diseñar los elementos de las redes de alcantarillado sanitario con sus respectivos planos y memoria técnica.
- Diseñar los elementos que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales, planos, memorias técnicas, manual de operación y mantenimiento de la planta.
- Elaborar un presupuesto de las redes de alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento de aguas residuales.



## CAPÍTULO 1

### RECOPIACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

#### 1.1. Ubicación geográfica

El diseño de redes de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales para las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo está situado en el cantón Sígsig, ubicado al sureste de la provincia del Azuay y limita:

- Al norte con los cantones de Chordeleg y Gualaceo (Provincia del Azuay)
- Al sur con los cantones de Gualaquiza (Provincia de Morona Santiago) y Nabón (Provincia del Azuay)
- Al este con cantón Gualaquiza (Provincia de Morona Santiago)
- Al oeste con los cantones de Girón y Cuenca (Provincia del Azuay), como se observa en la figura 1.1.1

El cantón Sígsig está formado por seis parroquias rurales y una parroquia urbana que lleva el nombre del cantón, siendo la misma donde se ubican las comunidades en estudio y la más extensa de todo el cantón con  $148.11 \text{ Km}^2$ , seguida por: Cuchil  $147.78 \text{ km}^2$ ; Gima  $126.35 \text{ Km}^2$ ; Ludo  $94.13 \text{ Km}^2$ ; San José de Raranga  $65.70 \text{ Km}^2$ ; San Bartolomé  $34.50 \text{ Km}^2$  y Guel  $28.67 \text{ Km}^2$ , como se observa en la figura 1.1.2 (GAD, 2016).

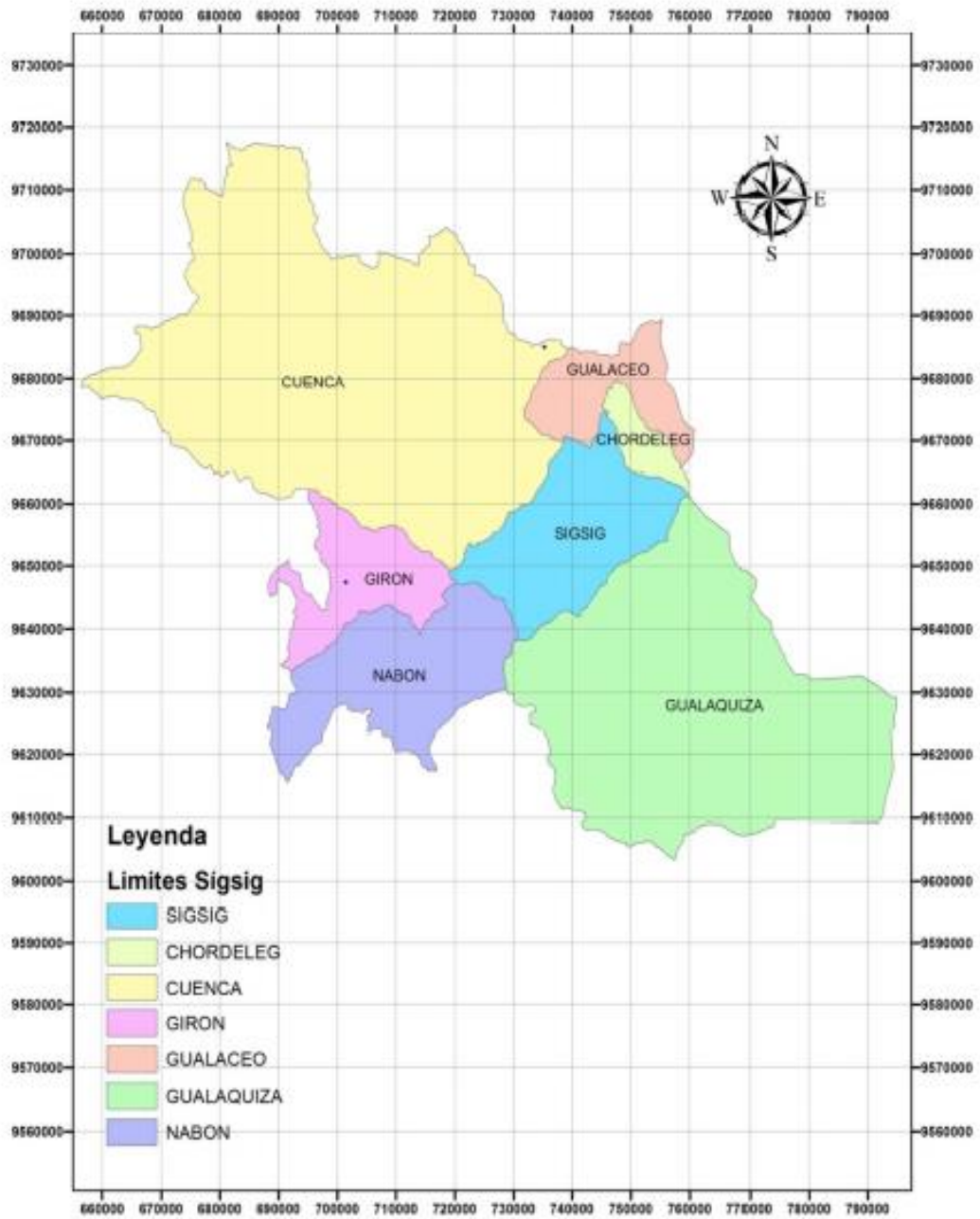


Figura 1.1.1: mapa de límites del cantón Sigüig.

Fuente: (IERSE, 2015)

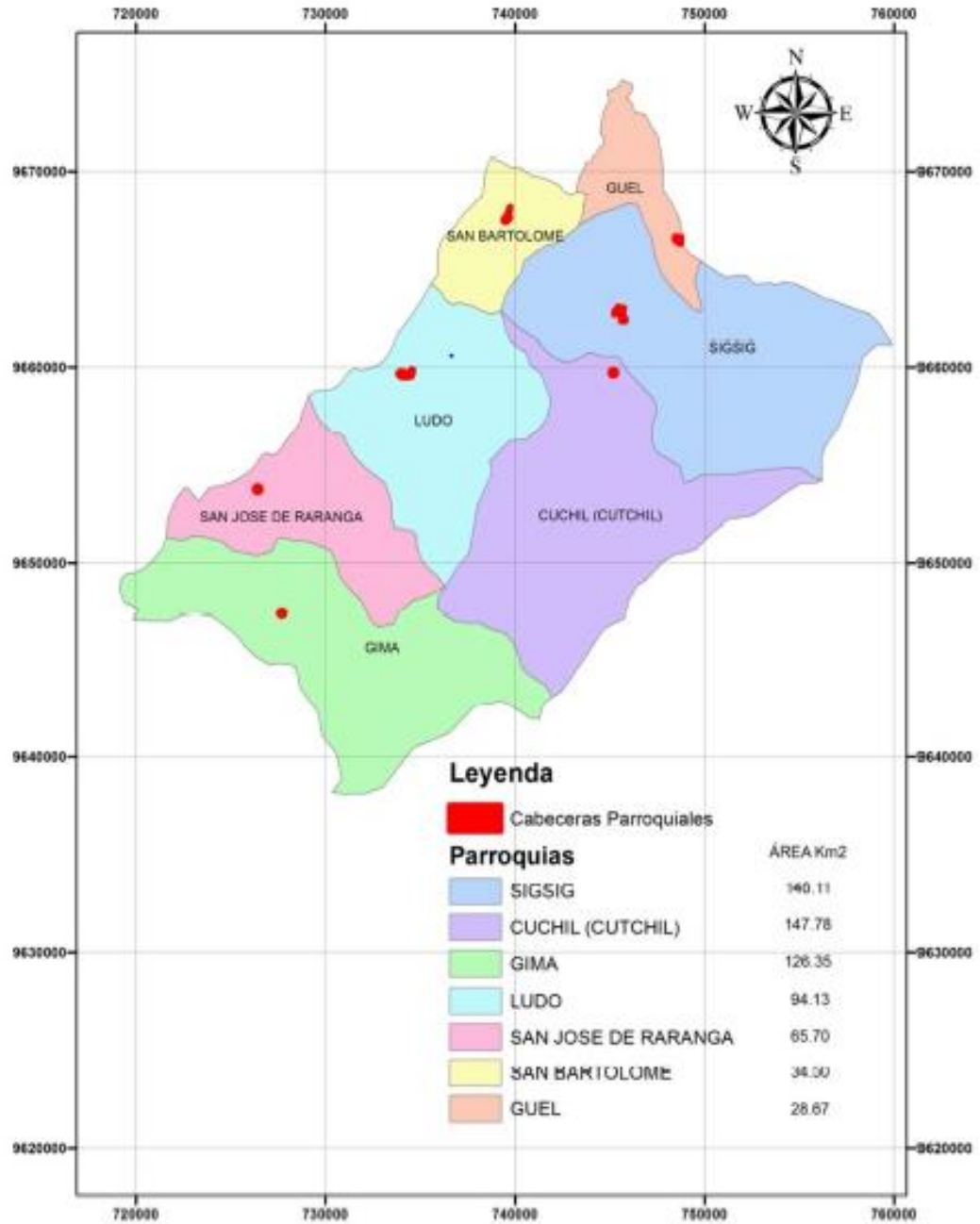


Figura 1.1.2: mapa de las parroquias del cantón Sigsig.

Fuente: (IERSE, 2015)

Según archivos del PDOT (2015), la parroquia Ludo está ubicada en el cantón Sigsig de la provincia del Azuay en la zona austral del país, forma parte de la región seis, de las unidades de planificación nacional de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) y es una de las siete parroquias del cantón Sigsig; forma parte del distrito 01D08, y del circuito 01D08C03 conjuntamente con la parroquia San José de Raranga.

Sus límites son los siguientes:

- *Al norte:* al noreste con las parroquias: San Bartolomé, Sígsig y Cuchil; al noroeste con el cantón Cuenca con su parroquia Quíngo.
- *Al sur:* al sureste con la parroquia Cuchil y Jima; y al suroeste con la parroquia San José de Raranga.

## 1.2. Redes viales y de transporte

Mediante datos del PDOT (2015), en la siguiente tabla se indica la longitud de las vías en la parroquia y la longitud total de vías en el cantón Sígsig, el mismo que cuenta con 446.035 metros, las vías de la parroquia tienen una longitud de 55.020 metros, lo que representa el 12% con respecto al total cantonal.

Tabla 1.2.1: longitud de vías en la parroquia Ludo.

Longitud de Vías		
Parroquias	Longitud Vías (m)	%
Ludo	55020	12%
<b>Total general</b>	<b>446035</b>	

Fuente: (PDOT, 2015)

Con respecto a la longitud de vías urbanas y rurales construidas en la parroquia Ludo del cantón Sígsig, se cuenta con un total de 55.020 metros de longitud, las mismas que están conformadas como indica la tabla 1.2.2 del inventario vial, donde un total de 53.920 metros de vías son rurales lo que representa el 98% y 1.100 metros de longitud de vías son urbanas que representa el 2%.

Tabla 1.2.2: longitud de vías urbanas y rurales en la parroquia Ludo.

Longitud de Vías Urbanas y Rurales		
Parroquias	Longitud Vías (m)	%
<b>Ludo</b>	<b>55020</b>	<b>100%</b>
Rurales	53920	98%
Urbanas	1100	2%
<b>Total general</b>	<b>446035</b>	

Fuente: (PDOT, 2015)

En el cantón Sígsig el 53% de población en las parroquias y comunidades cuentan con el servicio de transporte mientras que el 47% no tienen este servicio, como indica la figura 1.2.1.

Como medios de transporte son las camionetas de alquiler, servicio que está disponible en las seis parroquias del cantón Sígsig y en el centro cantonal, el mismo que da servicio a la mayoría de comunidades de cada parroquia, especialmente por las rutas y frecuencias que no cubren los buses de transporte público, la cobertura de este servicio de camionetas es del 28% en las comunidades y parroquias que utilizan este servicio como principal medio de transporte (PDOT, 2015).

Otra forma de movilizarse la población es a través de los buses que lo usan en un 24%; la población que se moviliza a pie es un 20%; el 15% utiliza animales y el 13% de la población usa moto, figura 1.2.2.

En la actualidad la parroquia está cubierta con transporte público a través de las cooperativas Sígsig, Austrorutas y Transmilagro, estas cooperativas tienen tres frecuencias en la mañana y tres en la tarde, además la parroquia está servida con el servicio de camionetas, transporte que llega a todas las comunidades de la parroquia alejadas de la carretera principal, el valor del transporte de centro parroquial hacia el centro cantonal es de \$ 20 dólares, y los buses de transporte público cobran valores de 1,25 dólares por persona, valores muy altos en relación a la distancia que existe entre Ludo y el centro cantonal de Sígsig.

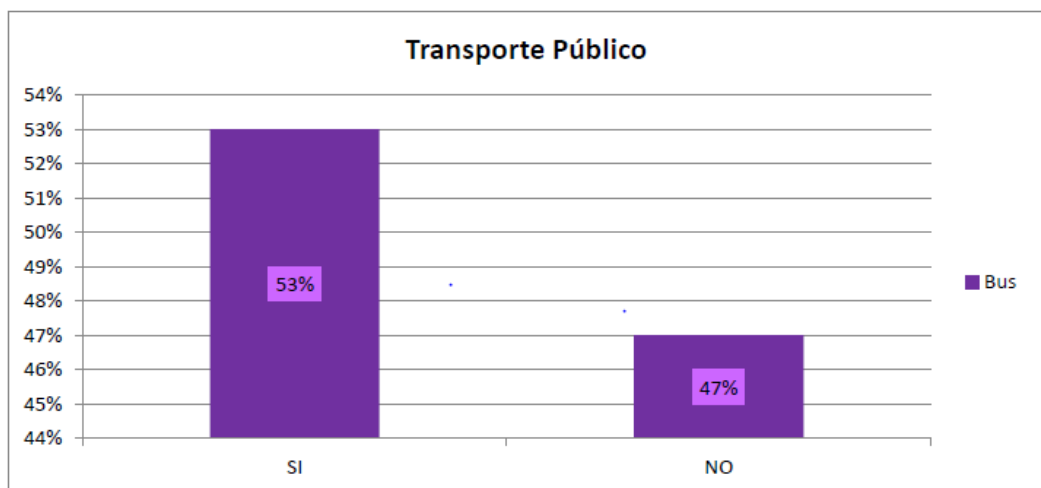


Figura 1.2.1: presencia de transporte (buses). Cantón Sígsig.

Fuente: (PDOT, 2015)

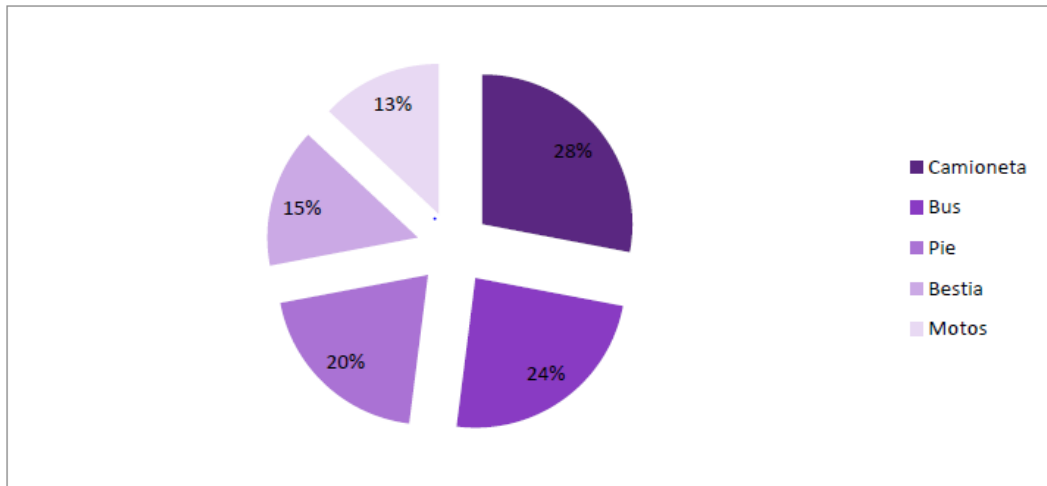


Figura 1.2.2: transporte que se utiliza en el cantón Síg sig.

Fuente: (PDOT, 2015)

Según el GAD (2016), la comunidad de La Dolorosa, se encuentra a una distancia de 45 km. desde la ciudad de Cuenca, por la vía El Valle – Quingeo - Ludo, vía asfaltada en su mayor parte, con relación al centro cantonal del Síg sig se encuentra a 43.6 km. Por la vía Síg sig - Ludo – Jima, el ingreso a la comunidad es permanente durante todo el año.

Para la movilización utilizan la Cooperativa 25 de Agosto que mantiene dos turnos al día, el uno a las 6:30h., y regresa a las 15:00h., hacia y desde la ciudad de Cuenca. El tiempo en bus es de 3 horas de viaje y el pasaje tiene un costo \$ 1.75. También existen camionetas que se dedican a realizar carreras, pero el costo resulta alto.

La empresa Trans-Milagros tiene un turno por la mañana a las 6:00h. y de regreso a las 14:00h., y el costo del pasaje es de \$ 1.50.

La Cooperativa Express Síg sig, con dos frecuencias desde Ludo hasta Cuenca a las 6:00h. y de regreso a las 14:00h.

### 1.3. Área del proyecto

La parroquia Ludo no presenta límites detallados en sus ordenanzas de creación. Los registros oficiales 240 y 241, del 18 y 19 de septiembre de 1939, no presentan coordenadas geográficas por lo que no se puede realizar trazos detallados de la parroquia, por este motivo se trabaja con el límite establecido por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) basado en el diagnóstico del Comité Nacional de

Limites (CONALI), el mismo que fue utilizado para la elaboración del proyecto de Generación de Geo-Información del territorio a nivel Nacional (PDOT, 2015).

En la tabla 1.3.1 se observa la distribución espacial de las comunidades de la parroquia Ludo, es importante mencionar que las comunidades citadas fueron levantadas en el año 2012, mismas que fueron validadas por la anterior administración parroquial, es importante denotar que no existe una delimitación comunitaria para la parroquia, por lo que las comunidades estarán referidas a un punto determinado más no se presentarán con un área definida (PDOT, 2015).

Tabla 1.3.1: ubicación de las comunidades de la parroquia de Ludo.

COMUNIDAD	X	Y
YARIGUIÑA	735117	9653356
LA DOLOROSA	733844	9655001
HATO BOLO	734178	9656193
SERRAG	731593	9656215
LA ESPERANZA	730012	9656583
CAZHAPUGRO	732373	9657377
IGUILA	734691	9657651
VIGEN PAMBA	735048	9657834
PURANA	732912	9657953
MOROCHO QUIGUA	733887	9658278
LOMA LARGA	736771	9658840
RUMIPAMBA	733534	9658852
BUENA VISTA	738073	9659395
SARAR	739860	9659796
CAPIZHAPA	734710	9659891
COLLANA	735128	9660309
1 DE ENERO	735609	9662543
LA PAZ	736437	9662777
TUCTO	736408	9663157

Fuente: (PDOT, 2015)

#### 1.4. Clima

En el mapa de isotermas de la parroquia Ludo realizado por el IEE, se observa que las temperaturas oscilan entre los 9 °C en las zonas de temperaturas más bajas y 17 °C para las temperaturas más altas, en promedios anuales (PDOT, 2015).

La zona de menor temperatura comprendida entre los 9 y 10 °C en promedios anuales, se encuentran ubicadas en la zona de los límites con el cantón Cuenca y la parroquia Cuchil. Y ascienden conforme avanzan a las zonas centrales del territorio, Las temperaturas más altas se registran en las riberas del río Bolo Pamar, alcanzando los 16 y 17 °C en promedios anuales. Es importante mencionar que la mayoría de comunidades se encuentran en las zonas más cálidas de la parroquia, y

las comunidades Tucto, La Paz y Primero de Enero se ubican en las zonas de menor temperatura (PDOT, 2015).

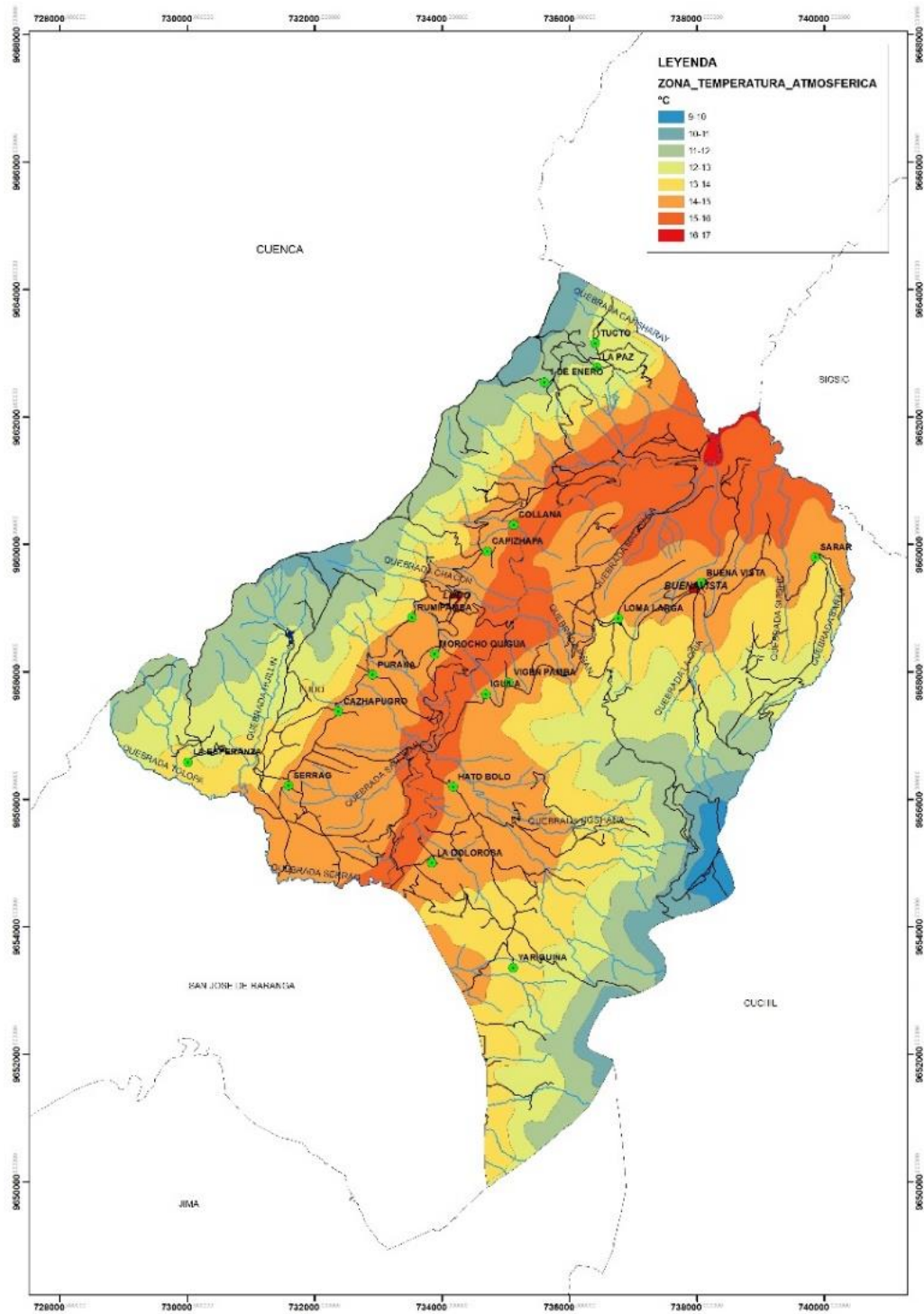


Figura 1.4.1: zonas de temperatura de la parroquia de Ludo.

Fuente: (IERSE, 2015)



### 1.5. Topografía y pendientes

Según los resultados obtenidos de la reclasificación de las pendientes, se observa que las pendientes de mayor presencia en el territorio están comprendidas entre los rangos 25 – 50 %, alcanza las 3510 ha. que representa el 45,73% del territorio parroquial, esta característica evidencia las limitaciones que presenta la parroquia en su estructura topográfica, limitando de manera sustancial las actividades antrópicas en la zona, se observa que los rangos de pendientes 0-2; 2-5; 5-12, apenas suman el 5,92% del territorio y alcanzan una superficie de 454,42 ha y estarían en condiciones para realizar actividades agroproductivas sin limitaciones. Otro dato importante se visualiza con las pendientes fuerte y muy fuerte, que ocupan el 27,82% del territorio siendo zonas de estricta conservación. También se observa que muchos asentamientos humanos se encuentran cerca de las pendientes abruptas limitando su capacidad de extensión y consolidación (PDOT, 2015).

Tabla 1.5.1: tipo, porcentaje y extensión de pendientes.

DESCRIPCIÓN	PENDIENTE	AREA	PORCENTAJE
MUY SUAVE	0-2	15,0282	0,20
MUY SUEAVE	2 - 5	62,2827	0,81
SUAVE	5 -12	377,1171	4,91
MEDIA	12 - 25	1576,357	20,53
MEDIA A FUERTE	25-50	3510,904	45,73
FUERTE	50-70	1362,659	17,75
MUY FUERTE	mayor a 70	772,8849	10,07
TOTAL		7677,2329	100,00

Fuente: (PDOT, 2015)

Las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo presentan pendientes de moderadas altas, cuyos valores de pendientes oscilan de 0 a 50 como se podemos apreciar en la figura 1.5.1.

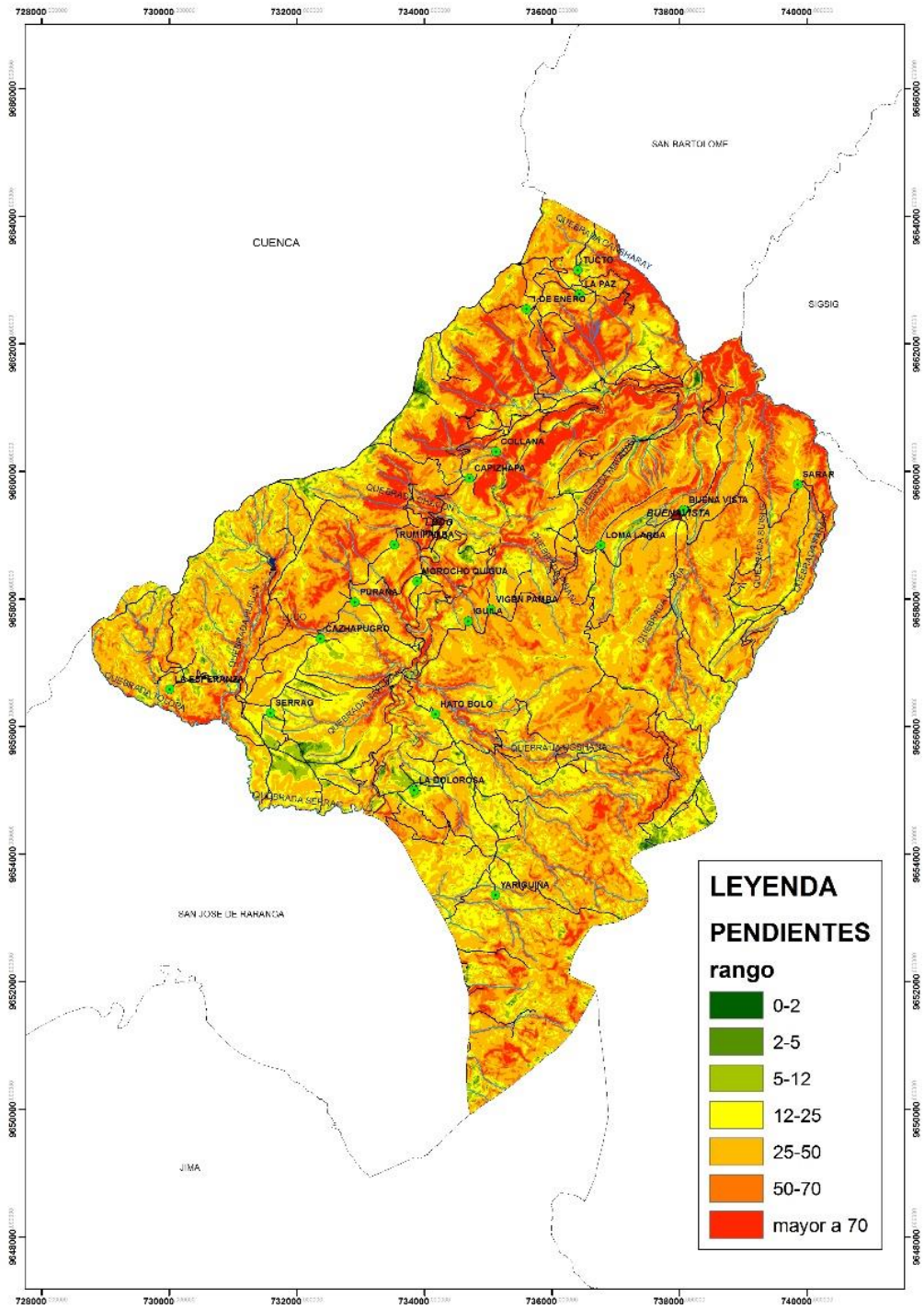


Figura 1.5.1: rangos de pendientes de la parroquia de Ludo.

Fuente: (IERSE, 2015)

## 1.6. Cobertura del suelo

La parroquia Ludo tiene una superficie total de 7677,20 ha, de las cuales el 39.66% corresponde a cobertura vegetal natural. Las actividades del agro están representadas por los cultivos de maíz-frejol, cultivos de ciclo corto, papa, explotaciones pecuarias, y plantaciones forestales de pino. El resto de la parroquia comprende zonas pobladas e improductivas (PDOT, 2015).

Tabla 1.6.1: cobertura y uso de la superficie de la parroquia de Ludo.

SUPERFICIE DE COBERTURA Y USO DE LA PARROQUIA LUDO				
SIMBOLO	COBERTURA	USO	AREA (ha)	PORCENTAJE (%)
TDb	BARBECHO	AGRICOLA	1,71	0,02
Catp	PAPA		8,41	0,11
CAcm-Calf	MAIZ-FREJOL	AGROPECUARIO MIXTO	285,57	3,72
MXb	MISCELANEO INDIFERENCIADO		11,26	0,15
MPa	PASTO CULTIVADO CON PRESENCIA DE ARBOLES		30,27	0,39
MPz	PASTO CULTIVADO CON PRESENCIA DE MAIZ		1862,18	24,26
ANg	LAGO/LAGUNA	AGUA	1,57	0,02
ANr	RIO DOBLE		16,04	0,21
IUp	CENTRO POBLADO	ANTROPICO	2,12	0,03
BHm	BOSQUE HUMEDO MEDIANAMENTE ALTERADO	CONSERVACION Y PROTECCION	194,53	2,53
BHma	BOSQUE HUMEDO MUY ALTERADO		43,54	0,57
MHm	MATORRAL HUMEDO MEDIANAMENTE ALTERADO		890,48	11,60
MHp	MATORRAL HUMEDO POCO ALTERADO		158,68	2,07
PHp	PARAMO HERBACEO MEDIANAMENTE ALTERADO		0,59	0,01
MHma	MATORRAL HUMEDO MUY ALTERADO		1589,75	20,71
PHp	PARAMO HERBACEO POCO ALTERADO		167,11	2,18
VHma	VEGETACION HERBACEA HUMEDA MUY ALTERADA		CONSERVACION Y PRODUCCION	1059,88
PC	PASTO CULTIVADO	PECUARIO	1191,02	15,51
TBP9	EUCALIPTO	PROTECCION O PRODUCCION	23,20	0,30
TBP20	PINO		25,25	0,33
OSr	AREA EN PROCESO DE EROSION	TIERRAS	106,95	1,39
OSI	AREA EROSIONADA	IMPRODUCTIVAS	7,10	0,09
<b>TOTAL</b>			<b>7677,20</b>	<b>100,00</b>

Fuente: (PDOT, 2015)

De la superficie total de la parroquia (7677,20 ha), una gran parte del territorio, el 39,66 % (3.044 ha) está destinado para uso de conservación y protección; cuenta con extensiones cubiertas por cobertura vegetal natural donde se encuentran presentes remanentes de páramo herbáceo, bosque húmedo, y matorral húmedo.

El uso agropecuario mixto, con 2189,29ha, es decir el 28,252 % de la parroquia, se encuentra ocupado por asociaciones de cultivos tales como los anuales: maíz-frejol y los semipermanentes de pasto cultivado con presencia de maíz, entre los principales. En menor importancia están las asociaciones de los cultivos permanentes.

La extensión que ocupa el uso pecuario es de 1191,01ha, lo cual representa el 15,51% de la superficie. El pasto cultivado en su mayoría es el Ray-grass (*Lolium multiflorum*). El uso de la tierra que corresponde a conservación y producción, la vegetación herbácea húmeda, posee una extensión de 1059,88ha, ocupando el 13,1 % de la superficie total del territorio.

Las plantaciones de pino (*Pinus Patula*), y las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) representando el 0,63 % de la superficie Cantonal, con 48,44 ha; que corresponde al uso protección o producción.

El uso agrícola, con 10,12 ha, ocupando el 0,13 % del territorio, cuyo principal cultivo es el maíz (PDOT, 2015).

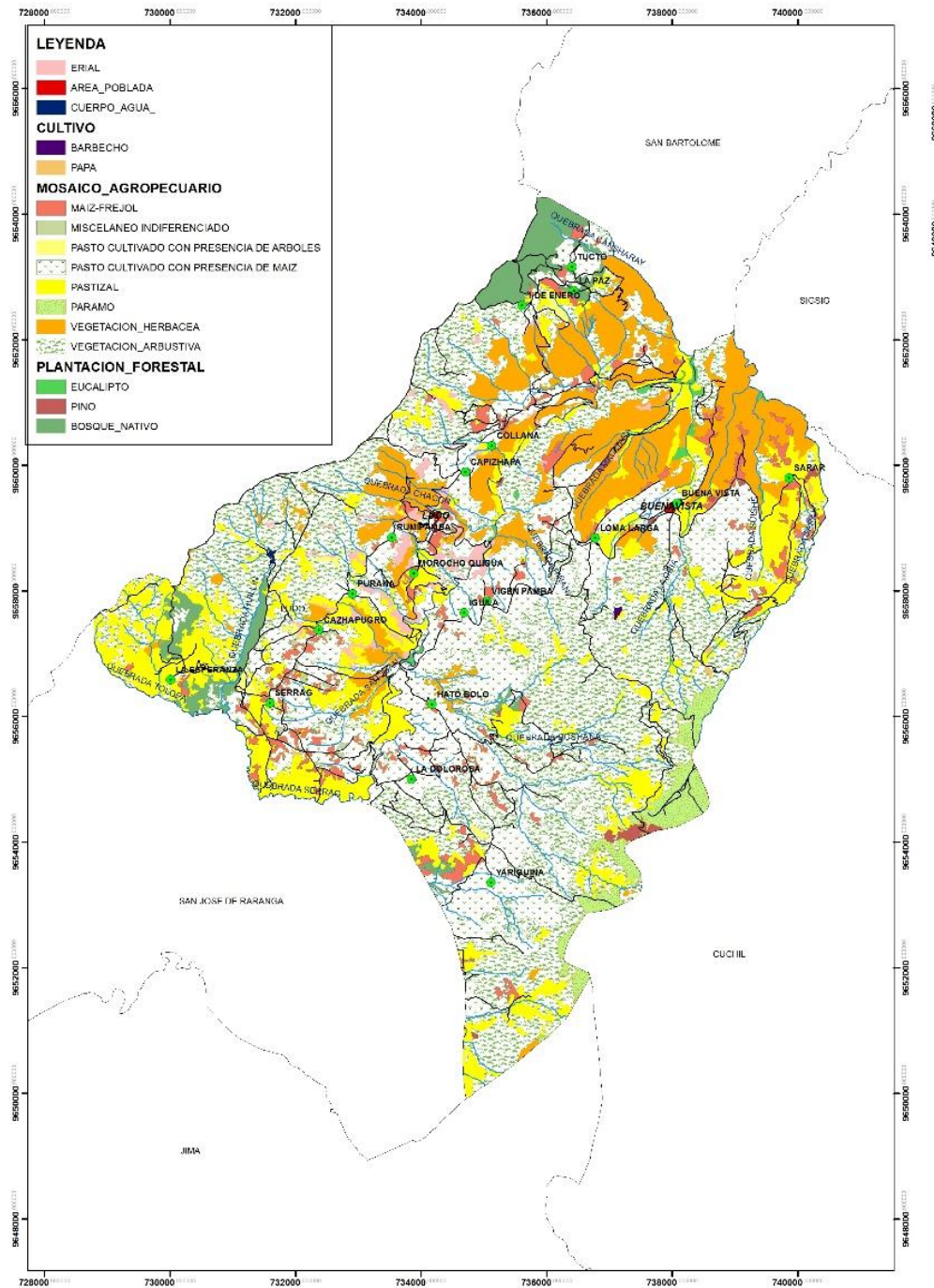


Figura 1.6.1: cobertura y uso actual de la tierra de la parroquia de Ludo.

Fuente: (IERSE, 2015)

De acuerdo a información proporcionada por Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Sigsig, la vegetación típica que se presenta en la parroquia de La Dolorosa son: joyapa gañales, chachacos, payanas y bosque nativo; los principales cultivos de la zona son: maíz, fréjol, habas, cebada, trigo y avena en menor cantidad, también cuenta con producción de frutas.

Por desventaja el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Sígsig no cuenta con información de la parroquia de Hatobolo.

### **1.7. Geología**

De acuerdo al PDOT (2015), el cantón Sígsig está constituido por litologías ligadas a procesos, intrusivos, efectos de metamorfismo y potentes secuencias volcánicas asociado a eventos continentales como marinos, al este del cantón en las estribaciones de la Cordillera Real; la geología se caracteriza por secuencias metamórficas relacionadas con el proceso de acreción, del lado occidental representado por un arco de islas que pertenece al Terreno Alao de origen marino en el Jurásico Tardío, dicha secuencia está intruida por plutones asociado al Magmatismo Triásico-Jurásico perteneciente al Terreno Loja de origen continental, estas unidades lito tectónicas están separadas por una Falla llamada el frente Baños, con dirección NE-SW. La topografía de este sector es irregular estos relieves se encuentran en las cotas más altas del cantón en las vertientes externas de la Cordillera Real, con desniveles pronunciados y pendientes muy fuertes.

A lo largo de todo el cantón en la parte centro occidente una alta influencia volcánica Terciaria-Cuaternaria, donde predominan composiciones riolitas, andesíticas a dacíticas asociados a las formaciones Saraguro, Nabón y Tarqui productos de volcanismo efusivo; la geomorfología está representado en su mayoría por relieves y vertientes superiores y de los márgenes de la zona interandina derivadas de los Andes, producto de grandes derramamientos volcánicos cuyas características estructurales repercuten en diversidad de relieves asociados a la Formación Tarqui, Nabón (IEE, 2013).

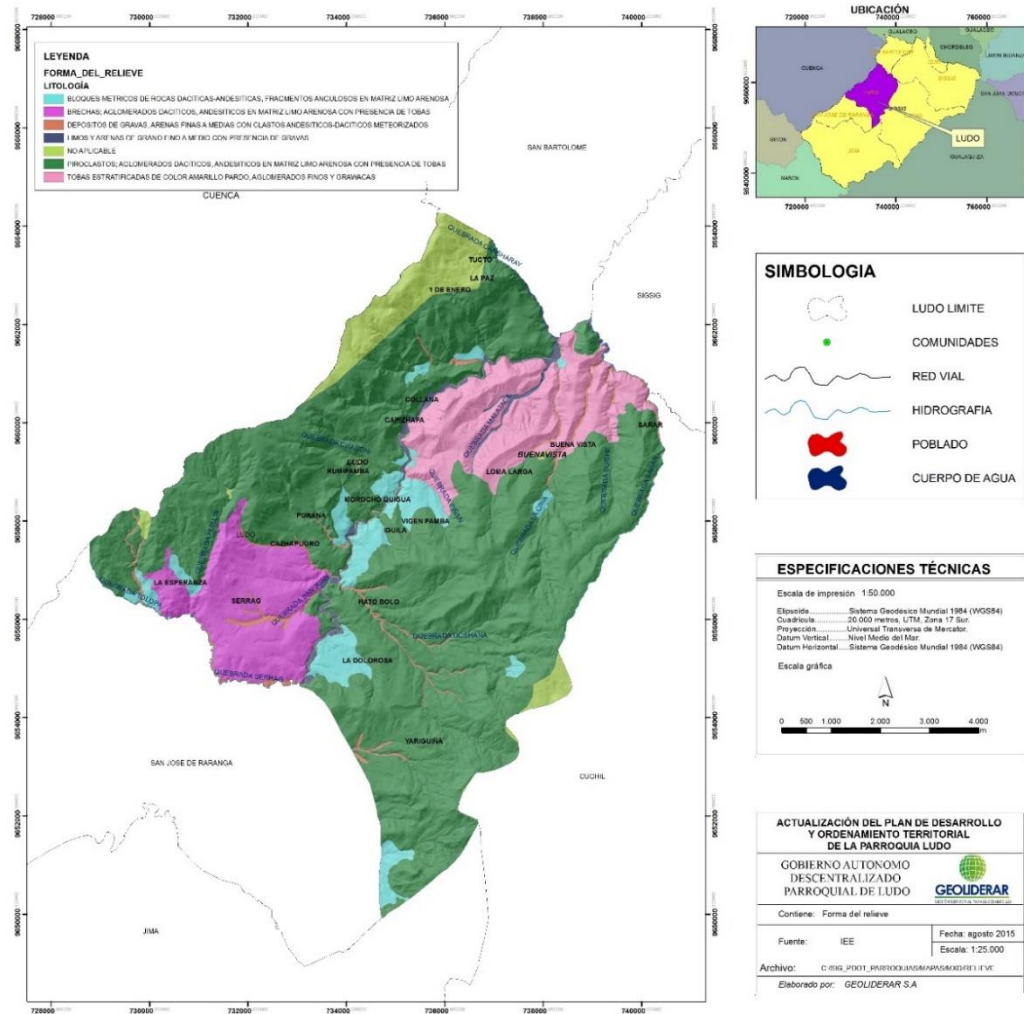


Figura 1.7.1: estructura geomorfológica de la parroquia Ludo.

Fuente: (IEE, 2013)

### 1.8. Hidrografía

El análisis de la hidrología suele tener como referencia a la unidad fisiográfica conocida como cuenca, que es un espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por la precipitación y donde los excedentes de agua convergen en un punto espacial único; la desembocadura o exutorio (PDOT, 2015).

La SENAGUA ha realizado la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de Ecuador que están comprendidas en dos regiones o vertientes que corresponden al nivel 1: la vertiente del Pacífico y la vertiente del río Amazonas aplicando la metodología de Pfafstetter con una base cartográfica digital del territorio a una escala 1:250.000. El proceso ha consistido en delimitar las unidades

hidrográficas dividiendo y codificando jerárquicamente las unidades por tipología: cuenca, intercuenca y cuenca interna, desde el ámbito continental (Nivel 1), hasta los niveles 2, 3, 4 y 5 en todo el territorio (PDOT, 2015).

Gracias a la información extraída del PDOT de Ludo, se observa que la parroquia Ludo se distribuye en tres microcuencas, la del río Quingeo Alto al norte, que a su vez pertenece o forma parte de la sub cuenca del río Jadán; al sureste la microcuenca del río Boladel y en prácticamente todo el territorio la microcuenca del río Bolo Pamar (su principal afluente), estas dos últimas son parte de la sub cuenca del río Santa Bárbara.

En la zona occidental de la parroquia, el recurso agua presenta limitaciones ya que es notorio la incidencia de las actividades antrópicas en los bosques protectores (Guarango) emplazados en las zonas.

Lo que nos dice que las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo pertenecen a la microcuenca del río Bolo.



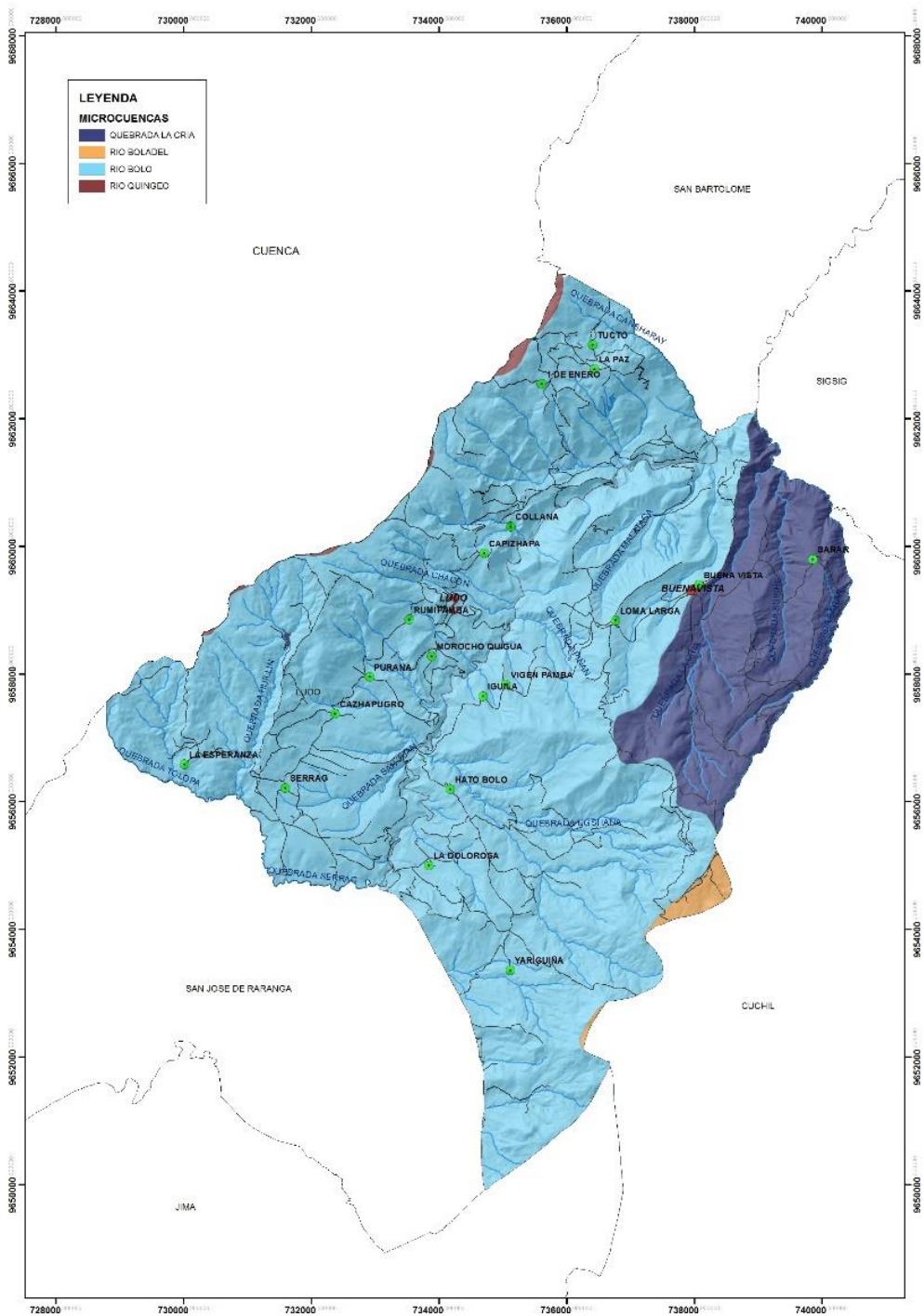


Figura 1.8.1: división hidrográfica de la parroquia Ludo.

Fuente: (IEE, 2013)

### 1.9. Áreas naturales protegidas

Se refiere a sectores geográficos que tienen una importancia para la conservación, ya que cumplen con requisitos tanto biológicos, étnicos y geofísicos

importantes para el patrimonio nacional. Estos espacios se encuentran dentro del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE) y también dentro de bosques y vegetación protectora declarada por el MAE.

En cuanto a la presencia de bosques protectores en la parroquia, se observa al noroeste en el límite del territorio, una parte de lo que constituye el área de Bosques y Vegetación protectores “Guarango”, con una superficie total de 1638 ha, de las que 473.15 ha se encuentran en territorio de la parroquia (resaltando que una pequeña extensión se encuentra en la parroquia San Bartolomé, al norte y la otra parte del bosque hacia el occidente en la ciudad Cuenca), esta área de bosque, representa el 6% de la parroquia y el 29% del área total del bosque (PDOT, 2015).

Y al oriente, en los límites con la parroquia Cuchil, se aprecia una pequeña extensión de lo que constituye el bosque protector Moya Molón, con un área de 11502 ha; la superficie de bosque dentro de la parroquia Ludo corresponde a 50,24 ha que representa el 1% del territorio y el 0,4% del área total de bosque (PDOT, 2015).

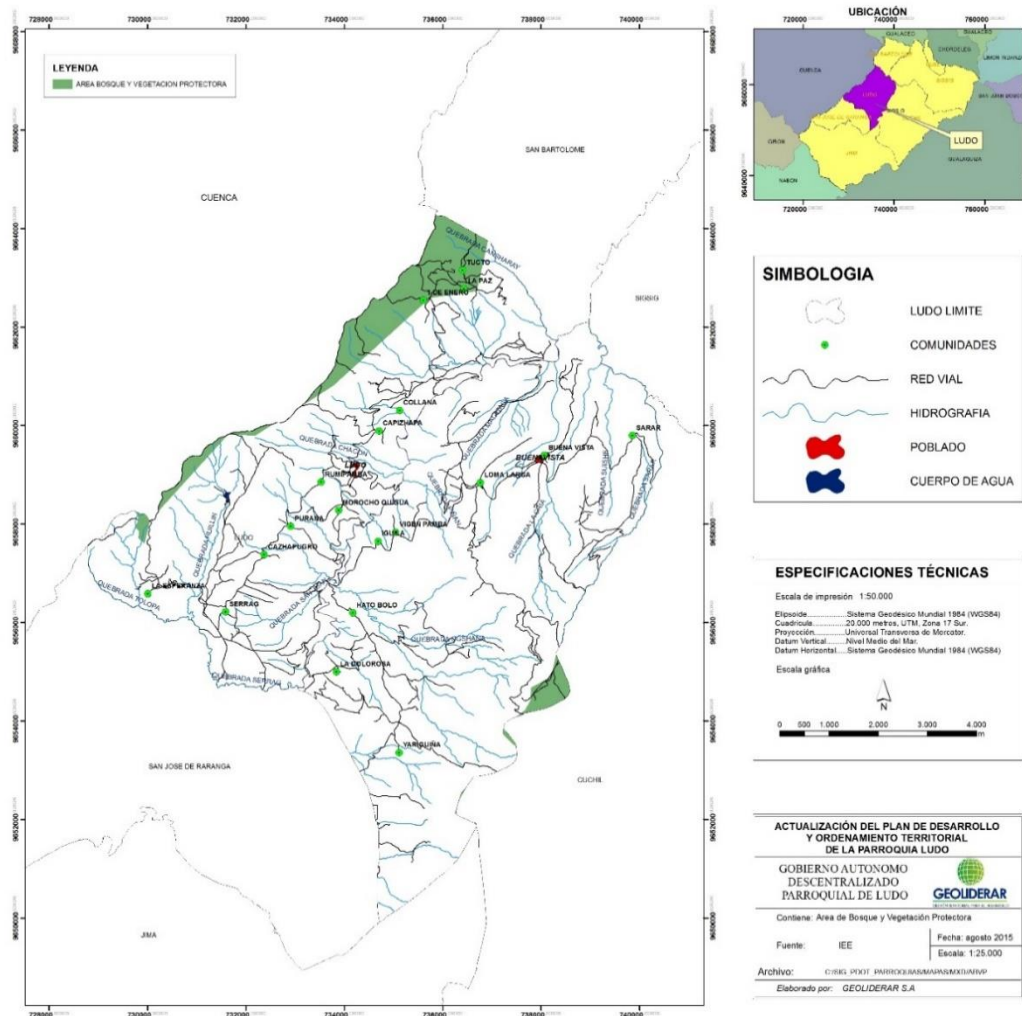


Figura 1.9.1: áreas de bosques y vegetación protectora de la parroquia Ludo.

Fuente: (MAE)

## 1.10. Precipitación

De acuerdo a información extraída del PDOT de la parroquia de Ludo, se realizó un estudio basándose en tres estaciones meteorológicas con datos de precipitación mensual, tales como INAMHI con 728.37 mm, INECEL con 557.70 mm y GIMA con 673.04 mm.

Obteniendo resultados en el mapa de isoyetas, cuyas variaciones en sus niveles de precipitación, que varían entre los rangos de 700 a 900 mm, la zonas de mayor precipitación se encuentran ubicados en los límites con Jima, San José Raranga y Cuchil, comprendido entre los 700 – 800 mm, la zona entre 800 – 900mm, se ubica en la mayor parte del territorio, sobre todas las comunidades de la parroquia, como se puede observar en la figura 1.10.1.

La problemática relacionada con las bajas precipitaciones, radica en la dificultad de almacenamiento de agua en los meses de menor promedio de precipitaciones (PDOT, 2015).

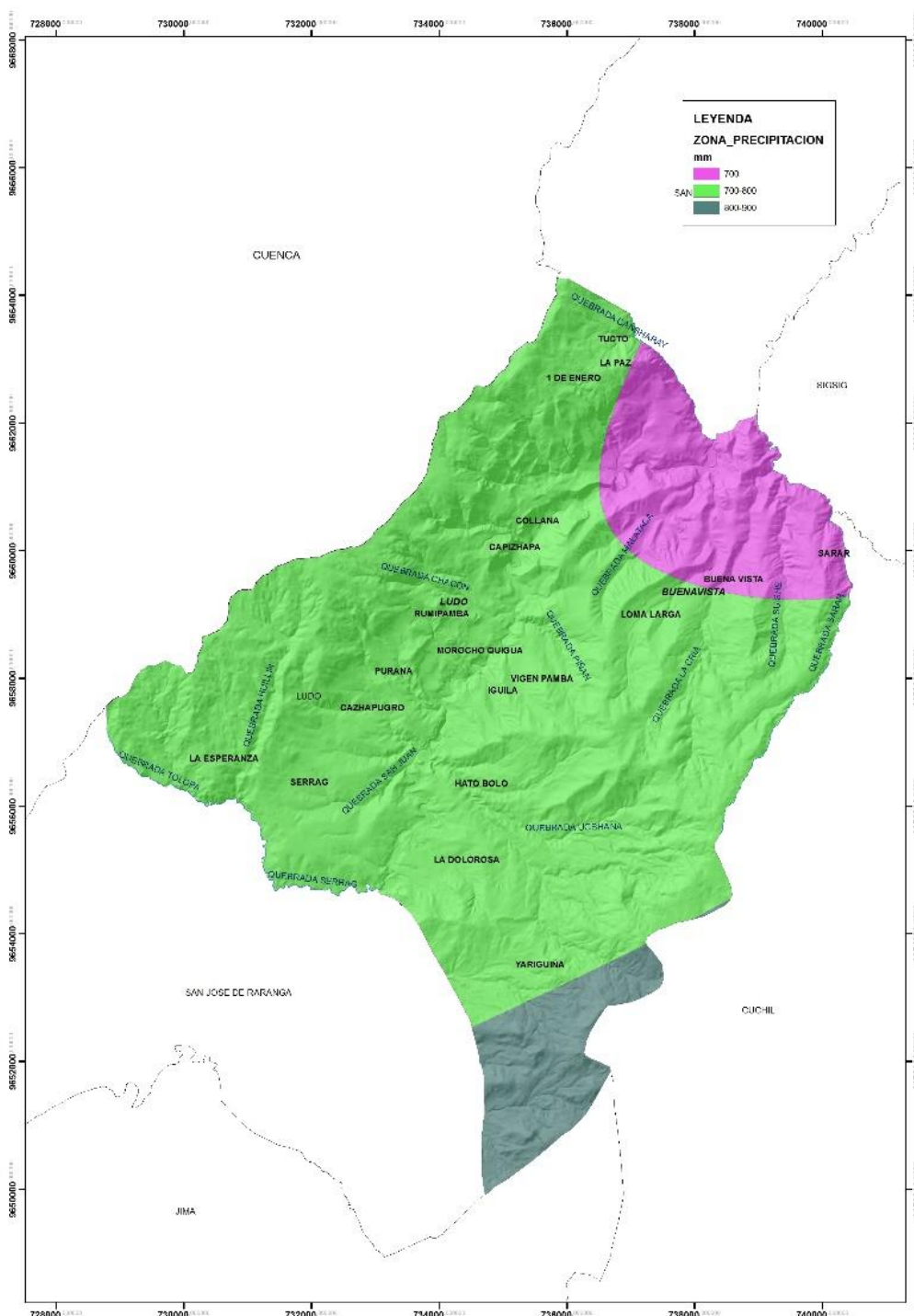


Figura 1.10.1: precipitaciones de la parroquia de Ludo.

Fuente: (IEE, 2013)

### 1.11. Turismo

De acuerdo a datos del PDOT (2015), un atractivo turístico es el río Hato Bolo, importante en épocas pasadas por sus lavaderos de oro. La artesanía del sombrero de paja toquilla, es una actividad que está ligada al turismo, y es bastante común en casi todo el cantón del Sísig.

### 1.12. Aspectos demográficos

Según información tomada de PDOT de Ludo, según el censo de 2010, cuenta con una población total de 336 habitantes, de los cuales el 44.39% son hombre y el 55.61% mujeres, como se observa en la siguiente tabla 1.12.1.

Tabla 1.12.1: estructura de la población de la parroquia de Ludo.

GRUPOS QUINQUENALES DE EDAD	SEXO		TOTAL	SUB TOTAL	%
	HOMBRE	MUJER			
Menor de 1 año	42	43	85	Población menor a 24 años	% respecto al total de la población
De 1 a 4 años	168	193	361		
De 5 a 9 años	274	274	548		
De 10 a 14 años	249	255	504		
De 15 a 19 años	157	184	341		
De 20 a 24 años	99	106	205	2044	60,72%
De 25 a 29 años	59	131	190	Población entre 24 y 64 años	% respecto al total de la población
De 30 a 34 años	63	107	170		
De 35 a 39 años	58	110	168		
De 40 a 44 años	55	72	127		
De 45 a 49 años	47	65	112		
De 50 a 54 años	34	65	99		
De 55 a 59 años	45	43	88		
De 60 a 64 años	45	67	112		
De 65 a 69 años	45	46	91	Población mayor a 65 años	% respecto al total de la población
De 70 a 74 años	20	37	57		
De 75 a 79 años	20	32	52		
De 80 a 84 años	11	23	34		
De 85 a 89 años	2	14	16		
De 90 a 94 años	1	4	5		
De 95 a 99 años	-	1	1	256	7,61%
<b>Total</b>	<b>1494</b>	<b>1872</b>	<b>3366</b>		
<b>Porcentaje</b>	<b>44,39%</b>	<b>55,61%</b>			

Fuente: (PDOT, 2015)

Además, gracias al censo del 2010 se pueden observar que la estructura poblacional de Ludo es una pirámide, donde la mayoría de la población es preferentemente joven, comprendida entre 0 – 24 años de edad (edad para estudiar) representa un 60.27%, la población en edad de trabajar está entre 25 – 64 años

representa un 31.67% y la población que comprende mayores de 65 años es el 7.61% de la población.

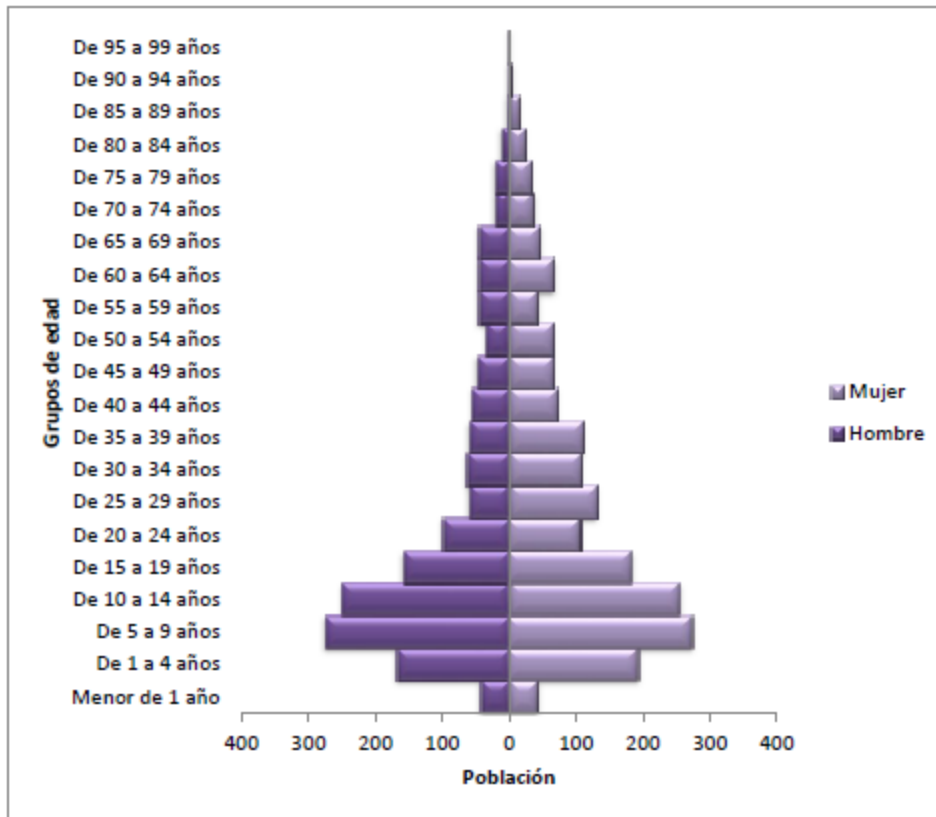


Figura 1.12.1: estructura de la población del cantón Síg sig.

Fuente: (IEE, 2013)

De la misma manera en el siguiente gráfico podemos observar cómo ha ido creciendo la población por cada periodo censal.

Tabla 1.12.2: evolución de la población 1990-2010.

CRECIMIENTO INTERCENSAL EN LA PARROQUIA LUDO			
Año	Hombre	Mujer	Total
1990	1.322	1.870	3.192
2001	1.368	1.696	3.064
2010	1.494	1.872	3.366

Fuente: (INEC, 2010)

### 1.13. Enfermedades

Las principales enfermedades registradas en el subcentro de salud de la Parroquia al mes de Abril de 2015 son: Amigdalitis, resfrió común, diarrea de origen infeccioso, conjuntivitis, amebiasis, faringoamigdalitis, infección urinaria,

otitis media, faringitis e impétigo. Las posibles causas de estas enfermedades son: una mala alimentación y malos hábitos de higiene, además, se debe considerar que la mayor parte de la parroquia no dispone de agua potable, lo cual provoca infecciones estomacales y parasitosis. Estas enfermedades pueden ser tratadas ya que no son graves, sin embargo en la parroquia, en zonas alejadas las personas todavía mueren a causa de estas. Como se observa en la siguiente tabla, la enfermedad que tiene mayor frecuencia es la amigdalitis sobre todo en la población de 5 a 14 años, así como la diarrea de origen infeccioso en los niños de 1 a 4 años (PDOT, 2015).

Tabla 1.13.1: perfil epidemiológico.

PERFIL EPIDEMIOLÓGICO PARROQUIA LUDO AL AÑO 2015																		
DIAGNOSTICO	CODIGO	< 1 AÑO		1 A 4 AÑOS		5 A 14 AÑOS		15 A 35 AÑOS		36 A 49 AÑOS		50 A 64 AÑOS		65 Y + AÑOS		TOTAL		TOTAL GENERAL
		H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	
AMIGDALITIS	J03			2		2	2	2	1			1				7	3	10
RINOFARINGITIS / RESFRIO COMUN	J00	3		3		3		1								10	0	10
DIARREA DE ORIGEN INFECCIOSO	A09			4				3		1						8	0	8
CONJUNTIVITIS	H10				2		1		1							0	4	4
AMEBIASIS	A06								2			1				1	2	3
FARINGOAMIGDALITIS	J06.8					1					1					1	1	2
INFECCIÓN URINARIA	N39										2					0	2	2
OTITIS MEDIA	H66					1	1									1	1	2
FARINGITIS	J02.9							1			1					1	1	2
IMPETIGO	L01				1			1								1	1	2

Fuente: Subcentro de salud Ludo.

Las principales enfermedades en la comunidad de La Dolorosa que afectan a los niños son: diarreas en un 70.59%, parasitosis en un 5.88%, e infecciones intestinales un 23.53%. En cuanto a la comunidad de Hatobolo no existe información levantada acerca de este tema por el GAD Municipal.

#### 1.14. Cobertura de salud

La parroquia de Ludo cuenta dos subcentros de Salud, uno en el centro parroquial y otro en la comunidad de Sarar, dependientes del Ministerio de Salud Pública. Los subcentros cuentan con los siguientes servicios: preparación, estadística, vacunación, odontología, bodega, dos consultorios médicos, y área para

donaciones. En cuanto a recursos humanos cuenta con dos médicos generales, un odontólogo y dos auxiliares de enfermería (PDOT, 2015).

### 1.15. Aspectos socioeconómicos

Según, el censo de población y vivienda INEC 2010, la mayor parte de la población de la parroquia Ludo se encuentra ocupada en actividades del sector Primario que se relaciona básicamente con la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca que representa el 40,4% de la PEA. En segundo lugar, con el 32,03% se ubica el sector terciario, que es el sector encargado de brindar servicios a la población, dentro del cual los más representativos son el sector de la construcción, el comercio al por mayor y menor, el transporte y la enseñanza. En tercer lugar se ubica el sector Secundario que representa en el caso de Ludo fundamentalmente al sector artesanal, puesto que no existen industrias manufactureras. Este sector emplea el 27,56% de la PEA parroquial (PDOT, 2015).

Tabla 1.15.1: población económicamente activa de la parroquia de Ludo.

RAMAS DE ACTIVIDAD	PEA	%
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	560	40,40
Industrias manufactureras	382	27,56
Construcción	161	11,62
Comercio al por mayor y menor	66	4,76
Transporte y almacenamiento	20	1,44
Actividades de alojamiento y servicio de comidas	11	0,79
Información y comunicación	3	0,22
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	1	0,07
Administración pública y defensa	15	1,08
Enseñanza	19	1,37
Actividades de la atención de la salud humana	7	0,51
Otras actividades de servicios	8	0,58
Actividades de los hogares como empleadores	25	1,80
No declarado	89	6,42
Trabajador nuevo	19	1,37
<b>TOTALES</b>	<b>1386</b>	<b>100,00</b>

Fuente: (PDOT, 2015)



### 1.16. Estado sanitario actual

Según el PDOT (2015), el alcantarillado existente de la parroquia Ludo fue construido en el año 2008. Los diseños y construcción del sistema de saneamiento existente se los realizaron por la Fundación Rikcharina y por el Consejo Provincial del Azuay. El sistema de saneamiento de la parroquia lleva funcionando cerca de 2 años, y el área que se aportó es de 45 ha. Aproximadamente, dando un servicio principalmente al centro de la parroquia. El sistema brinda un beneficio aproximadamente a 600 usuarios.

El sistema de alcantarillado es únicamente sanitario, y abarca una longitud aproximada de 3Km., dividida en dos partes que aportan a las dos plantas existentes. La tubería empleada es de PVC con un diámetro de 110mm. En general, todo el sistema de alcantarillado tiene un funcionamiento regular.

En la parroquia Ludo según el censo de población y vivienda del 2010 elaborado por el INEC el 4,85% de las viviendas están conectadas a los servicios de red pública de alcantarillado, mientras que el 47,76% de las viviendas utiliza pozos sépticos, el 6,42% tiene pozos ciegos, el 1,33% descargan sus desechos directamente al río o lago, el 6,06% usa letrinas y el 33,58% no posee ningún mecanismo de eliminación, como se muestra en la tabla 1.16.1 (INEC, 2010).

Tabla 1.16.1: tipo de servicio higiénico o escusado en ludo al año 2010.

TIPO DE CONEXIÓN	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Conectado a red pública de alcantarillado	40	4.85
Conectado a pozo séptico	394	47.76
Conectado a pozo ciego	53	6.42
Con descarga directa al mar, río, lago o quebrada	11	1.33
Letrina	50	6.06
No tiene	277	33.58
<b>Total</b>	<b>825</b>	<b>100.00</b>

Fuente: (INEC, 2010)

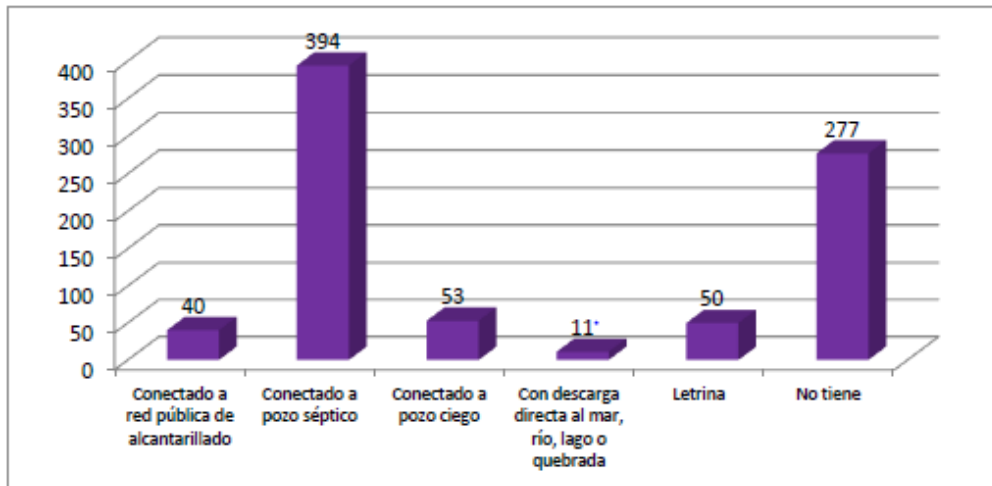


Figura 1.16.1: tipo de servicio higiénico o excusado en ludo.

Fuente: (INEC, 2010)

En cuanto a la comunidad de La Dolorosa, las familias que disponen de letrina son un 58.82% y un 41.18% no disponen de letrinas, y se realiza la disposición de excretas a campo abierto, con el consecuente problema de contaminación del medio ambiente y causa de muchas enfermedades. Para la comunidad de Hatobolo se desconoce acerca de la situación actual de la disposición de las aguas servidas y de excretas según, sin embargo se sabe que se usan de igual manera letrinas (GAD, 2016).

### 1.17. Agua

Según las encuestas realizadas a las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo, el 89% de la población cuenta con el abastecimiento de agua potable y 11% restante no cuenta con este servicio.

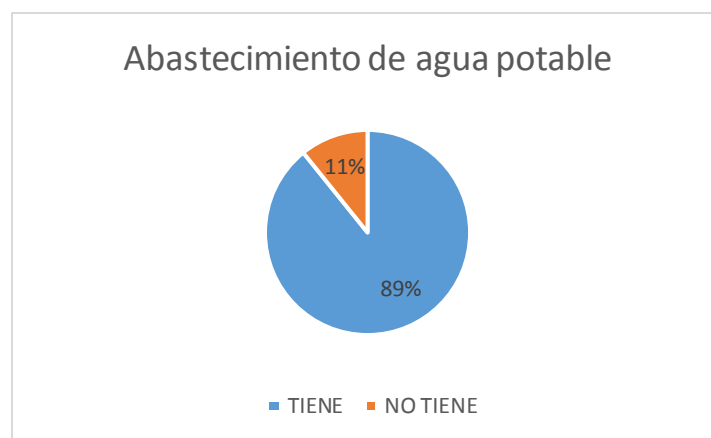


Figura 1.17.1: abastecimiento de agua potable.

Fuente: Encuesta 2017.

### 1.18. Energía eléctrica

Según datos obtenidos de las encuestas el 86% de la población sí cuenta con energía eléctrica, y por el contrario el 14% restante no tiene este servicio.

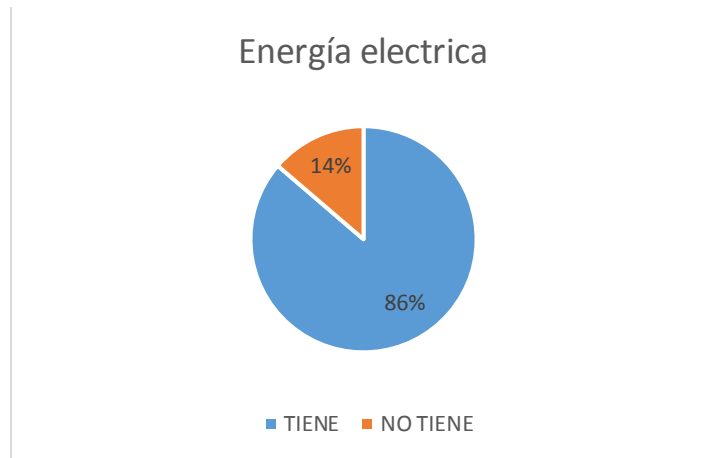


Figura 1.18.1: energía eléctrica.

Fuente: Encuesta 2017.

### 1.19. Servicios sanitarios existentes

Según las encuestas realizadas a las comunidades, el 75% de la población evacua sus aguas servidas a una fosa séptica, mientras que el 25% restante no le da ninguna disposición final a sus aguas servidas.

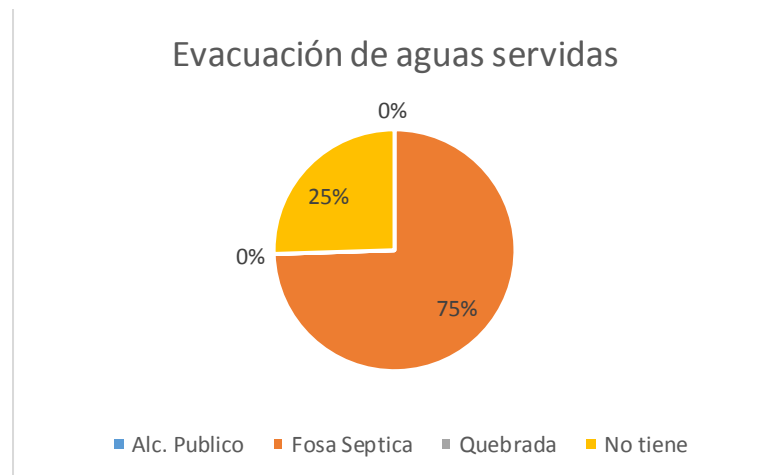


Figura 1.19.1: abastecimiento de agua potable.

Fuente: Encuesta 2017.

## **CAPÍTULO 2**

### **PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO**

#### **2.1. Tipo de sistema**

Un sistema de alcantarillado es un conjunto de tuberías y obras complementarias necesarias para la recolección y transportación de las aguas residuales y/o pluviales. Dependiendo del diseño hay tres tipos: sistema de alcantarillado sanitario (para la recolección de aguas residuales desde su punto de origen), sistema de alcantarillado pluvial (destinado a la recolección de aguas lluvias) y el sistema de alcantarillado combinado (recolecta las aguas residuales y las aguas lluvia de un sector).

La selección del tipo de sistema de alcantarillado a diseñarse para una comunidad debe obedecer a un análisis técnico-económico que considere el sistema existente, si los hubiere, las características de las cuencas aportantes, el régimen de lluvias de la zona, las características del cuerpo receptor; posibles re usos del agua, etc. En fin se analizará todos los aspectos que conduzcan a la selección del sistema más apropiado a la realidad socio-económica del país (INEN 5, 2000).

Según el artículo 37 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, el alcantarillado pluvial y sanitario deben ser sistemas independientes, es decir, que no exista interconexión entre ellos, por este motivo los gobiernos autónomos descentralizados municipales exigirán la implementación de los sistemas en la infraestructura.

#### **2.2. Áreas de aportación**

Las áreas de aportación o conocidas también como tributarias sirven para zonificar el área en la que se desea realizar el proyecto basándose principalmente en la topografía, se deberán considerar los diversos usos de suelo, y además las zonas de futuro desarrollo.

#### **2.3. Parámetros de diseño**

Se establecerán parámetros, principalmente según las normas de ETAPA, que deben incluirse en todo el diseño y construcción del sistema de alcantarillado, para garantizar su buen funcionamiento en condiciones normales de utilización, brindando calidad y cantidad en cualquier tiempo.

### 2.3.1. Período de diseño

En obras de ingeniería civil, se entiende por período de diseño al número de años en el cual una obra prestará con eficiencia el servicio para el cual fue diseñado (López Cualla, 2001).

Si el período de diseño de un proyecto es corto, se requerirá una inversión inicial menor, pero luego se necesitarán inversiones periódicas de acuerdo con el crecimiento de la población. Por otra parte, la ejecución de un proyecto con un período de diseño mayor, significará una inversión inicial mayor, pero luego no se necesitarán inversiones por un buen tiempo. El (INEN 5, 2000, pág. 18), especifica que las obras civiles de los sistemas de agua potable o disposición de residuos líquidos, se diseñarán para un período de 20 años.

### 2.3.2. Dotación

La dotación es la cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio por cada habitante, en la tabla 2.3.2.2 se presentan las dotaciones con sus correspondientes niveles de servicio.

Tabla 2.3.2.1: niveles de servicio para niveles de abastecimiento de agua potable.

NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario
	EE	
Ia	AP	Grifos públicos
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa
	EE	Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa
	ERL	Sistema de alcantarillado sanitario
Simbología utilizada: AP: Agua potable EE: Eliminación de excretas ERL: Eliminación de residuos líquidos		

Fuente: (INEN 5, 2000)

Tabla 2.3.2.2: dotación para diferentes niveles de servicio.

NIVEL DE SERVICIO	CLIMA FRIO (l/hab*día)	CLIMA CALIDO (l/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Fuente: (INEN 5, 2000)

### 2.3.3. Caudal de diseño ( $Q_s$ )

Las aguas residuales que constituyen un sistema de alcantarillado sanitario son:

- Aguas residuales domésticas
- Aguas residuales industriales, comerciales e institucionales
- Aguas de infiltración
- Conexiones ilícitas

#### 2.3.3.1. Caudal de aguas residuales domésticas ( $Q_d$ )

López Cualla (2001), dice que el aporte a considerar es el caudal medio diario, el cual se define como la contribución durante un período de 24 horas, obtenida como el promedio durante un año. Cuando se dispone de datos de aportes de aguas residuales se cuantifica este aporte con base en el consumo de agua potable obtenido del diseño del acueducto.

El aporte doméstico de aguas residuales está dada por la siguiente expresión:

$$Q_d = M * \frac{P_f * Cr * D}{86400} \quad (\text{Ecu. 1})$$

Donde:

- $Q_d$ : Caudal de aguas residuales domésticas en l/s.
- $M$ : Factor de mayoración.
- $P_f$ : Población futura (hab)
- $Cr$ : Coeficiente de retorno de agua potable
- $D$ : Dotación (l/hab\*día)

El factor de mayoración ( $M$ ) se toma en cuenta como medida de seguridad por la razón de que en el día hay un mayor consumo de agua en ciertas horas, generalmente en la mañana, medio día y en las primeras horas de la noche, generando una mayor descarga a la red de alcantarillado; este factor se calcula mediante la fórmula de Hammond (ETAPA, 2016), que es la siguiente:

$$M = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}} \quad (\text{Ecu. 2})$$

Donde:

- $P$ : Población en miles de habitantes

Para determinar el coeficiente de retorno ( $Cr$ ) hay que tener en cuenta que no toda el agua que es consumida es devuelta al alcantarillado, debido a los diferentes usos de la misma como riegos, lavado de pisos, preparación de alimentos y otros, según ETAPA (2016), se recomienda que el coeficiente de retorno adopte un valor entre 0.8 – 0.9.

### 2.3.3.2. Caudal de aguas residuales industriales ( $Q_i$ )

De acuerdo con López Cualla (2001), este caudal depende del tipo y tamaño de industria, varían con el grado de recirculación de aguas y los procesos de tratamiento. Por lo tanto, los aportes de aguas residuales industriales  $Q_i$  deben ser determinados para cada caso en particular, con información obtenida mediante censos, encuestas y consumos industriales.

En el levantamiento de información mediante las encuestas socio-económicas en las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo, se determinó que no existen industrias cercanas a las mismas, por lo que no se tomará en cuenta en el cálculo del caudal sanitario.

### 2.3.3.3. Caudal de aguas residuales comerciales ( $Q_c$ )

López Cualla (2001), explica que para zonas comerciales, el caudal de aguas residuales comerciales  $Q_c$  debe estar justificado con un estudio detallado, basados en consumos diarios por persona, densidades de población en esas áreas y coeficientes de retorno mayores que los de consumo doméstico. En el presente

estudio no se consideró la aportación de este caudal por no existir locales comerciales.

#### 2.3.3.4. Caudal de aguas residuales institucionales ( $Q_{inst}$ )

El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de las mismas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios, universidades, hospitales, hoteles, etc. Los aportes de aguas residuales institucionales deben determinarse para cada caso en particular, basándose en información de consumos registrados en la localidad de entidades similares. Sin embargo para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse a partir de los valores por unidad de área institucional, para lo cual se podría utilizar un valor entre 0.4 y 0.5 l/s\*ha\*inst. Para la estimación de este caudal en las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo se considerará 0.45 l/s\*ha\*inst; en donde existe una escuela en cada comunidad de 0.271032 ha y 0.199927 ha respectivamente.

Tabla 2.3.3.4.1: caudal de aguas institucionales ( $Q_{inst}$ ).

Local institucional	Área medida (ha)	Contribución por local (l/s*ha*inst)	Caudal (l/s)
Escuela (La Dolorosa)	0.271032	0.45	0.12196
Escuela (Hatobolo)	0.199927	0.45	0.08997

Fuente: Autores.

#### 2.3.3.5. Caudal por conexiones ilícitas ( $Q_{ili}$ )

Este caudal se da como resultado de las conexiones de aguas lluvias domiciliarias y conexiones clandestinas; ETAPA (2016) en sus especificaciones técnicas de diseño de redes de alcantarillado, nos sugiere adoptar un valor de 115 l/hab\*día.

#### 2.3.3.6. Caudal por infiltración ( $Q_{inf}$ )

El caudal debido a la infiltración es aquel que proviene de las aguas presentes en el subsuelo principalmente freáticas y aguas lluvias, las cuales ingresan a las redes de alcantarillado a través de las uniones entre tuberías, fisuras en los tubos, tapas de



los pozos de revisión, cajas domiciliarias, etc. De acuerdo a las especificaciones técnicas de ETAPA (2016), se recomienda usar el valor de  $1 \text{ l/s} \cdot \text{Km}$ .

#### **2.3.4. Profundidades**

La red de alcantarillado sanitario se diseñará de manera que todas las tuberías pasen por debajo de las de agua potable debiendo dejarse una altura libre proyectada de 0,3 m cuando ellas sean paralelas y de 0,2 m cuando se crucen, además de garantizar su seguridad ante los esfuerzos generados por las cargas exteriores.

#### **2.3.5. Diámetros de tubería**

ETAPA (2016), recomienda que el diámetro mínimo de las redes de alcantarillado sanitario sea de 0.2 m y para conexiones domiciliarias de los sistemas sanitarios de 0.1 m con una pendiente mínima del 2%. Además siempre que sea posible la red sanitaria deberá ser colocada en la calzada opuesta a la que ha instalado la tubería de agua potable, es decir, generalmente al sur y al oeste del cruce de los ejes.

#### **2.3.6. Velocidades**

Las velocidades mínimas admisibles en las redes durante cualquier año de un periodo de diseño nunca deben ser menores que 0.45 m/s, pero preferiblemente que sea mayor a 0.6 m/s para impedir la acumulación de gas sulfhídrico en el líquido, responsable del olor característico a huevo podrido de las aguas residuales, genera problemas de corrosión en las tuberías y es tóxico para los seres humanos (Metcalf y Eddy, 1995).

Según la norma urbana para estudios y diseño de sistemas de agua potable y disposición de excretas. Las velocidades máximas admisibles en tuberías o colectores dependen del material de fabricación. Se presenta a continuación la tabla con los distintos valores de velocidad máxima y rugosidad.

Tabla 2.3.6.1: velocidades máximas a tubo lleno y coeficientes de rugosidad.

MATERIAL	VELOCIDAD MÁXIMA m/s	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
Hormigón simple:		
Con uniones de mortero.	4	0.013
Con uniones de neopreno para nivel freático alto	3.5 - 4	0.013
Asbesto cemento	4.5 - 5	0.011
Plástico	4.5	0.011

Fuente: (INEN, 2000)

### 2.3.7. Rugosidad

La rugosidad de las redes de alcantarillado dependerá del tamaño y textura de la pared, generalmente se considera un único valor de  $n$ , sin embargo, en una misma sección de un canal pueden existir diferentes rugosidades, esto se debe a la presencia de agregados gruesos en el fondo y finos en las orillas (Sotelo Ávila, 2002).

### 2.3.8. Pendiente mínima

En general las tuberías y colectores deberán seguir las pendientes naturales del terreno y formaran las mimas hoyas primarias y secundarias que aquel. En general se proyectarán como canales o conductos sin presión y se calcularan tramo a tramo (INEN, 2000).

## 2.4. Análisis poblacional

### 2.4.1. Población actual

La población para el diseño se determinará en base a la población presente mediante un recuento poblacional, el cual se determinó para las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo mediante los datos recopilados en las encuestas, estableciéndose una muestra de 103 familias y una población actual de 414 habitantes, con una media de 4 personas por familia.

### 2.4.2. Población futura

Según datos obtenidos del PDOT del 2010, donde mediante proyecciones del INEC la población de las comunidades tiene una tendencia creciente, pero la tasa de crecimiento cada vez menor. Para el período 2010-2020. El período inicia con una tasa de crecimiento de 1%, mientras que al final del período la tasa de crecimiento disminuye a 0,66%.

El sistema de alcantarillado debe tener la capacidad suficiente para abastecer a la población en desarrollo. Considerando que en el sector rural es complicado estimar una población futura, principalmente por la migración de sus habitantes y por la falta de información de las comunidades.

Por este motivo, considerando la amplitud de la población se optó por utilizar el método de proyección geométrico debido a que es el más recomendado en casos donde la población sea menor a 1000 habitantes.

Según la NORMA CO 10.7 – 602 se adoptó 1% como índice de crecimiento geométrico, el mismo que está establecido según la región geométrica. Véase en la tabla 2.4.2.1.

Tabla 2.4.2.1 índices de crecimiento poblacional.

REGIÓN GEOGRÁFICA	r (%)
Sierra	1.0
Costa, Oriente, Galápagos	1.5

Fuente: NORMA CO 10.7 - 602

$$Pb_t = Pb_0 * (TCPG + 1)^a \quad (\text{Ecu. 3})$$

Donde:

$Pb_t$ : Población en el año corriente

$Pb_0$ : Población en el año base

$a$ : Amplitud

Remplazando valores, obtenemos:

$Pb_0 = 414$  habitantes

$$Pb_t = 414 * \left(\left(\frac{1}{100}\right) + 1\right)^{20}$$

$$Pb_t = 506 \text{ habitantes}$$

### 2.4.3. Densidad poblacional

Este factor no es más que el número de personas que habitan en una extensión de terreno, generalmente un hectárea donde se determina una población a servir conjuntamente con las áreas de aporte (López Cualla, 2001).

$$Dp = \frac{P}{A} \quad (\text{Ecu. 4})$$

Donde:

***Dp***: Densidad poblacional (hab/ha)

***P***: Población (hab)

***A***: Área Tributaria (ha)

### 2.5. Hidráulica de redes de alcantarillado

Los sistemas de recolección de aguas servidas se diseñan, generalmente, para trabajar en condiciones de flujo libre por gravedad. El funcionamiento hidráulico en los alcantarillados obedece a flujo o permanente. No obstante dadas las consideraciones de evaluación de caudales del sistema para cálculo hidráulico de colectores se puede suponer que el flujo es permanente y uniforme, de esta manera su análisis se puede realizar utilizando las ecuaciones para flujo permanente (Ruiz, 2008).

$$V = C \times \sqrt{S \times R} \quad (\text{Ecu. 5})$$

Donde:

***V***: Velocidad media del agua en flujo uniforme (m/s)

***C***: Coeficiente de resistencia o fricción

***S***: Pendiente de la línea de energía en flujo uniforme, en el fondo del canal.

***R***: Radio hidráulico

Esa ecuación obtenida por Chezy en 1775, no pudo ser utilizada por la dificultad de obtener un valor confiable para el coeficiente *C*.

### 2.5.1. Estimación de coeficientes de resistencia o fricción “C”

Por la dificultad que se tiene para obtener el valor de “C” para la fórmula de Chezy, se han realizado diferentes investigaciones. Se obtiene en función del radio hidráulico R, la pendiente del canal y de la naturaleza de las paredes de canal.

#### 2.5.1.1. Formula de Kutter

En 1869, Gangillet y Kutter, ingenieros suizos, realizaron una investigación compleja de todos los experimentos disponibles sobre conductos abiertos, como resultado de estos estudios, dedujeron una fórmula empírica para calcular el coeficiente de resistencia “C” en la fórmula de Chezy (Ruiz, 2008).

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}} \left( 23 + \frac{0.00155}{S} \right)} \quad (\text{Ecu. 6})$$

Donde:

**S:** pendiente longitudinal del canal

**N:** coeficiente de rugosidad del material

**R:** radio hidráulico de canal

Para pendientes del canal más indicados que 0.001 puede utilizarse sin incurrir en errores mayores que la que son inherentes al uso de la fórmula (Ruiz, 2008).

#### 2.5.1.2. Ecuación de Bazin

En 1897, el ingeniero hidráulico francés H. Bazin propuso una ecuación para calcular el valor de C de Chezy el cual se consideraba como una función de R pero no de la pendiente del canal (S) (Ruiz, 2008).

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad (\text{Ecu. 7})$$

### 2.5.1.3. Ecuación de Manning

En 1889 el ingeniero irlandés Robert Manning presenta una ecuación para determinar el valor de “C”, en función del radio hidráulico y la rugosidad del material de que se construya el canal (Ruiz, 2008).

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (\text{Ecu. 8})$$

### 2.6. Flujo en tuberías a sección llena

Por razones prácticas, generalmente se determina las características hidráulicas para el colector trabajando a sección llena y se establecen posteriormente relaciones de los mismos elementos hidráulicos para diferentes alturas de aguas en el colector. Estas relaciones se han denominado relación de elementos hidráulicos y se refieren al caudal, perímetro mojado, área mojada, radio hidráulico, rugosidad, velocidad, y tirantes de agua (Arrocha Ravelo, 1983).

- Tirante de agua: (H) será igual al diámetro del colector.  $H=D$
- Perímetro mojado  $= \pi D$  (Ecu. 9)
- Área mojada  $= \frac{\pi D^2}{4}$  (Ecu. 10)
- Radio hidráulico  $= \frac{\pi D^{2/4}}{\pi D} = \frac{D}{4}$  (Ecu. 11)
- Velocidad  $= V = \frac{1}{n} r^{2/3} S^{1/2}$  (Ecu. 12)
- Gasto o caudal  $Q = V \times A$  (Ecu. 13)
- $Q = \frac{\pi}{n} r^{4/3} S^{1/2}$  (Ecu. 14)

### 2.7. Flujo en tuberías a sección parcialmente llena

El flujo normal en conductos circulares de alcantarillado es a sección parcialmente llena como podemos apreciar en la Figura 2.7.1. Por razones prácticas en primer lugar se determinan las características hidráulicas para conductos trabajando a sección llena y luego relaciones para diferentes alturas de agua en los conductos. A estas relaciones se les denomina relación de elementos hidráulicos como: caudal, perímetro mojado, área mojada, radio hidráulico, rugosidad, velocidad y tirantes de agua y se los puede encontrar en monogramas, figuras o tablas (Arrocha Ravelo, 1983).

Se describen los elementos hidráulicos para flujo a sección parcialmente llena, en función de  $\theta$  a partir de la siguiente figura:

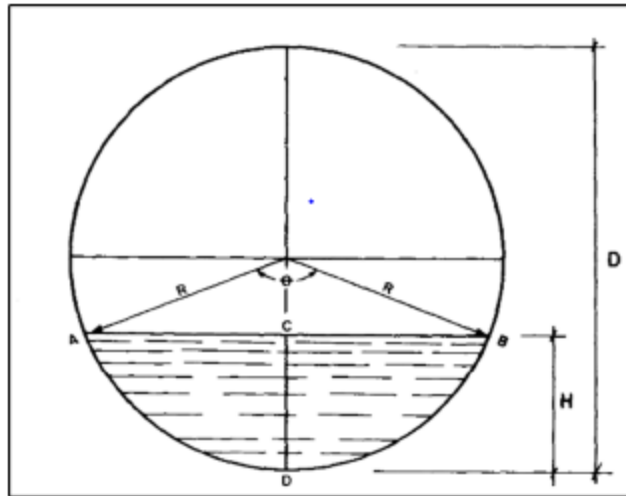


Figura 2.7.1: flujo de agua a sección parcialmente llena.

Fuente: (Arrocha Ravelo, 1983)

De acuerdo a ETAPA (2016), para los cálculos hidráulicos se diseña con una sección parcialmente llena con capacidad máxima del 80% de la sección del tramo, es decir:

$$\frac{d}{D} = 0,80 \quad (\text{Ecu. 15})$$

### Tirante de agua

$$H = \frac{D}{2} \left( 1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \quad (\text{Ecu. 16})$$

Donde:

- **D**: Diámetro (m)
- **H**: Tirante de agua a sección parcialmente llena (m)
- **θ**: Ángulo central en grados

### Perímetro mojado

$$P = \frac{\pi \times D \times \theta}{360^\circ} \quad (\text{Ecu. 17})$$

**Área mojada**

$$a = \frac{D^2}{8} \left( \frac{\pi}{180^\circ} \theta - \sin \theta \right) \quad (\text{Ecu. 18})$$

**Radio hidráulico**

$$Rh = \frac{a}{P} = \frac{\frac{D^2}{8} \left( \frac{\pi}{180^\circ} \theta - \sin \theta \right)}{\frac{\pi \times D \times \theta}{360^\circ}} = \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{180^\circ \sin \theta}{\pi \theta} \right) \quad (\text{Ecu. 20})$$

**La velocidad**

$$v = \frac{0.397 \times D^{2/3}}{n} \left( 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{Ecu. 21})$$

**Caudal o gasto**

$$q = \frac{D^{8/3}}{7\,257.15 \times n \times (2\pi\theta)^{2/3}} (2\pi\theta - 360 \sin \theta)^{5/3} S^{1/2} \quad (\text{Ecu. 22})$$

Entonces las relaciones quedan establecidas de la siguiente manera:

$$\frac{v}{V} = \left( 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{2/3} \quad (\text{Ecu. 23})$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{a}{A} \times \frac{v}{V} \quad (\text{Ecu. 24})$$

$$\frac{q}{Q} = \left( \frac{\theta - \sin \theta}{2\pi} \right) \left( 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{2/3} \quad (\text{Ecu. 25})$$

A partir de estas ecuaciones se obtienen las relaciones fundamentales  $v/V$  y  $q/Q$ , sin embargo para cada variable (caudal, velocidad) existen dos curvas diferentes, una para un coeficiente de rugosidad constante y otra para el coeficiente de rugosidad variable en función de la altura, presentándose una pequeña variación que se debe considerar para un adecuado diseño (Arrocha Ravelo, 1983).



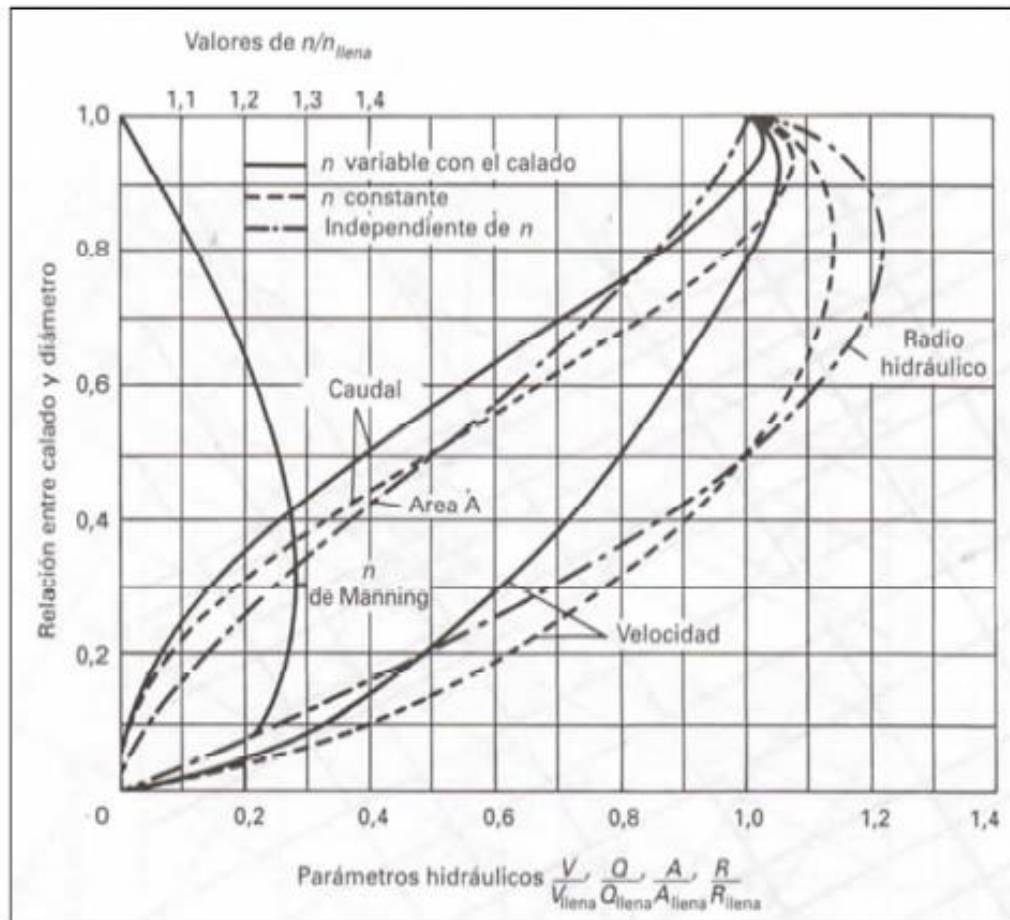


Figura 2.7.2: parámetros hidráulicos de conductos de sección circular.

Fuente: (Metcalf y Eddy, 1995)

A partir de la figura anterior se obtienen valores de  $n/n$  llena en función de  $H/D$ , con los cuales se puede determinar una ecuación a través de una línea de tendencia polinómica con la que podemos obtener con mayor precisión las relaciones  $v/V$  y  $q/Q$ .

Tabla 2.7.1:  $n/n$  llena en función de  $H/D$ .

H/D	n/n llena
0.1	0.82
0.2	0.79
0.3	0.78
0.4	0.78
0.5	0.8
0.6	0.82
0.7	0.85
0.8	0.89
0.9	0.93
1	1

Fuente: (Arrocha Ravelo, 1983)

Con el gráfico de dispersión se obtendría una mayor exactitud en las relaciones  $v/V$  y  $q/Q$  quedando de la siguiente manera y para los diferentes  $H/D$  se puede observar en la tabla 2.7.2.

$$\frac{v}{V} = \frac{n}{n \text{ llena}} \times \left(\frac{rh}{RH}\right)^{2/3} \quad (\text{Ecu. 26})$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{n}{n \text{ llena}} \times \frac{a}{A} \times \left(\frac{rh}{RH}\right)^{2/3} \quad (\text{Ecu. 27})$$

Tabla 2.7.2: propiedades hidráulicas de conductos circulares.

H/D	$\theta^\circ$	n constante		n variable		
		q/Q	v/V	n/n llena	q/Q	v/V
0.01	0.57	0	0	0.878	0	0
0.02	32.52	0.001	0.141	0.869	0.001	0.122
0.03	39.90	0.002	0.184	0.861	0.001	0.158
0.04	46.15	0.003	0.222	0.854	0.003	0.190
0.05	51.68	0.005	0.257	0.847	0.004	0.218
0.06	56.72	0.007	0.289	0.841	0.006	0.243
0.07	61.37	0.010	0.319	0.835	0.008	0.267
0.08	65.72	0.013	0.348	0.830	0.011	0.289
0.09	69.83	0.017	0.375	0.825	0.014	0.309
0.1	73.74	0.021	0.401	0.820	0.017	0.329
0.11	77.48	0.025	0.426	0.816	0.021	0.348
0.12	81.07	0.031	0.450	0.812	0.025	0.365
0.13	84.54	0.036	0.473	0.808	0.029	0.382
0.14	87.89	0.042	0.495	0.805	0.034	0.399
0.15	91.15	0.049	0.517	0.802	0.039	0.414
0.16	94.31	0.056	0.538	0.799	0.044	0.430
0.17	97.40	0.063	0.558	0.796	0.050	0.444
0.18	100.42	0.071	0.577	0.794	0.056	0.459
0.19	103.37	0.079	0.597	0.792	0.062	0.472
0.2	106.26	0.088	0.615	0.790	0.069	0.486
0.21	109.10	0.097	0.633	0.788	0.076	0.499
0.22	111.89	0.106	0.651	0.787	0.083	0.512
0.23	114.63	0.116	0.668	0.785	0.091	0.524
0.24	117.34	0.126	0.684	0.784	0.099	0.536
0.25	120.00	0.137	0.701	0.783	0.107	0.548
0.26	122.63	0.148	0.717	0.782	0.116	0.560
0.27	125.23	0.159	0.732	0.781	0.125	0.572
0.28	127.79	0.171	0.747	0.780	0.134	0.583
0.29	130.33	0.183	0.762	0.780	0.143	0.594
0.3	132.84	0.196	0.776	0.779	0.153	0.605
0.31	135.33	0.209	0.790	0.779	0.163	0.616
0.32	137.80	0.222	0.804	0.779	0.173	0.626
0.33	140.25	0.235	0.817	0.779	0.183	0.637
0.34	142.67	0.249	0.830	0.779	0.194	0.647
0.35	145.08	0.263	0.843	0.779	0.205	0.657
0.36	147.48	0.277	0.855	0.780	0.216	0.667
0.37	149.86	0.292	0.868	0.780	0.228	0.677
0.38	152.23	0.307	0.879	0.781	0.239	0.687
0.39	154.58	0.322	0.891	0.782	0.251	0.696
0.4	156.93	0.337	0.902	0.782	0.264	0.706

0.41	159.26	0.353	0.913	0.783	0.276	0.715
0.42	161.59	0.368	0.924	0.784	0.289	0.725
0.43	163.90	0.384	0.934	0.786	0.302	0.734
0.44	166.22	0.400	0.944	0.787	0.315	0.743
0.45	168.52	0.417	0.954	0.788	0.328	0.752
0.46	170.82	0.433	0.964	0.790	0.342	0.761
0.47	173.12	0.450	0.973	0.791	0.356	0.770
0.48	175.42	0.466	0.983	0.793	0.370	0.779
0.49	177.71	0.483	0.991	0.795	0.384	0.788
0.5	180.00	0.500	1.000	0.797	0.398	0.797
0.51	182.29	0.517	1.008	0.799	0.413	0.806
0.52	184.58	0.534	1.016	0.801	0.428	0.814
0.53	186.88	0.551	1.024	0.803	0.443	0.823
0.54	189.18	0.568	1.032	0.805	0.458	0.831
0.55	191.48	0.586	1.039	0.808	0.473	0.840
0.56	193.78	0.603	1.046	0.810	0.489	0.848
0.57	196.10	0.620	1.053	0.813	0.504	0.856
0.58	198.41	0.637	1.060	0.816	0.520	0.864
0.59	200.74	0.655	1.066	0.818	0.536	0.872
0.6	203.07	0.672	1.072	0.821	0.552	0.880
0.61	205.42	0.689	1.078	0.824	0.568	0.888
0.62	207.77	0.706	1.084	0.827	0.584	0.896
0.63	210.14	0.723	1.089	0.830	0.600	0.904
0.64	212.52	0.740	1.094	0.833	0.616	0.911
0.65	214.92	0.756	1.099	0.836	0.632	0.919
0.66	217.33	0.773	1.104	0.839	0.648	0.926
0.67	219.75	0.789	1.108	0.842	0.665	0.933
0.68	222.20	0.806	1.112	0.845	0.681	0.940
0.69	224.67	0.821	1.116	0.849	0.697	0.947
0.7	227.16	0.837	1.120	0.852	0.713	0.954
0.71	229.67	0.853	1.123	0.855	0.729	0.961
0.72	232.21	0.868	1.126	0.859	0.745	0.967
0.73	234.77	0.883	1.129	0.862	0.761	0.973
0.74	237.37	0.898	1.131	0.866	0.777	0.979
0.75	240.00	0.912	1.133	0.869	0.793	0.985
0.76	242.66	0.926	1.135	0.873	0.808	0.991
0.77	245.37	0.939	1.137	0.876	0.823	0.996
0.78	248.11	0.953	1.138	0.880	0.838	1.002
0.79	250.90	0.965	1.139	0.884	0.853	1.007
0.8	253.74	0.977	1.140	0.887	0.867	1.011
0.81	256.63	0.989	1.140	0.891	0.882	1.016
0.82	259.58	1.000	1.140	0.895	0.896	1.021
0.83	262.60	1.011	1.139	0.899	0.909	1.025

0.84	265.69	1.021	1.139	0.903	0.922	1.029
0.85	268.85	1.030	1.137	0.908	0.935	1.032
0.86	272.11	1.039	1.136	0.912	0.948	1.036
0.87	275.46	1.047	1.134	0.916	0.960	1.039
0.88	278.93	1.054	1.131	0.921	0.971	1.042
0.89	282.52	1.060	1.128	0.926	0.982	1.045
0.9	286.26	1.066	1.124	0.931	0.992	1.047
0.91	290.17	1.070	1.120	0.936	1.002	1.049
0.92	294.28	1.073	1.115	0.942	1.011	1.050
0.93	298.63	1.075	1.109	0.948	1.019	1.051
0.94	303.28	1.076	1.103	0.954	1.026	1.052
0.95	308.32	1.075	1.095	0.960	1.032	1.052
0.96	313.85	1.071	1.086	0.967	1.036	1.050
0.97	320.10	1.066	1.075	0.975	1.039	1.048
0.98	327.48	1.057	1.062	0.982	1.038	1.043
0.99	337.04	1.042	1.044	0.991	1.032	1.034
1	360.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Autores.

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO

#### 3.1. Generalidades

Toda red de alcantarillado está constituida principalmente por dos partes: la primera son las tuberías que sirven para conducción del agua, y la segunda son los elementos complementarios. La finalidad de las instalaciones complementarias de un sistema de alcantarillado son asegurar el comportamiento adecuado de la red y mantener en buenas condiciones de funcionamiento.

Entre las instalaciones complementarias utilizadas en la red de alcantarillado podemos encontrar:

- Pozos de revisión
- Conexiones domiciliarias
- Cámaras de descarga
- Sumideros
- Sifones invertidos

#### 3.2. Pozos de revisión

Los pozos de revisión son estructuras que permiten el acceso desde la calle al interior de un sistema de alcantarillado, generalmente sirve para permitir el ingreso del personal de limpieza y mantenimiento.

De acuerdo a la INEN 5 (2000) se recomienda:

Colocar pozos de revisión en todos los cambios de pendiente, cambios de dirección, exceptuando el caso de alcantarillas curvas y en las confluencias de los colectores, evitando el ingreso de escorrentía pluvial y si esto es inevitable se diseñarán tapas herméticas especiales que impidan el ingreso de escorrentía pluvial.

La distancia máxima entre los pozos de revisión para diámetros menores a 350 mm será de 100 m; para diámetros entre 400 mm y 800 mm será de 150 m y diámetros mayores a 800 mm será 200 m y para cualquier diámetro, los pozos podrán colocarse a distancias mayores, dependiendo de las condiciones del proyecto y sus características topográficas y urbanísticas, considerando una longitud máxima entre pozos que no debe exceder a la permitida por los equipos de limpieza.

La abertura superior del pozo será como mínimo de 0.6 m. El cambio de diámetro desde el cuerpo del pozo hasta la superficie se hará preferiblemente usando un tronco de cono excéntrico, para facilitar el descenso al interior del pozo.

El diámetro del cuerpo del pozo estará en función del diámetro de la máxima tubería conectada al mismo, como se observa en la tabla 3.2.1

Tabla 3.2.1. relación diámetro de la tubería y diámetro de pozo.

DIÁMETRO DE LA TUBERÍA mm	DIÁMETRO DEL POZO m
Menor o igual a 550	0,9
Mayor a 550	Diseño especial

Fuente: (INEN 5, 2000)

Para acceder al alcantarillado a través de los pozos, estos irán provistos de una escalera de acceso mediante el empotramiento de peldaños de hierro, con un diámetro de 18 mm, y recubiertos por dos manos de pintura anticorrosiva.

El brocal y la tapa de los pozos de revisión, serán estructuras prefabricadas de hormigón armado ( $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$ ) que irán colocados sobre el cono del pozo; el brocal servirá para proporcionar a la tapa un espacio adecuado y confinado.

Para el caso de las conexiones domiciliarias se deberán cumplir con los criterios del literal 2.3.4 y se iniciara con una estructura, denominada caja de revisión o caja domiciliaria, a la cual llegara la conexión intradomiciliaria, con el objetivo de permitir las acciones de limpieza de la conexión domiciliaria, con profundidades según cada caso y su entrada al pozo de revisión será una tubería en un ángulo de 45 grados respecto al eje principal del flujo.

### 3.3. Sistema de alcantarillado sanitario y condominial

El diseño de las redes de alcantarillado sanitario para las comunidades antes mencionadas tiene por finalidad recolectar, transportar y disponer las aguas residuales, considerando las recomendaciones mencionadas en capítulos anteriores, se diseña la red de alcantarillado según la distribución espacial de la población y por los caminos más convenientes topográficamente, trabajando únicamente a gravedad y no a presión.

Debido a la distribución dispersa de los habitantes de ambas comunidades se optó por diseñar una red principal que sigue la vía de acceso a las comunidades y tramos de una red condominial que posteriormente se conectara a la red principal.

Una red condominial es un sistema concebido para recolectar, evacuar y transportar las aguas servidas, la diferencia con un sistema convencional es que la red no rodea las manzanas sino que consiste en un ramal de pequeños diámetros y poca profundidad, que recoge las aguas servidas de un conjunto de viviendas, para luego conectarse a la red principal en un único punto, permitiendo de esta manera un considerable ahorro de tubería (Programa de Agua y Saneamiento, 2001).

En general se recomiendan profundidades no menores a 1.20 metros para ramales principales y en el caso de conexiones intradomiciliarias no menores a 0.50 metros, sin embargo, pueden existir excepciones (MIDUVI, 2008).

A continuación, se resumen los parámetros establecidos para el diseño de las redes de alcantarillado sanitario y condominial.

Tabla 3.3.1: parámetros de diseño del alcantarillado sanitario.

PARAMETROS DE DISEÑO			
			PVC
Datos de Diseño	Símbolo	Unidad	Valor
Dotación media futura	<b>Dmf</b>	l/hab.día	75
Coefficiente de retorno	<b>C</b>	adim.	0.9
Población actual	<b>Pa</b>	hab	414
Población futura	<b>Pf</b>	hab	506
Caudal por conexiones ilícitas	<b>Q ili</b>	l/hab.día	115
Caudal de infiltración	<b>Q inf</b>	l/s.km	1
Velocidad máxima	<b>Vmax</b>	m/s	4.5
Velocidad mínima	<b>Vmin</b>	m/s	0.45
Máxima altura/diámetro	<b>y/D</b>	adim.	0.80
Profundidad mínima pozo de revisión	<b>h</b>	m	1.50
Caudal mínimo sanitario	<b>Qd min</b>	l/s	2.2
Material de la tubería	<b>n</b>	rugosidad	0.011
Pendiente mínima	<b>S</b>	%	1

Fuente: Autores.



Tabla 3.3.2: parámetros de diseño del alcantarillado condominial.

PARAMETROS DE DISEÑO			
			PVC
Datos de Diseño	Símbolo	Unidad	Valor
Dotación media futura	<b>Dmf</b>	l/hab.día	75
Coefficiente de retorno	<b>C</b>	adim.	0.9
Caudal por conexiones ilícitas	<b>Q ili</b>	l/hab.día	115
Caudal de infiltración	<b>Q inf</b>	l/s.km	1
Velocidad máxima	<b>Vmax</b>	m/s	4.5
Velocidad mínima	<b>Vmin</b>	m/s	0.45
Máxima altura/diámetro	<b>y/D</b>	adim.	0.80
Profundidad mínima pozo de revisión	<b>h</b>	m	1.20
Caudal mínimo sanitario	<b>Qd min</b>	l/s	2.2
Material de la tubería	<b>n</b>	rugosidad	0.011
Pendiente mínima	<b>S</b>	%	1

Fuente: Autores.

Según los parámetros establecidos en las tablas 3.3.1 y 3.3.2 se realiza el diseño de las redes de alcantarillado sanitario y condominial para las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo, obteniéndose los siguientes resultados:

- La red está conformada por la conducción principal, que sigue la vía que conecta las comunidades, tramos a través de quebradas que conducen el agua residual hacia la planta y pequeñas redes condominiales.
- Un diámetro de 200 mm de PVC, resultó adecuado para conducir todo el caudal sanitario.
- Para las redes condominiales se utilizó un diámetro de 160 mm, tuberías que se conectan a la red principal, las redes que conectan las casas con la red condominial son de 110 mm, conformados por pozos domiciliarios de tubos de hormigón de un diámetro de 300 mm.
- El material para la red condominial será de PVC, por su flexibilidad y poca profundidad de la red que seguirá topográficamente la ruta más corta y adecuada, obteniéndose en lo posible las excavaciones mínimas en su construcción de manera que disminuyan los costos de la misma.
- Se garantizaron las pendientes adecuadas tratando de minimizar las excavaciones, cumpliendo con la pendiente mínima del 1 %, además se trabajó dentro del rango de velocidades permitidas para tuberías de PVC.

- Para el diseño de las redes de alcantarillado se utilizó la normativa descrita en la bibliografía, ya que no existe ninguna actualización de la misma.
- Los cálculos y resultados de las redes de alcantarillado condominial y sanitario se detallan en el anexo 4.
- Los planos de los diseños de la red de alcantarillado sanitario y condominial en planta y perfil se pueden observar en el anexo 5.
- Un tramo de alcantarillado proveniente de la comunidad de Hatobolo debe cruzar por debajo de una quebrada, para lo cual se ha optado por encamisar la tubería y colocar piedra alrededor del encamisado, como se detalla en el anexo 6.
- La red de alcantarillado atraviesa lugares en los que sus tramos quedan superficiales por lo que se recomienda encamisar la tubería; lo mismo que se deberá realizar con dimensiones de 30 x 30 cm, con Hormigón Simple de una resistencia  $f'c = 300kg/cm^2$  y una malla electro soldada R-84, de manera que esta protección cubra toda la tubería.
- Durante la conducción de las aguas residuales a la planta de tratamiento se necesita cruzar el río Bolo 2 veces, esto se lo realizará con la ayuda de estructuras colgantes; cuyo diseño ha sido tomado de la USAID, sus planos y detalles se observan en el Anexo 6.

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

#### **4.1. Generalidades**

Las aguas residuales son un producto inevitable de las actividades humanas, generadas en toda comunidad durante los diferentes usos del agua potable, contaminándola y cambiando sus características iniciales.

Romero Rojas (2008), define algunos términos importantes relacionados con el tratamiento de aguas residuales como:

**Aguas residuales** son aquellas aguas y sólidos usados que de cualquier manera se introducen en las cloacas y son transportados a través del sistema de alcantarillado.

**Aguas residuales domésticas (ARD)** son aquellas aguas originadas en viviendas, residencias, edificios comerciales e institucionales.

**Aguas residuales municipales** son los residuos líquidos transportados a través del sistema de alcantarillado de una ciudad o población para luego ser tratados en una planta de tratamiento municipal.

**Aguas residuales industriales** son aquellas aguas residuales provenientes de las descargas de las diferentes industrias.

**Aguas negras** este término es utilizado para referirse a las aguas residuales originadas en los inodoros, es decir, las aguas que transportan los excrementos humanos y orina; compuestos generalmente por sólidos suspendidos, nitrógeno y coniformes fecales.

**Aguas grises** este término se refiere a las aguas residuales originadas en tinas, duchas lavamanos y lavadora, es decir, toda agua residual doméstica excluyendo la de los inodoros; compuesta generalmente por: sólidos suspendidos, fósforo, grasas, coniformes fecales y DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

#### **4.2. Caracterización de aguas residuales**

Para la caracterización de aguas residuales existen algunas maneras de hacerlo, cuyo resultado depende del propósito del agua residual, por otro lado el muestreo debe ser representativo en relación a la muestra y además se debe considerar un

correcto análisis de laboratorio que cumpla con las normas estándar y sobre todo que garanticen precisión y exactitud en los resultados.

En las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo no se encontró ninguna descarga directa en un cuerpo receptor, por lo que se tomó muestras directas en fosas sépticas, sin olvidar que las muestras instantáneas o simples son fácilmente aplicables cuando el flujo del agua residual no es continuo y la descarga de contaminantes es intermitente (Romero Rojas, 2008).

El fin de los estudios de caracterización de aguas residuales es determinar las características físicas, químicas y biológicas del agua, como también las concentraciones de los constituyentes del agua residual, y así poder seleccionar los procesos óptimos para reducir las concentraciones de los contaminantes, en definitiva, la caracterización es la base para el diseño de cualquier instalación donde se aplique un tratamiento (Metcalf y Eddy, 1995).

Las muestras se tomaron en dos fosas sépticas, pertenecientes a habitantes de las comunidades. Estas se tomaron en un recipiente de 1 galón para el análisis químico y en dos recipientes de 100 ml para la parte biológica, los recipientes deben garantizar no alterar las mismas y además deben ser seguros para un correcto traslado hasta las instalaciones de los laboratorios para su respectivo análisis.

En la tabla 4.2.1, se presenta un resumen de los resultados de algunos parámetros de la caracterización de las aguas residuales realizada en los laboratorios de ETAPA EP.

Tabla 4.2.1: resultados de caracterización de aguas residuales.

Parámetro	Método	Fecha realización	Unidades	Agua residual 320/01/17
<b>DBO5</b>	PEE/LS/FQ/01	2017/07/28 2017/08/02	mg/l	380
<b>DQO</b>	PEE/LS/FQ/06	2017/07/28	mg/l	1066
<b>Sólidos totales</b>	PEE/LS/FQ/05	2017/07/28	mg/l	1325
<b>Coliformes totales</b>	SM 9221 E	2017/07/30	NMP/100 ml	2.30E+07

Fuente: Autores.

Luego de analizar los resultados se observa que los valores no se aproximan a los valores promedio de una concentración típica de aguas residuales domésticas; por lo que se optó en utilizar para el diseño de la planta los valores del resultado descrito anteriormente y los valores más representativos del agua residual afluente al sistema de lagunas de estabilización de la ciudad de Cuenca, de manera que podamos tener una visión más clara de que pasaría con el funcionamiento de la planta en casos desfavorables.

Tabla 4.2.2: valores promedio de la caracterización del agua residual al ingreso a las lagunas de estabilización de Ucubamba.

Parámetros	Unidad	Valor promedio
<b>DBO5</b>	mg/l	115
<b>DQO</b>	mg/l	280
<b>Relación DQO/DBO</b>	---	2.6
<b>Sólidos en suspensión totales (SST)</b>	mg/l	201
<b>Sólidos sedimentables</b>	mg/l	2.6
<b>Coliformes fecales</b>	NPM/100ml	1.30E+07
<b>Coliformes Totales</b>	NPM/100ml	3.70E+07

Fuente: (ETAPA, 2016)

### 4.3. Sistema de depuración de aguas residuales

Un sistema de depuración de aguas residuales hace referencia a la purificación o remoción de cualquier tipo de sustancias contenidas en las mismas tanto físicas, químicas y biológicas, con el objetivo de proteger la salud y promover el bienestar de los pobladores.

Las características físicas de agua residual son todas las relacionadas con el contenido total de sólidos, materia en suspensión, materia sedimentable, materia coloidal y materia disuelta, además de parámetros como turbiedad, color, olor y densidad.

Las características químicas hacen referencia a la materia orgánica, la medición de su contenido orgánico, la materia inorgánica y los gases, donde se identifican principalmente parámetros como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) que representa la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable, DQO (Demanda Química de Oxígeno) usado generalmente para medir el contenido orgánico presente, y por otro

lado el fósforo importante para análisis de nutrientes, importante en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Por último las características biológicas del agua residual son muy importantes en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano y el papel principal de los microorganismos y las bacterias en la estabilización de la materia orgánica, aquí se distinguen parámetros relacionados a organismos patógenos, microorganismos y bacterias, donde tiene mayor importancia la bacteria coliforme ya que es un indicador de la posible presencia de organismos patógenos (Metcalf y Eddy, 1995).

Para una adecuada depuración de las aguas residuales se deben utilizar las técnicas apropiadas teniendo en cuenta que la complejidad de un sistema de depuración depende de los parámetros propuestos de remoción. Es por esto que al contar con un gran número de alternativas para el tratamiento de las aguas residuales se distinguen varios tipos de tratamiento principalmente un primario y un secundario (Romero Rojas, 2008).

Por otra parte es importante mencionar que tenemos dos procesos distintos para tratar las aguas residuales. El proceso aerobio que consiste en la descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno; y el proceso anaerobio que es la descomposición u oxidación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.

#### **4.3.1. Tratamiento primario**

De acuerdo al anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2014), el tratamiento primario se refiere a la remoción parcial de los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual, mediante operaciones físicas tales como: sedimentación, filtración, mezclado y desarenado. Sin embargo en algunos casos es necesario operaciones preliminares para dar un pre-tratamiento a las aguas residuales con el objetivo de remover aquellos constituyentes que puedan causar dificultades en la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.

## Fosa séptica

Las fosas sépticas son cámaras construidas para retener las aguas residuales domésticas, por un periodo específico de tiempo, con el motivo de permitir la decantación de los sólidos, retención de material graso contenido en la superficie de las aguas residuales, y transformándolos en sustancias o compuestos simples y estables (Athayde F, 1982).

De esta manera dentro de un taque séptico se pueden encontrar varias fases como:

**Retención:** Las aguas residuales se retienen dentro del tanque séptico por un periodo determinado, el mismo que puede variar entre 12 a 24 horas, dependiendo de la contribución de los afluentes. En la siguiente tabla 4.3.1.1 se puede observar la contribución por día de los afluentes y el periodo de retención especificado.

Tabla 4.3.1.1: periodo de retención.

Periodo de retención (T)			
Contribución l/día		Periodo de retención	
		Horas	Días (T)
a	6000	24	1
6000	7000	21	0.875
7000	8000	19	0.79
8000	9000	18	0.75
9000	10000	17	0.71
10000	11000	16	0.67
11000	12000	15	0.625
12000	13000	14	0.585
13000	14000	13	0.54
más de	14000	12	0.5

Fuente: NBR 7229 1992

**Sedimentación:** conjuntamente con la fase anterior se produce la sedimentación por la acción de la gravedad, al rededor del 60 a 70% de los sólidos suspendidos contenidos en las aguas residuales se sedimentan, formándose al fondo de pozo una capa semilíquida denominada lodo. Parte de los sólidos no sedimentados, como aceites, grasas y otros materiales mezclados con gases, son retenidos en la superficie libre del líquido.

**Digestión:** como consecuencia de la sedimentación los lodos y las sustancias retenidas en la superficie libre de líquido son atacadas por bacterias anaerobias, provocando una destrucción total o parcial de los organismos patógenos.

**Eficiencia:**

Para determinar la eficiencia del tanque séptico y de otras unidades de tratamiento necesarias en las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo se basó en los parámetros adoptados. Los más usadas son: Sólidos en suspensión y DBO. En la tabla 4.3.1.2 se muestra la eficiencia de diferentes unidades de tratamiento que pueden ser aplicadas según el porcentaje de remoción que se necesite.

Tabla 4.3.1.2: eficiencia de remoción de DBO5.

<b>Posibles eficiencias de remoción de DBO5</b>	
<b>Unidad de Tratamiento</b>	<b>Eficiencia de remoción de DBO5</b>
Tanques sépticos de cámara única o sobrepuestas	30 - 50 %
Tanques sépticos de cámaras en serie	35 - 65 %
Zanjas de filtración	75 - 95 %
Filtro anaerobio	70 - 90 %

Fuente: (Athayde F, 1982)

Tabla 4.3.1.3: eficiencia de remoción de Sólidos en Suspensión.

<b>Posibles eficiencias de remoción de Sólidos en Suspensión</b>	
<b>Unidad de Tratamiento</b>	<b>Eficiencia de remoción de Sólidos en Suspensión</b>
Tanques sépticos de cámaras en serie	16 - 70 %
Filtro anaerobio	64 %

Fuente: (Rengel, B. A, 2000)

En el caso de estudio para las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo se optó por un tanque séptico de doble cámara rectangular dispuesto secuencialmente en la dirección del flujo del líquido y correctamente conectado, en el que debe producirse, conjuntamente y cada vez menos procesos de flotación, sedimentación y digestión (NBR 13969, 1997).

Es importante tener presente que el tanque séptico no purifica las aguas residuales, solo reduce su carga orgánica a un grado de tratamiento aceptable en determinadas condiciones. Así mismo los sólidos no sedimentables son arrastrados con el efluente, al igual que el producto soluble originado en la descomposición de lodos.

Además en un tanque séptico es importante conocer la diferencia entre volumen total y volumen útil, el volumen total es igual al volumen útil más el volumen



correspondiente al espacio para circulación del gas en el tanque y el volumen útil es el espacio interno mínimo necesario para el buen funcionamiento del tanque séptico.

### Parámetros de diseño para fosa séptica de doble cámara:

Para diseñar la fosa séptica de doble cámara se consideró la Norma Brasileña NB – 41/81 la cual establece un volumen útil en función del periodo de retención indicado en la tabla 4.3.1.1, considerando también la población servida, contribución de aguas residuales y lodos, como se presenta en la tabla 4.3.1.4.

Tabla 4.3.1.4: contribución unitaria de aguas residuales y lodos por tipo de predios y ocupantes.

Contribución unitaria de aguas residuales ( C ) y lodos (Lf) por tipo de predios y ocupantes			
Predio	Unidad	Contribución l/día	
		Aguas residuales ( C )	Lodos (Lf)
1 OCUPANTES PERMANENTES			
RESIDENCIA			
Alta	persona	160	1
Medio	persona	130	1
Bajo	persona	100	1
Hoteles sin cocina y sin lavandería	persona	100	1
Alojamiento provisorio	persona	80	1
2 OCUPANTES TEMPORALES			
Fábricas en general	operario	70	0.3
Edificios Públicos	persona	50	0.2
Restaurantes y Similares	comida	25	0.1
Cinemas, Teatros y Templos	lugar	2	0.02

Fuente: (NBR 13969, 1997)

Sin embargo ya que se trata de comunidades rurales con una pequeña población y con una baja dotación de agua se considerará para los cálculos una contribución de aguas residuales de 67.5 l/hab.día.

A continuación se resumen los parámetros de diseño adoptados, dimensionamiento y recomendaciones constructivas:

Tabla 4.3.1.5: parámetros de diseño de la fosa séptica de doble cámara.

Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Dato
Número de habitantes servidos	N	hab	506
Contribución de aguas residuales	C	l/hab.día	67.5
Período de retención	T	días	0.5
Contribución de lodos	lf	l/hab.día	1
Relación largo/ancho	L/b	Adimensional	3
Profundidad de la fosa	h	m	2.2
Altura libre	hs	m	0.3
Remoción de DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub>	mg/l	30%

Fuente: Autores

$$V = 1.3 * N(C * T + 100 * Lf)$$

$$V = 87980.75 \text{ lts}$$

$$V = 87.98 \text{ m}^3$$

Tabla 4.3.1.6: recomendaciones constructivas de la fosa séptica.

DIMENSIONES MÍNIMAS DE LA FOSA	
Ancho interno mínimo	b=0.80m
Profundidad útil mínima	h = 1.20m
Relación:	$2 \leq L/b \leq 4$
El ancho interno no debe ser mayor que 2 veces la profundidad útil	
El ancho interno de la cámara debe ser menor a la longitud	
La relación de las longitudes de la cámara	
$L_1 = 2/3 * L$	Cámara No. 1
$L_2 = 1/3 * L$	Cámara No. 2
El orificio para el paso de las dos cámaras debe estar ubicado a $2/3 h$	
Los bordes superiores de estos orificios deben ser localizados a una distancia de 0.30m por debajo de la superficie del líquido	
El área de la sección transversal del orificio debe estar entre 5 y 10 % de la sección transversal útil	

Fuente: Autores.

Tabla 4.3.1.7: dimensiones reales de la fosa séptica.

Ancho (b)	Largo (L)	Profundidad (h)	Volumen real
m	m	m	m <sup>3</sup>
3.7	11.1	2.2	90.35

Fuente: Autores.

**Longitudes de las cámaras**

$$L1 = 2/3 * L = 7.4 \quad m$$

$$L2 = 1/3 * L = 3.7 \quad m$$

**Orificio para el paso de las 2 cámaras**

$$2/3 * h = 1.4 \quad m$$

**Área de la sección transversal del orificio (10%)**

$$At = 0.814 \quad m^2$$

$$a = 0.3 \quad m$$

$$b = 2.71 \quad m$$

- La capacidad soportante en el área de estudio para el diseño de la fosa séptica será de  $20 \text{ ton}/m^2$  de acuerdo al estudio de suelos realizado, el mismo que se adjunta en el presente estudio en el Anexo 3.
- La construcción de la fosa séptica considerará los materiales y detalles de armado, de acuerdo con las especificaciones y recomendaciones de ETAPA EP, los mismos que podrán observar en los planos del presente estudio.

**Disposición final de los efluentes solidos de las fosas sépticas:**

La parte solida retenida en la fosa séptica (lodo) deberá ser removida periódicamente, de acuerdo con el periodo de almacenamiento establecido en el cálculo de estas unidades, para estimar la frecuencia de remoción de los lodos se usara los valores recomendados en la siguiente tabla 4.3.1.8.

Tabla 4.3.1.8: tiempo requerido la digestión de lodos.

<b>Tiempo requerido para digestión de lodos</b>	
<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo de digestión (días)</b>
5	110
10	76
15	55
20	40
> 25	30

Fuente: (OPS/CEPIS/05.168, 2009)

Ya que las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo están ubicadas en una zona donde las temperaturas promedio anuales varían entre 15 a 16 °C se optó por un tiempo de digestión de 55 días, considerando que existiera una mezcla de lodos frescos y lodos digeridos que se encontraran al fondo de la fosa. De esta manera el intervalo entre las extracciones de lodos sucesivas será como mínimo el tiempo de digestión a excepción de la primera extracción que será de al menos el doble del tiempo de digestión (OPS/CEPIS/05.168, 2009).

Por otro lado los lodos provenientes de la fosa séptica también deberán ser tratados adecuadamente y no podrán ser depositados en el suelo ni mucho menos en el curso de agua. Por esta razón se debe realizar un lecho de secado para el tratamiento de los lodos, generalmente este es el método más simple y económico para deshidratar a los lodos, ideal para las comunidades rurales (Athayde F, 1982).

Es importante destacar que no se debe extraer todo el lodo de tanque séptico, al contrario se debe dejar una capa de aproximadamente 10 a 15 cm que sirve como inóculo para que continúe el proceso de digestión anaerobia de los sólidos sedimentados.

Por último a los lodos, después de ser deshidratados se los deposita en un relleno sanitario o en una central de tratamiento de lodos, para el caso de las comunidades el lodo deshidratado será depositado en el relleno sanitario de la parroquia de Sígig.

#### **Parámetros de diseño para el lecho de secado:**

Según la OPS/CEPIS/05.168 (2009), los parámetros para el diseño de un lecho de secado estarán en función del contenido de sólidos suspendidos (SS) contenidos en las aguas residuales que se sedimentaran en la fosa séptica, para posteriormente formar los lodos.

Tabla 4.3.1.9: parámetros de diseño del lecho de secado.

<b>Datos de diseño</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Dato</b>
<b>Número de habitantes servidos</b>	<b>N</b>	hab	506
<b>Densidad promedio de lodos</b>	<b>d lodo</b>	kg/l	1.04
<b>% Sólidos contenidos en los lodos (8-12)</b>		%	10
<b>Tiempo de digestión</b>	<b>Td</b>	días	55
<b>Profundidad de lecho de secado (0.2-0.4)</b>	<b>h</b>	m	0.4
<b>Contribución per capita SS (Sólidos suspendidos)</b>	<b>CpSS</b>	grSS/hab.día	90

Fuente: Autores.

Tabla 4.3.1.10: dimensionamiento del lecho de secado.

Descripción	Símbolo	Unidad	Fórmula	Valor Calculado
Carga de sólidos que ingresan a la fosa	C	KgSS/día	$C = \frac{N \times CpSS}{1000}$	45.54
Masa de sólidos que conforman lodos	Msd	KgSS/día	$Msd = (0.5 \times 0.7 \times 0.5 \times C) + (0.5 \times 0.3 \times C)$	14.80
Volumen diario de lodos digeridos	Vld	l/día	$Vld = \frac{Msd}{p\ lodo \times (\% \frac{solidos}{100})}$	142.31
Volumen de lodos a extraerse	Vel	m <sup>3</sup>	$Vel = \frac{Vld \times Td}{1000}$	7.83
Volumen real a extraerse	Vr	m <sup>3</sup>	$Vr = 90\% \times Vel$	7.04

Fuente: (OPS/CEPIS/05.168, 2009)

Tabla 4.3.1.11: dimensiones constructivas del lecho de secado.

Ancho (b)	Largo (L)	Profundidad (h)	Volumen Real
m	m	m	m <sup>3</sup>
3.5	5.1	0.4	7.14

Fuente: Autores.

#### 4.3.2. Tratamiento secundario

De acuerdo al anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2014), el tratamiento secundario se usa principalmente para la remoción de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos, a través de procesos biológicos como: lodos activados, filtros percoladores y sistemas de lagunas y sedimentación. En el caso de que fuera necesario remover nutrientes del agua residual se pudiera implementar un tratamiento terciario avanzado adicional a los antes mencionados.

#### Filtro biológico anaerobio de lecho fijo con flujo ascendente

Consiste en un reactor biológico donde las aguas residuales se purifican o tratan por microorganismos en forma de una película biológica en la superficie de cada una de las piedras o cualquier material natural o sintético empleado como material como material de relleno y en forma de flocúlos y gránulos en los intersticios del material de relleno. El afluente fluye a través de los intersticios del lecho

manteniéndose en contacto con el lodo activo produciéndose la adsorción y remoción de materia orgánica disuelta (NBR 13969, 1997).

Este tipo de filtro tiene la función de reducir la carga orgánica presente en las aguas residuales al facilitar un mayor tiempo de retención celular, mediante la inmovilización y retención de bacterias, en un tipo de película biológica, a fin de mantener un contacto prolongado entre la biomasa activa y el afluente de aguas residuales.

En la mayoría de los casos el lecho filtrante es de piedra con una profundidad de 1.20 metros y generalmente circular, donde la materia orgánica presente en las aguas residuales es adsorbido y descompuesto por la biomasa adherida al medio filtrante; en la parte interior cercana a la superficie del medio predominan las condiciones anaerobias y en la parte externa condiciones aerobias (Romero Rojas, 2008).

#### **Parámetros de diseño para filtro biológico anaerobio de flujo ascendente**

El diseño de este filtro se basa en la norma brasileña y el primer parámetro es la carga orgánica volumétrica de los lechos bacterianos, la cual puede ser de baja, media o de alta carga en función de la carga orgánica aplicada, profundidad y grado de recirculación (Collado, 1992).

Tabla 4.3.1.12: clasificación de los lechos bacterianos.

<b>Clasificación de los lechos bacterianos</b>				
	<b>Alta carga</b>		<b>Media carga</b>	<b>Baja carga</b>
	<b>Piedra</b>	<b>Plástico</b>		
<b>CO (kgDBO/m<sup>3</sup>xdia)</b>	0.3 - 1.0	1.0 - 5.0	0.24 - 0.48	0.08 - 0.32
<b>CH (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>xh)</b>	0.5 - 1.5	1.5 - 3.0	4 - 10 m/d	1 - 4 m/d
<b>H (m)</b>	< 3.0	< 7.0	< 3.0	< 3.0
<b>Recirculación (%)</b>	100 - 300	100 - 300	0 - 100	0
<b>Rendimiento (%DBO)</b>	60 - 80	65 - 85	60 - 80	90 - 95

Fuente: (Collado, 1992)

El material usado en el lecho filtrante es un parámetro importante en el cual se trata de conseguir la mayor superficie e índice de huecos, para así aumentar la biomasa degradante.

Tabla 4.3.1.13: características del lecho bacteriano.

Características del lecho bacteriano				
Medio de soporte	Tamaño (cm)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Superficie específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Huecos (%)
Plástico	50 - 120	33 - 100	80 - 100	95 - 97
Piedras	2 - 7	1500	64	46
Piedras	10	1120	45	60
Escorias	5 - 8	1130	66	50

Fuente: (Collado, 1992)

Por último el filtro anaerobio estará en función de la carga orgánica por cada habitante en función del predio, la misma que deberá ser tratada por el lecho bacteriano considerando que la fosa séptica remueve inicialmente un 30 % de los valores que se indican a continuación.

Tabla 4.3.1.14: contribución diaria de vertidos y carga orgánica por tipo de edificio y ocupantes.

Contribución diaria de vertidos y carga orgánica por tipo de edificio y ocupantes			
Predio	Unidad	Aguas residuales l/día	Contribución de carga orgánica gDBO <sub>5,20</sub> /d
1 OCUPANTES PERMANENTES			
RESIDENCIA			
Alta	persona	160	50
Medio	persona	130	45
Bajo	persona	100	40
Hoteles sin cocina y sin lavandería	persona	100	30
Alojamiento provisorio	persona	80	30
2 OCUPANTES TEMPORALES			
Fábricas en general	operario	70	25
Edificios Públicos	persona	50	25
Restaurantes y Similares	comida	25	25
Cinemas, Teatros y Templos	lugar	2	1

Fuente: (Collado, 1992)

A continuación en la tabla 4.3.1.15 se resumen los parámetros de diseño adoptados:

Tabla 4.3.1.15: parámetros de diseño filtro anaerobio de flujo ascendente.

Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Dato
Número de habitantes servidos	N	hab	506
Carga orgánica por habitante	Co	grDBO <sub>5,2</sub> /día	31.5
Carga orgánica volumétrica	Lv	kgDBO/m <sup>3</sup> .día	0.3
Altura del lecho filtrante	h	m	1.25
Porosidad del medio filtrante	e	%	35
Remoción de DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub>	mg/l	70%

Fuente: Autores.

Tabla 4.3.1.16: dimensionamiento del Volumen útil y total del filtro anaerobio.

Descripción	Símbolo	Unidad	Fórmula	Calculado
Carga orgánica del efluente	L	KgDBO/día	$L = \frac{N \times Co}{1000}$	15.94
Volumen útil del lecho filtrante	V	m <sup>3</sup>	$V = \frac{L}{Lv}$	53.13
Volumen de lodos a extraerse	VT	m <sup>3</sup>	$VT = \frac{V}{e}$	151.80

Fuente: (NBR 13969, 1997)

Tabla 4.3.1.17: medidas constructivas del filtro anaerobio.

Volumen (m <sup>3</sup> )	Tanque		Cúpula			Pared
	Diámetro (m)	Altura (m)	Flecha (m)	Radio (m)	Espesor (cm)	Espesor (cm)
180.00	8.90	3.00	1.37	7.93	3.00	6.00

Fuente: Autores.

## Recomendaciones:

- La profundidad útil del lecho filtrante será de 1.25 m.
- El material granular a emplearse será grava triturada de tamaño efectivo entre 3/4" a 1.50".
- La capacidad soportante en el área de estudio para el diseño de los filtros será de 20 ton/m<sup>2</sup>, de acuerdo al estudio de suelos realizado, el mismo que se envía en el Anexo 3 del presente estudio.
- Para la construcción del tanque de Ferrocemento se considerará los materiales y detalles de armado de acuerdo con las especificaciones y



recomendaciones de ETAPA EP, los mismos que se anexan en el presente estudio.

A continuación se resume la eficiencia esperada por las unidades que conforman la planta de tratamiento, para este caso se establecieron los valores más bajos recomendados en la tabla 4.3.1.2 y 4.3.1.3 del presente capítulo, los cuales deben ser monitoreados durante su vida útil con los parámetros de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, como se indican en el presente manual de operación y mantenimiento de las unidades.

Tabla 4.3.1.18: parámetros de remoción en unidades de la PTAR.

Parámetro	Unidad	Afluente	% Remoción Fosa	% Remoción Filtro	Efluente
Carga Orgánica por Habitante (COh)	grDBO/hab.día	45	30%		31.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	380	30%	70%	79.8
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/l	201	16%	64%	60.78
Coliformes Fecales (CF)	cf/100ml	2.30E+07	30%	70%	4.83E+06

Fuente: Autores.

Como se observa la planta trabaja bien en condiciones desfavorables, en el caso de trabajar con los valores de los resultados de la caracterización de aguas residuales de las comunidades.

Finalmente los planos y detalles de las unidades de la PTAR se detallan en el Anexo 7.

#### 4.4. Ubicación

La PTAR está ubicada en el margen derecho del río Bolo, en las coordenadas del sistema WGS84: X = 733766 y Y = 9655972; y a una altitud de 2540 msnm con una área aproximada de 815.08 m<sup>2</sup>. El caudal medio de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es 9.02 l/s, el mismo que abarca: los aportes de las aguas residuales domésticas que aportan al sistema de alcantarillado, las aguas provenientes por conexiones erradas y la infiltración al sistema de alcantarillado. Y además está previsto que los habitantes de las comunidades compren a nombre de la comunidad el espacio requerido para la PTAR.

## **4.5. Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales**

### **4.5.1. Objetivo**

El objetivo del manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo es establecer procedimientos básicos de operación y mantenimiento, que ayuden a obtener la eficiencia esperada, previniendo contaminación en la zona, posibles afecciones a la salud, impactos ambientales, estéticos y posibles inconvenientes generados por la interrupción del servicio.

Este manual está dirigido a los miembros de las comunidades y a los técnicos encargados de realizar las actividades de operación y mantenimiento de la PTAR, con el propósito de cumplir con el objetivo para la que fue diseñada.

### **4.5.2. Definiciones**

#### **Operación:**

Son las acciones destinadas para lograr que las instalaciones, equipos, procesos y operaciones se realicen de manera correcta y sobre todo cumplan con sus funciones de forma adecuada para lograr un máximo rendimiento (OPS/CEPIS/05.168, 2009).

#### **Mantenimiento:**

Son las acciones destinadas a reparar o restaurar las instalaciones, equipos, estructuras, procesos u operaciones para mantener y conservar la capacidad para cumplir con sus funciones de forma adecuada, de tal forma que el rendimiento proyectado o esperado sea efectivo, seguro y realizado con economía para el bien de la comunidad servida (OPS/CEPIS/05.168, 2009).

.Generalmente se puede analizar mantenimiento dentro de tres tipos de mantenimiento:

#### **Correctivo:**

Son intervenciones no programadas, con el objetivo de devolver a las instalaciones, equipos, estructuras, procesos u operaciones averiadas a su estado

operacional que tenía antes que el defecto fuera descubierto (OPS/CEPIS/05.168, 2009).

Dentro del mantenimiento correctivo encontramos la siguiente actividad:

- Sustitución, arreglo o reposición de elementos y procesos que no funcionen adecuadamente.

### **Preventivo:**

Son intervenciones periódicas o rutinarias de inspección y cuidado, programadas para identificar y evitar fallas, prolongando el funcionamiento adecuado de las obras (OPS/CEPIS/05.168, 2009).

### **Predictivo:**

Son las intervenciones realizadas con el fin de prevenir o adelantarse a posibles fallas debidas a condiciones de trabajo o antigüedad como lo es la sustitución de piezas (OPS/CEPIS/05.168, 2009).

Dentro del mantenimiento preventivo se distingue las siguientes clases de actividades:

- Eliminación de todo aquello que afecte el correcto funcionamiento de las instalaciones y equipos.
- Orden y limpieza en general.

### **4.5.3. Personal**

El personal requerido para el cumplimiento de las actividades de operación y mantenimiento de la PTAR para las comunidades, deberá ser el necesario para garantizar un adecuado funcionamiento y operación. Se recomienda como mínimo implementar el siguiente personal:

- 1 Operador de la PTAR.
- 1 Jornalero.

Debido a que generalmente los miembros de las comunidades son los encargados de realizar estas actividades, el personal seleccionado deberá ser capacitado, haciéndole conocer todas las medidas de seguridad que deberá adoptar, para protegerse y evitar accidentes que dañen su integridad física o afecten a su salud, el

uso de equipos de protección personal que puede incluir guantes, mascarillas, cascos y se recomienda que el GAD Municipal de Sígsig supervise el adecuado mantenimiento y funcionamiento de la PTAR.

#### 4.5.4. Sistema de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales para las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo, está conformada por una fosa séptica de doble cámara y un filtro anaerobio de flujo ascendente

El grado de tratamiento esperado en la PTAR es la depuración de materia sólida y orgánica particulada y disuelta en las aguas residuales, cumpliendo los criterios mencionados de acuerdo al Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2014).

Según el Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2014), en la tabla 4.5.4.1 se muestra los límites de descarga a un cuerpo de descarga de agua dulce.

Tabla 4.5.4.1: límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles al Hexano	mg/l	0.3
Coliformes Fecales	Nmp/ 100 ml		Remoción > al 99.9%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Sólidos Sedimentables		mg/l	1.0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600

Fuente: (Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2014)

Sin olvidar que la PTAR está en una zona donde se realizan actividades acuáticas, principalmente la pesca. De esta manera, luego del proceso de depuración de las aguas residuales la calidad de las aguas del río deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 4.5.4.2, la misma que se indica en la Norma para aguas con fines recreativos de contacto secundario (deportes náuticos y pesca).

Tabla 4.5.4.2: criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles al Hexano	mg/l	0.3
Coliformes Totales	Nmp/ 100 ml		4 000
Coliformes Fecales	Nmp/ 100 ml		1 000
Potencial de Hidrógeno			6.5 - 8.5
Sólidos flotantes	visible		ausencia

Fuente: (Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2014)

Para las distintas unidades y procesos considerados en el sistema de depuración de las aguas residuales para las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo, se recomienda que las siguientes actividades para una adecuada operación, sean ejecutadas por los miembros de las comunidades o conjuntamente con el GAD Municipalidad del Sígsig.

#### 4.5.5. Rejilla al ingreso de la fosa séptica de doble cámara

**Descripción:** Constituido por una rejilla de desbaste de sólidos; formada por platinas inclinadas paralelas y uniformemente espaciadas, de acero inoxidable, con una inclinación de 45°.

El mantenimiento previsto de este elemento será de limpieza manual, mediante un rastrillo; el material retirado se colocará en un carretilla para posteriormente ser removido y transportado temporalmente en un contenedor, previo a su destino final como residuo sólido en el relleno sanitario de la ciudad, o se puede colocar en un pozo sanitario adyacente al sitio preparado para esta actividad el cual deberá ser cubierto con una capa de tierra. La frecuencia de limpieza está en función del estado de la rejilla, la misma que será evaluada por el personal de operación de la PTAR.

#### Objetivos:

- Evitar posibles obstrucciones a la entrada de la fosa séptica.
- Permitir el flujo normal de las aguas residuales a las unidades de depuración.

#### Personal y equipo:

- Operador y Jornalero
- Herramientas menores: rastrillo, pala, carretilla.

**Tiempo estimado:**

- Limpieza de rejilla: 30 minutos.

**Frecuencia aproximada:**

- Limpieza de rejilla: semanal o quincenal (puede variar).

**4.5.6. Fosa séptica de doble cámara**

**Descripción:** antes de poner en funcionamiento la fosa séptica, se recomienda su llenado con agua y si fuera posible, inoculado con lodo proveniente de otra fosa cercana, en este caso se podría realizar una inoculación de los lodos de la fosa séptica de la ciudad del Sígsig por su cercanía, esto con el propósito de acelerar el desarrollo de los microorganismos anaeróbicos.

Para la inspección y limpieza se recomienda que al abrir la tapa de registro de la fosa séptica, a pesar de contar con tubos de salida de gases, se recomienda dejar transcurrir un tiempo hasta tener la seguridad que el tanque se haya ventilado lo suficiente, de los gases que se acumulan, ya que pueden causar asfixia o ser explosivos al mezclarse con el aire. Por esta misma razón nunca debe encenderse fósforos o cigarrillos cuando se abra una fosa séptica. La fosa séptica se debe limpiar antes que se acumule demasiada cantidad de lodos y natas (materiales flotantes también llamados espumas).

La fosa séptica se limpiará cuando el fondo de lecho de natas este a menos de 7.5 centímetros de la pantalla de salida o cuando se tenga una acumulación de aproximadamente del 40 % o más de la altura de agua en la fosa (Romero Rojas, 2008).

Cuando la acumulación de natas excede lo admisible, se deben retirar las natas o espumas que estén flotando con un cernidor de malla fina de plástico y se puede colocar en un pozo sanitario de por lo menos 60 centímetros de profundidad adyacente al sitio preparado para esta actividad y ser cubierto posteriormente con tierra.

La presencia de turbiedad en el líquido efluente es un indicador que la nata o los lodos han sobrepasado los límites permisibles y es necesario un mantenimiento inmediato. Por ello se debe extraer parcialmente el lodo ubicado al fondo de la

unidad. Para esta actividad se requiere la abertura de las válvulas para su descarga a gravedad. El lodo succionado debe depositarse en el lecho de secado.

El espesor de la nata se puede medir con un listón de madera en cuyo extremo lleve una aleta articulada, el cual se fuerza a través de la capa de nata hasta llegar la zona de sedimentación en donde la aleta se desplazará a la posición horizontal y al levantar el listón suavemente, se podrá determinar por la resistencia natural que ofrece la nata.

Para determinar el espesor de lodo y la profundidad del líquido, se emplea un vara en cuyo extremo tenga enrollado una tela tipo felpa en una longitud de aproximadamente un metro en la cual se marcará claramente el nivel del lodo. No se deberá extraer totalmente el lodo, sino dejar una altura de aproximadamente 10 a 15 cm que sirve como inóculo para que continúe el proceso de digestión anaerobia de los sólidos sedimentados.

En general todos los procesos mencionados anteriormente se dan en la primera cámara que posee un volumen dos veces mayor al de la segunda cámara, la cual presenta una acumulación de lodos considerablemente inferior, debiendo ser evaluada su frecuencia de limpieza de acuerdo a las experiencias adquiridas en el proceso de operación de la PTAR.

**Objetivo:**

- Asegurar su normal funcionamiento, evitando la acumulación excesiva de lodos y natas sobrenadantes.

**Personal y equipo:**

- Operador y Jornalero
- Herramientas menores: varilla, listón de madera, barreta, cernidor de malla fina de plástico.

**Tiempo estimado:**

- Limpieza de natas: 1 hora.
- Limpieza de lodos: 4 horas.

**Frecuencia aproximada:**

- Limpieza de natas: mensual o semanal.
- Limpieza de lodos: cada ½ o 1 año.

**4.5.7. Filtro anaerobio de flujo ascendente**

Descripción: Al iniciar el funcionamiento de un filtro anaerobio ascendente hay que tener en cuenta que este opera a toda su capacidad en los primeros seis a doce meses después de su arranque, debido al tiempo requerido por la biomasa para estabilizarse, aunque también es posible inocular un lodo anaerobio municipal es el material del filtro (CONAGUA, 2013).

Para la inspección y evaluación en este tipo de unidades se recomienda verificar que con el tiempo los sólidos no taponen los poros del filtro, este tiempo se puede alargar garantizando que la fosa séptica este trabajando adecuadamente, con un mantenimiento periódico para impedir el paso excesivo de sólidos. El taponamiento parcial aumenta la capacidad del filtro para retener sólidos y el filtro deberá ser limpiado cuando baje la eficiencia.

Los filtros se limpian haciendo funcionar el sistema en modo inverso para desbloquear la biomasa acumulada y partículas o se puede extraer y limpiar el filtro, pero teniendo en cuenta el efecto de que se perderá la mayoría de la biomasa por lo que será necesario otro periodo hasta su estabilización nuevamente.

**Objetivo:**

- Verificar el correcto funcionamiento e identificar posibles taponamientos del medio filtrante.

**Personal y equipo:**

- Operador y jornalero
- Cisterna (si es necesario).

**Tiempo estimado y frecuencia aproximada:**

- Variable de acuerdo a las inspecciones visuales realizadas por el personal de la PTAR.



## CAPÍTULO 5

### PRESUPUESTO DEL PROYECTO

#### 5.1. Análisis de precios unitarios

Para los análisis de precios unitarios se tomó como referencia la base de datos proporcionada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Sígsig, correspondiente al mes de Enero del 2017.

#### 5.2. Presupuesto

El presupuesto referencial analiza el sistema de alcantarillado sanitario, la red condominial y las unidades que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales, para ello se analizó las cantidades de obra en cada una de las partes mencionadas según los planos.

El costo del proyecto es de: Cuatrocientos Ochenta y Nueve Mil Diez Con 51/100 Dólares.

El detalle del mismo con sus respectivos análisis de precios unitarios se puede observar en el Anexo 8.

#### 5.3. Fórmula de reajuste de precios

Se detalla la fórmula polinómica del presupuesto referencial del proyecto para la aplicación del reajuste de precios correspondiente.

Tabla 5.3.1: fórmula polinómica.

Descripción de la fórmula polinómica			
Término	Descripción	Costo directo	Coefficiente
B	Mano de obra	81734.45	0.226
C	Cemento portland - tipo I	14284.9	0.039
E	Equipo y maquinaria de construc. vial	48073.79	0.133
F	Tubos y accesorios de PVC - para alcantarillado	59125.68	0.163
H	Acero en barras (Modif)	19876.7	0.055
M	Madera aserrada, cepillada y/o escuadrada (preparada)	9053.94	0.025
P	Materiales pétreos (Azuay)	32201.65	0.089
T	Tubos de hormigón simple y accesorios (Azuay)	14061	0.039
X	Alcantarillado sanitario - zona rural	14210.79	0.039
Y	Explosivos y aditamentos	69570.56	0.192
<b>Totales:</b>		<b>362193.46</b>	<b>1</b>

Fuente: Autores.

$$PR = P0 (0.226 B1/B0 + 0.039 C1/C0 + 0.133 E1/E0 + 0.163 F1/F0 + 0.055 H1/H0 + 0.025 M1/M0 + 0.089 P1/P0 + 0.039 T1/T0 + 0.039 X1/X0 + 0.192 Y1/Y0)$$

### Mano de obra cuadrilla tipo

Tabla 5.3.2: mano de obra cuadrilla tipo.

Término	Descripción	Salario ley	Salario efectivo	Horas hombre	Costo directo	Coefficiente
B - 401	ESTRUCTURA OCUPACIONAL E2 (const. y serv. técn. y arquitect.)	3.41	3.41	14136.132	48204.21	0.607
B - 402	ESTRUCTURA OCUPACIONAL E2 (const. y serv. técn. y arquitect.)	3.41	3.41	1432.375	4884.4	0.061
B - 403	ESTRUCTURA OCUPACIONAL D2 (const. y serv. técn. y arquitect.)	3.45	3.45	4691.159	16184.5	0.201
B - 404	ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1 (const. y serv. técn. y arquitect.)	3.82	3.82	135.911	519.18	0.006
B - 411	ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1 (GRUPO I) (oper. y mec. equipo pes. y camin.)	3.82	3.82	921.277	3519.28	0.04
B - 412	ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2 (GRUPO II) (oper. y mec. equipo pes. y camin.)	3.64	3.64	32.852	119.58	0.001
B - 415	ESTRUCTURA OCUPACIONAL D2 (SIN TITULO)	3.45	3.45	746.377	2575	0.032
B - 422	ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1 (MECANICOS) (oper. y mec. equipo pes. y camin.)	3.82	3.82	115.374	440.73	0.005
B - 434	CHOFERES PROFESIONALES (camion art. O conacopla. estruc. Oc. C1) Trailer, volqueta, tanquero,	5	5	947.25	4736.25	0.041
B - 444	TOPOGRAFO 2 (Estruc. Ocup. C1) (const. y serv. técn. y arquitect.)	3.82	3.82	144.325	551.32	0.006
<b>Totales:</b>				<b>23303.033</b>	<b>81734.45</b>	<b>1</b>

Fuente: Autores.

### 5.4. Cronograma de obra

El cronograma valorado propuesto para la construcción del sistema de alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento de aguas residuales se detalla en el Anexo 9.

### 5.5. Especificaciones técnicas

Son el conjunto de normas, disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones, métodos constructivos, formas de control de calidad, mediciones, formas de pago, etc. que se establecen y describen para los diferentes rubros de trabajo, para la contratación y ejecución de una obra, a las cuales debe sujetarse estrictamente el Contratista.

Para el caso particular del proyecto del sistema de alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento de aguas residuales para las comunidades de La Dolorosa y

Hatobolo, las especificaciones están fundamentadas en las especificaciones técnicas proporcionadas por el GAD Municipal del Sígisg.

El objetivo fundamental de las especificaciones es que las obras de este proyecto sean ejecutadas, cuidando el entorno social y natural, cumpliendo las mejores prácticas de la ingeniería, empleando los materiales y equipos de calidad que cumplan con los requisitos señalados en este documento, a un costo razonable para el contratante y que el contratista reciba un precio justo por tales trabajos; mismas que se envían en el Anexo 10.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- De la información recopilada a través de las encuestas realizadas y de las visitas a las comunidades se pudo determinar que existen descargas de aguas residuales en el suelo y cauces naturales, y en otros casos sus pozos sépticos se encuentran colapsados. Por lo tanto las comunidades de La Dolorosa y Hatobolo del cantón Sígsig, presentan problemas con el manejo de las aguas residuales, debido a la ausencia de un sistema de recolección y tratamiento, siendo un riesgo constante de contraer enfermedades y provocar contaminaciones del suelo y agua, afectando sus condiciones de vida. Por lo que el diseño de la red de alcantarillado y planta de tratamiento permitirá brindar una respuesta adecuada e integral a la problemática.
- El diseño de los elementos de la red y la planta de tratamiento de aguas residuales se desarrollaron para toda la población dentro del área de influencia del proyecto, respetando los criterios y las recomendaciones de las diferentes normas, para elaborar un diseño óptimo que se adapte adecuadamente a las condiciones de las comunidades, respetando los criterios técnicos de empresas locales como ETAPA EP, y especificaciones establecidas por el GAD Municipal de Sígsig.
- La planta de tratamiento de aguas residuales se emplaza en la comunidad de Hatobolo junto al río Bolo y está constituida por una fosa séptica de doble cámara con un volumen de 90.35 m<sup>3</sup>, un filtro anaerobio circular de diámetro de 8.90 m de flujo ascendente de 180 m<sup>3</sup> y para la disposición de los lodos provenientes de la fosa séptica se dispone de un lecho de secado de lodos. Estos elementos permitirán un adecuado tratamiento y disposición de las aguas residuales, que conjuntamente con el mantenimiento, operación y monitoreo, permitirán dar seguimiento a los procesos de depuración para no producir contaminación. Cabe recalcar que la planta debe tener un correcto funcionamiento ya que si uno de los sistemas de tratamiento falla no se cumplirá con los límites máximos de descarga al efluente.

- El presupuesto referencial para la implementación del proyecto para las comunidades es de \$ 436,616.53, sin incluir IVA, el desglose del mismo y el análisis de precios unitarios correspondiente se puede apreciar en el anexo 8.

### **Recomendaciones:**

- Se recomienda realizar un estudio más detallado del suelo en el que se implantarán las estructuras para cruzar el río Bolo, así como un estudio estructural de los puentes colgantes.
- Para la construcción del proyecto de alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales es necesario que se realice la respectiva socialización del proyecto a fin de que todos los habitantes de los sectores de La Dolbrosa y Hatobolo se beneficien de este sistema.
- Se recomienda realizar las gestiones necesarias de parte de las Autoridades del GAD municipal y dueños del terreno en donde se implantará la planta de tratamiento para su adquisición.
- Las calles de las comunidades son de tierra y generan residuos de material que puede taponar los elementos hidráulicos de la red, por lo que se recomienda realizar mantenimientos por lo menos 2 veces al año, a pozos y tuberías.
- Realizar un mantenimiento a la planta de tratamiento de aguas residuales, por lo menos 2 veces al año, para garantizar su correcto funcionamiento.
- Se recomienda tomar en consideración los criterios de diseño señalados en el presente estudio para garantizar su adecuado funcionamiento y en todo caso el buen juicio del constructor y fiscalizador juegan un papel importante en caso de presentarse algún cambio constructivo que se tengan que realizar.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anexo I del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.* (2014). Quito.
- Arrocha Ravelo, S. (1983). *Cloacas y Drenajes*. Madrid: Ediciones Vega.
- Athayde F. (1982). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (2a ed.)*. Río de Janeiro.
- Collado, R. (1992). *Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Madrid - España: Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos.
- CONAGUA. (2013). *Comisión Nacional del Agua: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos Aerobios*. México D.F.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados*. Colombia: Mc Graw Hill.
- Ecuador, T. C. (2014). *Ley Organica de Recurso Hídricos*. Quito.
- ETAPA, E. (2016). *Especificaciones técnicas de diseño de redes de alcantarrillado*. Cuenca.
- GAD. (2016). Gobierno Autónomo Descentralizado. Sígsig.
- IEE. (2013). Instituto Espacial Ecuatorino.
- IERSE. (2015). Universidad del Azuay (Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador). Geomática y Territorio. .
- INEC. (2010). *Instituto Nacioanl de Estadística y Censo*.
- INEN 5, I. (2000). *Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C.) Diseño de Instalaciones Sanitarias: Códifo de Práctica para el Diseño de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquido en el Área Rural* . Quito.
- INEN, C. E. (2000). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Quito.

- López Cualla, R. (2001). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .
- MAE. (s.f.). *Ministerio del Ambiente Ecuatoriano*.
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Redes de alcantarillado y bombeo*. Madrid: McGraw-Hill.
- MIDUVI. (2008). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Sistema Condominial*.
- Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico*. Bogotá.
- NBR 13969. (1997). *ABNT-Asociación Brasileña de Normas Técnicas Fosas Sépticas Unidades de Tratamiento Complementario y Disposición de los Líquidos del Efluente, Diseño, Construcción y Operación*. Río de Janeiro.
- OPS/CEPIS/05.168. (2009). *Guía para la operación y mantenimiento de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización*. Lima.
- PDOT. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Ludo.
- Programa de Agua y Saneamiento. (2001). *Sistemas condominiales de alcantarillado sanitario*. El Alto - Bolivia.
- Rengel, B. A. (2000). *Tratamiento de aguas residuales*. Cuenca.
- Romero Rojas, J. A. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, P. R. (2008). *Hidráulica II*. México D.F.
- Sotelo Ávila, G. (2002). *Hidráulica de Canales*. México: UNAM, Facultad de Ingeniería.