



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y

CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y
PLUVIAL DE LA LOCALIDAD EL PORVENIR, CANTÓN EL CARMEN,
PROVINCIA DE MANABÍ**

AUTOR: MARTÍNEZ CUENCA, CÉSAR HOMERO

DIRECTOR: ING. PH.D. BOLAÑOS GUERRÓN, DARÍO ROBERTO.

SANGOLQUÍ

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA LOCALIDAD EL PORVENIR, CANTÓN EL CARMEN, PROVINCIA DE MANABÍ**”, fue realizado por el señor **MARTÍNEZ CUENCA CÉSAR HOMERO**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de agosto de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Darío Roberto Bolaños Guerrón'.

Ing. Darío Roberto Bolaños Guerrón, Ph.D.

C.C. No. 171520659-3



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

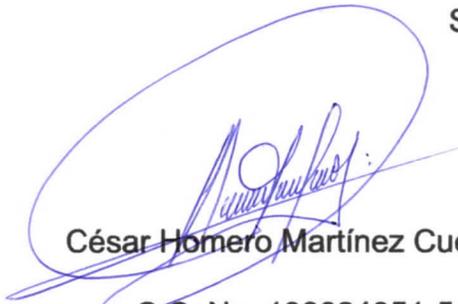
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MARTÍNEZ CUENCA CÉSAR HOMERO**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA LOCALIDAD EL PORVENIR, CANTÓN EL CARMEN, PROVINCIA DE MANABÍ”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente, el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 17 de agosto de 2018



César Homero Martínez Cuenca

C.C. No. 130924351-5



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **MARTÍNEZ CUENCA CÉSAR HOMERO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar el trabajo de titulación, **“DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA LOCALIDAD EL PORVENIR, CANTÓN EL CARMEN, PROVINCIA DE MANABÍ”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 17 de agosto de 2018



César Homero Martínez Cuenca

C.C. No. 130924351-5

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por darme la fortaleza para cumplir este objetivo a pesar de las adversidades.

A mi madre Jaqueline, por su apoyo incondicional y confianza en todo momento.

A mi novia Karina, por su amor, compañía y paciencia, desde el principio y para siempre.

A mis hermanos Jackeline y David, a mi sobrino Carlos David, por su aliento y afecto constante; a mi padre David, por su acompañamiento a la distancia.

A mis tíos, primos, abuelos y amigos, porque de alguna u otra manera contribuyeron a la consecución de este sueño.

Cesar Homero Martinez Cuenca

AGRADECIMIENTO

A Dios, por todo lo que soy y por todas las bendiciones recibidas.

A mi familia, por el cariño y apoyo recibidos.

A mi director de proyecto, por su guía y orientación en la elaboración de este trabajo.

A la universidad, docentes y personal administrativo, por los conocimientos impartidos y por la colaboración recibida.

Cesar Homero Martinez Cuenca

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación e importancia	4
1.4. Objetivo general	5
1.5. Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN DE LA LOCALIDAD.....	7

2.1. Aspectos físicos.....	7
2.1.1. Ubicación.....	7
2.1.2. Relieve	8
2.1.3. Información climática.....	8
2.1.4. Hidrografía.....	9
2.2. Aspectos socio-económicos	11
2.2.1. Demografía.....	11
2.2.2. Educación.....	12
2.2.3. Economía	13
2.2.4. Servicios públicos.....	14
CAPÍTULO III PARÁMETROS DE DISEÑO	17
3.1. Sistema integral de alcantarillado.....	17
3.1.1. Clasificación de los sistemas.....	17
3.1.2. Selección del tipo de sistema	18
3.2. Periodo de diseño.....	19
3.3. Población de diseño	20
3.3.1. Población actual	20
3.3.2. Tasa de crecimiento poblacional	20
3.3.3. Proyecciones de crecimiento.....	21

3.3.4. Población futura.....	23
3.4. Densidad poblacional	24
3.5. Caudales de aguas servidas	24
3.5.1. Caudal medio diario de aguas servidas (Q_m).....	24
3.5.2. Caudal máximo horario de aguas servidas (Q_{mh})	26
3.5.3. Caudal de aguas ilícitas (Q_e)	27
3.5.4. Caudal de infiltración (Q_i)	27
3.5.5. Caudal de diseño de aguas servidas (Q_d)	28
3.6. Caudales de aguas lluvias.....	29
3.6.1. Sistema de drenaje.....	29
3.6.2. Periodo de retorno	29
3.6.3. Caudal de escurrimiento superficial (Q)	29
3.6.4. Coeficiente de escurrimiento (C)	30
3.6.5. Intensidad de lluvia.....	31
3.6.6. Tiempo de concentración	33
CAPÍTULO IV ALCANTARILLADO SANITARIO	37
4.1. Criterios de diseño.....	37
4.1.1. Áreas tributarias	37
4.1.2. Fórmulas de diseño	37

4.1.3. Coeficiente de rugosidad	40
4.1.4. Flujo mínimo	41
4.1.5. Velocidad mínima	41
4.1.6. Velocidad máxima	41
4.1.7. Tirante de agua máximo	42
4.1.8. Tensión tractiva mínima	42
4.1.9. Pendiente mínima.....	43
4.1.10. Pendiente máxima.....	43
4.1.11. Diámetro mínimo	44
CAPÍTULO V ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	45
5.1. Criterios de diseño.....	45
5.1.1. Áreas tributarias	45
5.1.2. Trazado de la red	45
5.1.3. Diámetro mínimo	46
5.1.4. Velocidad mínima	46
5.1.5. Velocidad máxima	46
5.1.6. Pendiente mínima.....	46
5.1.7. Profundidad hidráulica máxima	47
5.1.8. Fórmulas de diseño	47

5.2. Cunetas	47
5.3. Sumideros	49
CAPÍTULO VI TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS	51
6.1. Calidad del cuerpo receptor	52
6.2. Grado de tratamiento.....	52
6.3. Caudales de aguas servidas	53
6.4. Caracterización de aguas residuales.....	53
6.5. Proceso de tratamiento	54
6.6. Componentes del sistema	57
6.6.1. Obras de llegada	57
6.6.2. Tratamiento preliminar.....	57
6.6.3. Tratamiento primario	58
6.6.4. Humedal artificial sub superficial (biofiltro)	59
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
7.1. Conclusiones.....	63
7.2. Recomendaciones.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Geografía de El Porvenir</i>	8
Tabla 2 <i>Información climática de El Porvenir</i>	9
Tabla 3 <i>Población según sexo de la localidad El Porvenir</i>	11
Tabla 4 <i>Nivel de instrucción de habitantes de El Porvenir</i>	13
Tabla 5 <i>Ocupación de la PEA de El Porvenir</i>	13
Tabla 6 <i>Viviendas con energía eléctrica en El Porvenir</i>	14
Tabla 7 <i>Viviendas con telefonía fija en El Porvenir</i>	15
Tabla 8 <i>Eliminación de desechos sólidos en El Porvenir</i>	15
Tabla 9 <i>Periodo de diseño</i>	19
Tabla 10 <i>Población actual</i>	20
Tabla 11 <i>Tasa de crecimiento poblacional</i>	20
Tabla 12 <i>Población de diseño</i>	23
Tabla 13 <i>Valores del coeficiente de escurrimiento</i>	30
Tabla 14 <i>Ecuaciones de intensidad representativas zona 30</i>	32
Tabla 15 <i>Valores de N para la fórmula de Kerby</i>	34
Tabla 16 <i>Calidad del cuerpo receptor</i>	52
Tabla 17 <i>Aportes per cápita para aguas residuales domésticas</i>	54
Tabla 18 <i>Concentración de parámetros en el afluente</i>	54
Tabla 19 <i>Procesos de tratamiento y grado de remoción</i>	55
Tabla 20 <i>Propiedades de materiales para humedales</i>	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del cantón El Carmen	1
Figura 2. Posición de El Porvenir con respecto al cantón El Carmen	2
Figura 3. Área del proyecto	7
Figura 4. Microcuenca Río La Esperanza	10
Figura 5. Habitantes por grupos de edad de El Porvenir.....	12
Figura 6. Zonificación de intensidades de precipitación	32
Figura 7. Pendiente promedio y longitud de escurrimiento.....	36
Figura 8. Corte de cuneta tipo	48
Figura 9. Esquema de sumidero horizontal en solera de cuneta.....	50
Figura 10. Río La Esperanza, cerca de la localidad	51
Figura 11. Proceso de tratamiento de aguas servidas.	56
Figura 12. Sección longitudinal de un humedal de flujo horizontal.....	59

RESUMEN

El trabajo de titulación consiste en el diseño del sistema integral de alcantarillado sanitario y pluvial, que incluye el tratamiento de las aguas servidas, para la localidad El Porvenir, cantón El Carmen, provincia de Manabí. Se inicia el proyecto con la caracterización de la localidad desde aspectos físicos y socio económicos, con información topográfica, climática, hidrológica, demográfica, entre otras. Se determinan los parámetros generales de diseño y se comparan los distintos tipos de sistemas de alcantarillado. A continuación, se realiza el diseño del sistema de alcantarillado sanitario empleando redes de tuberías y elementos de inspección simplificados, considerando criterios de diseño mínimos. Acto seguido se proyecta la red de alcantarillado pluvial, de tipo convencional, donde se toman las previsiones del caso para que el sistema nunca funcione a saturación, e incluye el diseño de cunetas y sumideros. Después, se realiza el diagnóstico de la calidad del cuerpo receptor, donde se determina la concentración de los principales parámetros contaminantes mediante análisis realizado en laboratorio. Además, se define el proceso de tratamiento necesario para la depuración de las aguas servidas, se dimensionan sistemas manuales simples y un humedal artificial de flujo sub superficial horizontal como tratamiento secundario. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del caso.

PALABRAS CLAVE:

- ALCANTARILLADO
- SANITARIO
- PLUVIAL
- AGUAS SERVIDAS
- HUMEDAL

ABSTRACT

The titling work consists of the design of the integrated sanitary and storm sewer system, which includes the treatment of sewage, for the town of El Porvenir, canton El Carmen, province of Manabi. It begins with the characterization of the locality from physical and socio-economic aspects, with topographic, climatic, hydrological, demographic information, among others. The general design parameters are determined and the different types of sewer systems are compared. Next, the sanitary sewer system is designed, simplified pipeline networks and inspection elements are used, minimum design criteria are considered. Then, the storm sewer network is projected, of conventional type, where the forecasts of the case are taken so that the system never runs to saturation, and includes the design of gutters and drains. Then, the diagnosis of the quality of the receptor body is made, where the concentration of the main contaminating parameters is determined by laboratory analysis. In addition, the treatment process necessary for the purification of wastewater is defined, simple manual systems are sized and an artificial sub-surface horizontal wetland as secondary treatment also. Finally, the conclusions and recommendations of the case are presented.

KEYWORDS:

- SEWAGE SYSTEM
- SANITARY
- PLUVIAL
- WASTEWATER
- WETLAND

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el 2010 la población de El Porvenir era de 651 habitantes, 292 mujeres y 359 hombres, con un total de 154 hogares distribuidos en 150 viviendas. El 70% de las viviendas recibía agua desde la red pública, proveniente de extracción de pozos profundos sin ningún tratamiento, 28% se abastecía de pozos construidos artesanalmente, y 2% recolectaba el agua lluvia. En la actualidad, la localidad no cuenta con servicio público básico de alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial, ni tratamiento de aguas servidas.

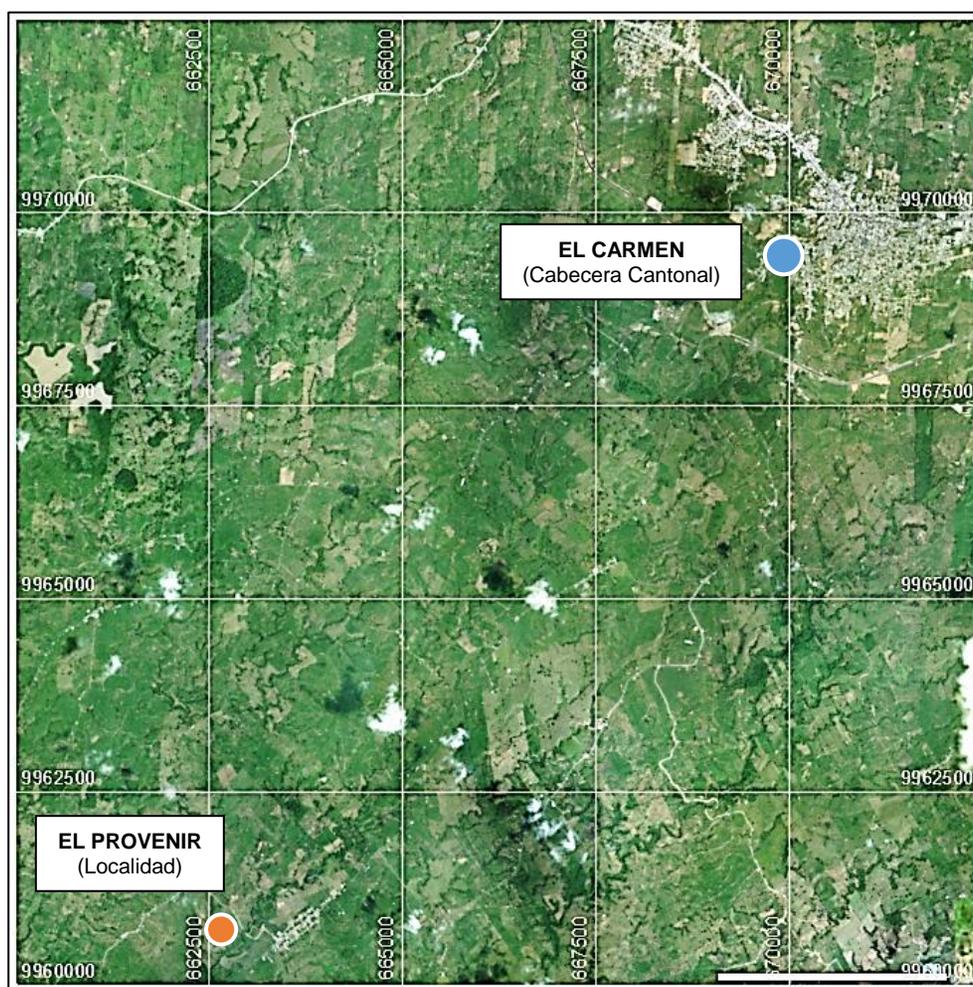


Figura 2. Posición de El Porvenir con respecto al cantón El Carmen

1.2. Planteamiento del problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2017), estima que el saneamiento deficiente es la causa de 280000 muertes por diarrea cada año en el mundo, y que es un importante factor subyacente a varias enfermedades tropicales desatendidas, como lombrices intestinales, esquistosomiasis y tracoma. Las malas condiciones de saneamiento también contribuyen a la malnutrición. En 2015, sólo el 39% de la población mundial utilizaba un servicio de saneamiento gestionado de forma segura, es decir, sus excrementos se eliminaban de forma adecuada in situ o se sometían a tratamiento en otro lugar.

En Ecuador, la cobertura de saneamiento en el área rural ha aumentado en los últimos años. El acceso de viviendas a alcantarillado pasó de 13.2% a 25.5% entre 2006 y 2013 (SENPLADES, 2014). Pero, el servicio se sigue caracterizando por ser deficiente y de mala calidad. El gran desafío del país es reducir las brechas existentes entre las áreas urbanas y áreas rurales en la dotación de estos servicios.

Para el área rural, se deben diseñar sistemas de saneamiento bajo criterios y tecnologías simples, apropiados a las condiciones socio económicas de la población, que conlleven menor costo y mayor factibilidad de ser implementados y auto sostenidos (CPE INEN 5 Parte 9.2 Primera revisión).

De acuerdo al Diagnóstico de Asentamientos Humanos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón El Carmen (2014), la cobertura de alcantarillado a nivel rural es 0%. La mayoría de viviendas descargan las aguas servidas a fosas sin ningún tipo de tratamiento, contaminando las aguas subterráneas; o directamente a los

cauces naturales de agua, provocando su degradación y enfermedades a la población. En el caso de El Porvenir, estas descargas derivan al río La Esperanza, cercano a la localidad.

1.3. Justificación e importancia

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, enuncia 17 objetivos entre los que destacamos: objetivo 1, “Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo”; y el objetivo 6, “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” (2015).

Por otra parte, la Constitución de la República del Ecuador (2008) manifiesta en los artículos 12, 14 y 375, que es un deber primordial del Estado ecuatoriano garantizar los derechos del buen vivir, entre ellos el derecho al agua, y el de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Además, el Estado garantizará el derecho al hábitat y a vivienda digna. Por hábitat se entiende al entorno integral y construido en el que la población se asienta y desarrolla sus actividades; por lo tanto, debe ser ambientalmente sano y brindar condiciones de seguridad. Las condiciones de hábitat y vivienda son determinantes de la calidad de vida de las personas (SENPLADES, 2013).

En ese sentido, uno de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 es desarrollar las capacidades productivas y del entorno, para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural. Una política del Plan es fomentar en zonas rurales el acceso a servicios de saneamiento básico. La meta es incrementar el porcentaje de hogares en el área rural que usa servicios de saneamiento básico (SENPLADES, 2017).

De igual manera, contar con servicios básicos de saneamiento permite: disminuir la pobreza y pobreza extrema multidimensional; mejorar la salud de la población y reducir los casos de enfermedades parasitarias y gastrointestinales; disminuir la desnutrición infantil; y fortalecer la productividad territorial (SENPLADES, 2014).

En consecuencia, la utilidad del proyecto se fundamenta en que busca solucionar la falta de saneamiento en la localidad, que afecta la calidad de vida de la población e incide en su productividad. El Proyecto se enmarca dentro del Plan Nacional de Desarrollo, y los beneficiarios directos serán los habitantes del sector.

1.4. Objetivo general

Diseñar el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial de la localidad El Porvenir, cantón El Carmen, provincia de Manabí, aplicando la normativa sanitaria vigente, para ofrecer una solución a la falta de saneamiento existente.

1.5. Objetivos específicos

- Analizar información recopilada por medio de investigación documental y de campo para caracterizar la localidad.
- Comparar alternativas de diseño para alcantarillado sanitario y pluvial e identificar la opción más apropiada.

- Diseñar el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial empleando normativa sanitaria vigente en base a la mejor alternativa seleccionada.
- Diseñar el sistema de tratamiento de aguas servidas para verter en mejores condiciones el efluente al cuerpo receptor.

CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN DE LA LOCALIDAD

2.1. Aspectos físicos

2.1.1. Ubicación

La localidad El Porvenir se sitúa en las coordenadas UTM Este 663600 y Norte 9960700, zona 17 Sur. Se accede desde el cantón El Carmen, avanzando 14 km por la Vía a Bramadora, de dos carriles con calzada de pavimento asfáltico en buen estado (GAD Municipal El Carmen, 2014). El área definida del proyecto es 18.84 ha como se muestra en la Figura 3.

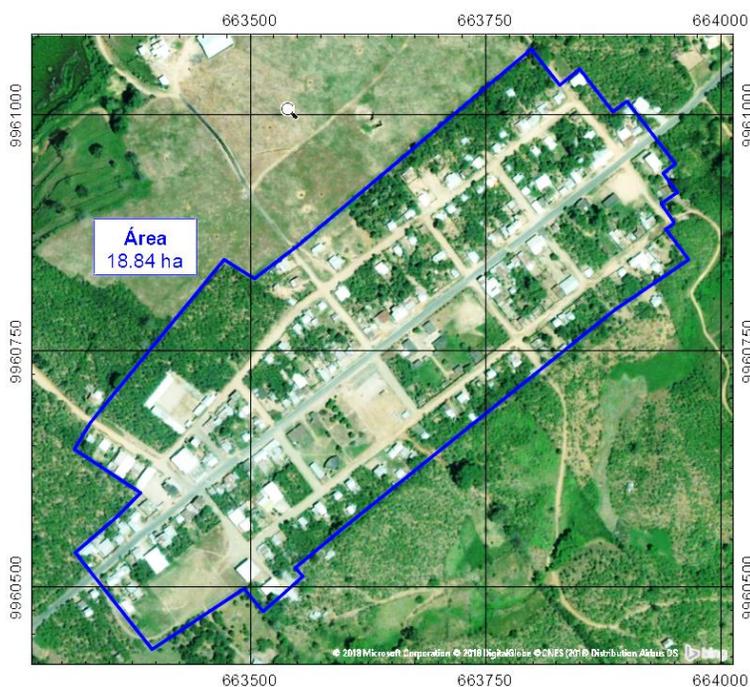


Figura 3. Área del proyecto

2.1.2. *Relieve*

Para determinar la topografía del proyecto, se realizó el levantamiento planimétrico y altimétrico del sector donde se proyectarán los sistemas de alcantarillado. Los detalles del estudio se presentan en el Anexo 1. En la Tabla 1 se despliega información adicional relacionada a la geografía de la zona.

Tabla 1

Geografía de El Porvenir

Componente	Particularidad
Geomorfología	Llanura aluvial. De origen reciente, poco desarrollados y muy productivos.
Geología	Zona de colinas (Formación Balzar). Comprende conglomerados, arenas, limos y arcillas bien estratificadas.
Pendiente	Débil, plano o casi plano, 0-5%.
Tipo de suelo	Franco arenoso. Alto porcentaje de arena en combinación con partículas de limo y arcilla.
Nivel freático	Mayor a 1.00 m de profundidad.

Fuente: (GAD Municipal El Carmen, 2014)

2.1.3. *Información climática*

La localidad El Porvenir se encuentra en la estribación occidental de la Cordillera de los Andes, noroccidente de Manabí, nivel en el que comienza a definirse la región costa. El sector es de clima cálido húmedo, con estaciones marcadas secas y lluviosas, siendo la época lluviosa desde enero hasta mayo, y la época seca, desde junio hasta diciembre

(GAD Municipal El Carmen, 2014). En la Tabla 2 se presentan datos adicionales sobre el clima de la zona.

Tabla 2

Información climática de El Porvenir

Componente	Particularidad
Clima	Cálido húmedo
Temperatura	24-25 °C
Precipitación	2000-2500 mm
Piso Climático	Tropical megatérmico húmedo
Humedad relativa	70-90 %
Altura promedio	200 msnm

Fuente: (GAD Municipal El Carmen, 2014)

2.1.4. Hidrografía

El Porvenir se asienta sobre la microcuenca Río La Esperanza, que a su vez forma parte de la sub cuenca Río Daule, e integra la cuenca Río Guayas. La microcuenca tiene un alto grado de degradación causada por la deforestación, la contaminación de los afluentes, y el uso indiscriminado de los recursos hídricos. Esto ha provocado que, para abastecer de agua a la población se utilicen aguas subterráneas, extraídas por pozos profundos que generan un caudal de entre 10 y 15 l/s (GAD Municipal El Carmen, 2014).

El río La Esperanza es un afluente con gran potencial, y es muy importante su recuperación y conservación, ya que sus aguas pueden ser aprovechadas para abastecer a las poblaciones de su cercanía. En la Figura 4 se muestra la localidad El Porvenir y la microcuenca a la que pertenece.

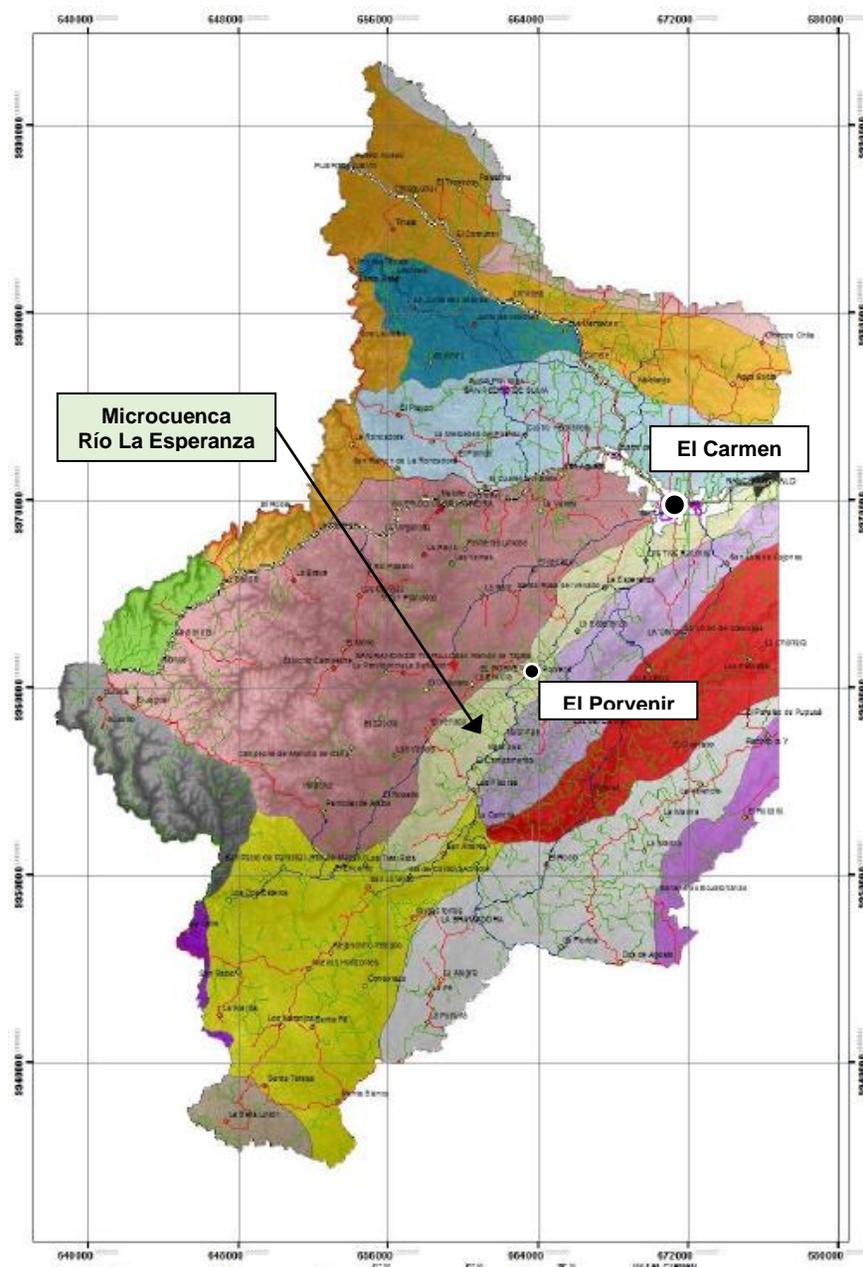


Figura 4. Microcuenca Río La Esperanza
Fuente: (GAD Municipal El Carmen, 2014)

2.2. Aspectos socio-económicos

2.2.1. Demografía

De acuerdo el INEC (2010) la distribución de la población de la localidad El Porvenir de acuerdo al sexo, es de 44.85% mujeres y 55.15% hombres, observando una ligera mayoría de habitantes del sexo masculino, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3
Población según sexo de la localidad El Porvenir

Sexo	Habitantes	Porcentaje
Mujeres	292	44.85%
Hombres	359	55.15%
Total	651	100.00%

Fuente: (INEC, 2010)

En la Figura 5 se presenta la distribución de habitantes por grupos de edad, de donde determinamos que la población de entre 15 y 64 años, considerada población económicamente activa (PEA), es de 389 habitantes, que corresponde al 59.75% del total (INEC, 2010). La población de la localidad es relativamente joven, con una edad promedio de 23 años, lo que favorece al desarrollo del sector.

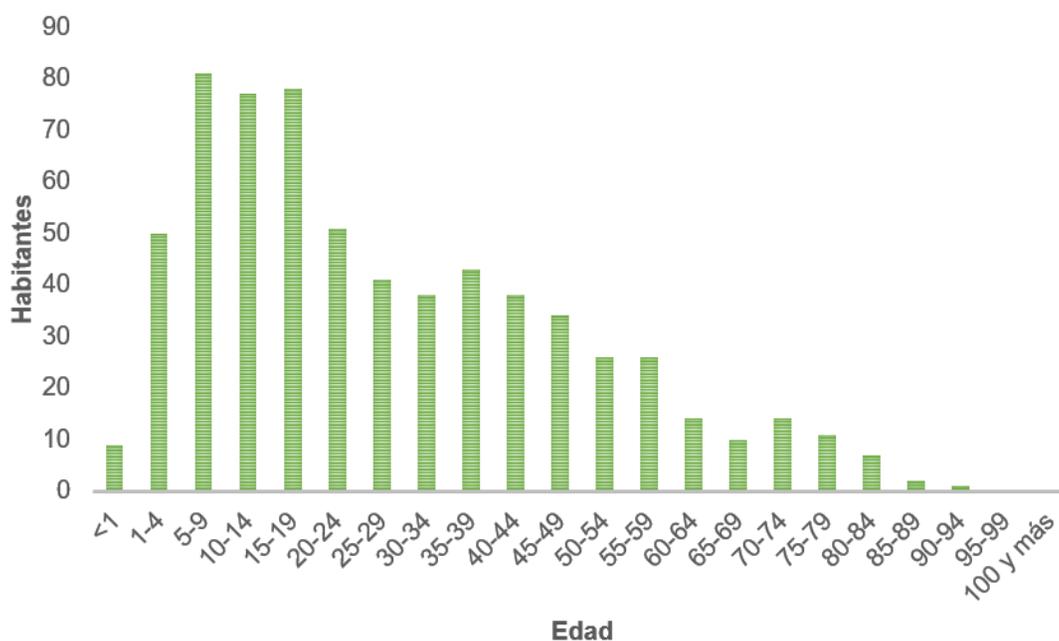


Figura 5. Habitantes por grupos de edad de El Porvenir
Fuente: (INEC, 2010)

2.2.2. Educación

La educación es un factor influyente en el avance y progreso de las sociedades. Es necesaria para alcanzar mejores niveles de bienestar social y crecimiento económico. En la localidad, el 14.75% de los pobladores son analfabetos (96 habitantes) (INEC, 2010). La Tabla 4 muestra el nivel de instrucción de la población de 5 años en adelante.

Tabla 4*Nivel de instrucción de habitantes de El Porvenir*

Sexo	Habitantes	Porcentaje
Educación inicial	3	0.51%
Pre escolar	10	1.69%
Primario	240	40.54%
Secundario	102	17.23%
Educación básica	61	10.30%
Educación media	39	6.59%
Ciclo post bachillerato	1	0.17%
Superior	25	4.22%
Postgrado	0	0.00%
Se ignora	46	7.77%
Ninguno	65	10.98%
Total	592	100.00%

Fuente: (INEC, 2010)

2.2.3. Economía

De acuerdo al GAD Municipal de El Carmen, aproximadamente el 70% de la población económicamente activa (PEA) de El Porvenir, centra sus actividades económicas en la agricultura, ganadería, y pesca; 25% realiza actividades relacionadas al comercio al por mayor y menor; y el 5% restante se dedica a la manufactura. En la Tabla 5, se indica la cantidad de habitantes empleados en cada actividad.

Tabla 5*Ocupación de la PEA de El Porvenir*

Actividad	Habitantes
Agricultura, ganadería y pesca	272
Comercio al por mayor y menor	97
Manufactura	20
Total	389

Fuente: (GAD Municipal El Carmen, 2014)

2.2.4. Servicios públicos

Para generar un entorno integral y saludable, se deben proveer los servicios públicos básicos necesarios, para fortalecer el desarrollo territorial y mejorar la calidad de vida de los pobladores. A continuación, se detalla la condición de los demás servicios públicos.

2.2.4.1. Energía eléctrica

Aunque en zonas rurales la cobertura de energía eléctrica ha aumentado, aún no abarca toda su extensión. En la localidad, el 88% de las viviendas cuentan con servicio eléctrico provisto por la empresa pública (ver Tabla 6).

Tabla 6

Viviendas con energía eléctrica en El Porvenir

Procedencia energía eléctrica	Viviendas
Red de empresa pública	132
No dispone	18
Total	150

Fuente: (INEC, 2010)

2.2.4.2. Servicio telefónico

A pesar de que hoy en día, la gran mayoría de comunicaciones telefónicas se realizan con equipos móviles, es importante apuntar que el 8% de las viviendas de la población disponen de telefonía fija, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7*Viviendas con telefonía fija en El Porvenir*

Telefonía fija	Viviendas
Dispone	12
No dispone	142
Total	150

Fuente: (INEC, 2010)

2.2.4.3. Disposición de desechos sólidos

El 84.67% de las viviendas eliminan los desechos sólidos por medio de carros recolectores provistos por la municipalidad. El porcentaje restante que no tiene cobertura, elimina los desechos como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8*Eliminación de desechos sólidos en El Porvenir*

Forma de eliminación	Viviendas
Por carro recolector	127
La arroja en terreno baldío o quebrada	7
La quema	12
La entierran	3
De otra forma	1
Total	150

Fuente: (INEC, 2010)

2.2.4.4. Establecimientos de educación y salud

En cuanto a establecimientos de educación, la localidad cuenta con la recién remodelada Escuela Fiscal Elías Cedeño Jerves, ubicada en las calles Colón Verduga y

Englantina Loor, que acoge 190 estudiantes de la población y de recintos aledaños. Antiguamente también funcionaba la Unidad Educativa a Distancia Padre Jorge Ugalde, pero desde hace algún tiempo fue abandonada. Con respecto a establecimientos de salud, la localidad cuenta únicamente con el dispensario médico del Seguro Social Campesino, que brinda atención a nivel primario.

CAPÍTULO III PARÁMETROS DE DISEÑO

3.1. Sistema integral de alcantarillado

La concepción y diseño de un sistema de alcantarillado debe ser integral, es decir, que comprenda la recolección, conducción, tratamiento y disposición final de aguas servidas y lluvias, además de todas las instalaciones necesarias para su adecuado funcionamiento.

3.1.1. Clasificación de los sistemas

De acuerdo al numeral 4.1 de la norma CPE INEN 5 Parte 9-1, los sistemas de alcantarillado pueden clasificarse en: separados, combinados y mixtos. El sistema separado consiste en dos redes independientes, una que recoge las aguas servidas y otra que recolecta las aguas de escorrentía pluvial. En cambio, el sistema combinado conduce en una red única, simultáneamente las aguas residuales y lluvias generadas por un sector. Por otro lado, el sistema de alcantarillado mixto combina los dos anteriores en una misma área, es decir, una zona cuenta con sistema separado y otra con sistema combinado.

3.1.2. Selección del tipo de sistema

De igual manera, en el numeral 5.1.6 de la CPE INEN 5 Parte 9-1, se indican distintos niveles de alcantarillado, en función de la complejidad del sistema y la aplicabilidad al sector a servirse. A la localidad en estudio le correspondería el nivel 2, “comunidades que ya tengan algún tipo de trazado de calles, con tránsito vehicular y que tengan una mayor concentración de casas”.

En este nivel se detalla que para alcantarillado sanitario se debe utilizar tuberías de diámetro mínimo 100 mm, y sólo para las líneas matrices y emisarios finales, alcantarillado convencional. Para el alcantarillado pluvial se debe utilizar cunetas laterales, y si es necesario colectores convencionales. El alcantarillado convencional se caracteriza por usar tuberías de mayor diámetro en sus redes, instaladas a mayor profundidad, y emplear componentes de inspección más elaborados.

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2005), una de las causas principales que ha impedido la expansión de la cobertura de alcantarillado en zonas rurales, es el costo elevado de implementar alcantarillados convencionales debido a las exigentes normas de diseño que implican, no correspondientes a la realidad socio económica del sector.

Además, la legislación ecuatoriana establece en el artículo 37 de la Ley Orgánica de Recurso Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua (2014), que el alcantarillado pluvial y el sanitario constituyen sistemas independientes sin interconexión posible.

En consideración, para la localidad se proyectarán redes de alcantarillado simplificado separadas, y sólo se aplicarán elementos convencionales para líneas principales. Se

seguirán las recomendaciones de la OPS indicadas en “Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado” (2005), en concordancia con las normativa sanitaria nacional vigente, es decir el CPE INEN 5 Parte 9.1, y el CPE INEN 5 Parte 9.2.

3.2. Periodo de diseño

Periodo de diseño es el tiempo durante el cual una obra cumple su función eficientemente. Además, permite definir el tamaño del proyecto en función de la población a ser atendida al final del mismo. Este periodo incluye el tiempo de construcción y puesta en marcha de los sistemas. Adoptaremos un periodo de diseño de 20 años, conforme al numeral 4.1 del CPE INEN 5 Parte 9.2.

Tabla 9

Periodo de diseño

Proyecto	Periodo de diseño (n)
Sistema de alcantarillado sanitario y pluvial de El Porvenir	20 años

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9.2 Primera revisión)

3.3. Población de diseño

3.3.1. Población actual

De acuerdo a información proporcionada por el Departamento de Planificación del GAD Municipal, a finales de 2017, la población de la localidad fue de 730 habitantes, como se indica en la Tabla 10.

Tabla 10
Población actual

Localidad	Población actual (Pa)
El Porvenir	730 hab.

3.3.2. Tasa de crecimiento poblacional

Del Censo 2010 tenemos que la tasa de crecimiento poblacional para todo el cantón El Carmen es de 2.96%. A falta de datos específicos para la localidad, acogeremos la tasa de crecimiento propuesta en 4.2.4 del CPE INEN 5 Parte 9.2 para la región geográfica Costa, que corresponde a 1.50%.

Tabla 11
Tasa de crecimiento poblacional

Localidad	Tasa de crecimiento poblacional (r)
El Porvenir	1.50%

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9.2 Primera revisión)

3.3.3. Proyecciones de crecimiento

Para determinar la población futura, realizaremos proyecciones de crecimiento utilizando tres métodos conocidos, de acuerdo a lo establecido en el numeral 4.2.3 del CPE INEN 5 Parte 9.2. Las ecuaciones descritas para las proyecciones aritmética, geométrica y exponencial, fueron expuestas por la Universidad Nacional de Huancavelica (2011), de Perú.

3.3.3.1. Proyección aritmética

Esta proyección es recomendable para poblaciones pequeñas que están comenzando a desarrollarse, y en las que se espera un crecimiento estable.

$$P = Pa \times \left(1 + \frac{r \times n}{100}\right)$$

Donde:

P : Población futura

Pa : Población actual

r : Tasa de crecimiento poblacional

n : Periodo de diseño

$$P = 730 \times \left(1 + \frac{1.50 \times 20}{100}\right)$$

$$P = 949 \text{ hab.}$$

3.3.3.2. Proyección geométrica

Esta proyección es aplicable a poblaciones que se encuentran en pleno desarrollo y que cuentan con suficientes áreas de expansión.

$$P = Pa \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Donde:

P : Población futura

Pa : Población actual

r : Tasa de crecimiento poblacional

n : Periodo de diseño

$$P = 730 \times \left(1 + \frac{1.50}{100}\right)^{20}$$

$$P = 984 \text{ hab.}$$

3.3.3.3. Proyección exponencial

En esta proyección la tasa de crecimiento poblacional aumenta con el tiempo en proporción con el tamaño de la población, por lo que se esperaría el máximo desarrollo.

$$P = Pa \times e^{\frac{r \times n}{100}}$$

Donde:

P : Población futura

P_a : Población actual

r : Tasa de crecimiento poblacional

n : Periodo de diseño

$$P = 730 \times e^{\frac{1.50 \times 20}{100}}$$

$$P = 986 \text{ hab.}$$

3.3.4. Población futura

Dadas las características de la población, consideramos que la proyección de crecimiento que más se ajusta es la proyección aritmética, ya que se recomienda para poblaciones pequeñas que comienzan a desarrollarse. Además, en ningún caso la población futura puede ser mayor a 1.35 veces la población actual. Por lo tanto, establecemos la población futura en 949 habitantes.

Tabla 12

Población de diseño

Proyecto	Población de diseño (P)
Sistema de alcantarillado sanitario y pluvial de El Porvenir	949 hab.

3.4. Densidad poblacional

Con lo anterior, podemos definir la densidad poblacional del proyecto, que es la cantidad de habitantes por unidad de superficie, por lo que:

$$Dp = \frac{P}{A}$$

Donde:

P : Población futura

A : Área del proyecto

$$Dp = \frac{949 \text{ hab.}}{18.84 \text{ ha}}$$

$$Dp = 50.37 \text{ hab.} \approx 51 \text{ hab.}$$

3.5. Caudales de aguas servidas

3.5.1. Caudal medio diario de aguas servidas (Q_m)

Es el caudal promedio de aguas servidas generadas por la población, en el que se relacionan la población de diseño, la dotación de agua recibida y las pérdidas del sistema.

El caudal medio diario de aguas residuales se calcula de acuerdo a la siguiente expresión, indicada por la OPS (2005).

$$Q_m = \frac{C \times P \times D}{86400}$$

Donde:

Q_m : Caudal medio diario (l/s)

C : Coeficiente de retorno

P : Población de diseño (habs.)

D : Dotación de agua (l/habs.día)

3.5.1.1. Coeficiente de retorno

El coeficiente de retorno refleja, el porcentaje de agua provista que se pierde y no ingresa a las redes de alcantarillado. La cantidad de agua que se suministra a una población es mayor a la cantidad de aguas servidas que genera. Adoptaremos como coeficiente de retorno un valor de 0.80.

3.5.1.2. Dotación de agua

La dotación de agua hace referencia a la cantidad de agua que consume diariamente, en promedio anual, cada habitante. La cantidad que el usuario utiliza está relacionada

con la facilidad de acceso al servicio. Al no disponer de datos propios del lugar, consideraremos una dotación de 200 l/habs./día, en el que se incluye los consumos doméstico, industrial, comercial e institucional (Carrera Falcón, 2000).

3.5.2. Caudal máximo horario de aguas servidas (Q_{mh})

Para dimensionar los componentes del alcantarillado sanitario es preciso establecer el caudal máximo horario de aguas servidas, debido a que estos caudales varían considerablemente a lo largo del día. La OPS (2005) indica que el caudal máximo horario se determina de acuerdo a:

$$Q_{mh} = K \times Q_m$$

Donde:

Q_{mh} : Caudal máximo horario (l/s)

K : Coeficiente de mayoración

Q_m : Caudal medio diario (l/s)

3.5.2.1. Coeficiente de mayoración

El coeficiente de mayoración indica la relación entre el caudal medio diario y el caudal máximo horario de aguas servidas y es inversamente proporcional al tamaño de la

población. Se puede determinar este coeficiente mediante la expresión propuesta por Flores (OPS, 2005), que es la siguiente:

$$K = \frac{7}{P^{0.1}}$$

Donde:

K : *Coficiente de mayoración*

P : *Población futura (habs.)*

3.5.3. Caudal de aguas ilícitas (*Q_e*)

Al caudal de diseño de aguas servidas se le debe adicionar, un caudal proveniente de conexiones clandestinas que incorpora aguas lluvias al sistema, y otro producido por malas conexiones o conexiones erradas. Para el efecto, se asume para aguas ilícitas un 10% del caudal máximo horario de aguas servidas.

3.5.4. Caudal de infiltración (*Q_i*)

Este caudal es el producido por la infiltración de aguas del subsuelo hacia las redes de alcantarillado, debido principalmente a fisuras en las tuberías, en las juntas entre tuberías, y en la unión con los pozos de revisión. Considerando que, el nivel freático es bajo y que el material de la tubería proyectada es PVC con uniones de caucho, se estima un caudal

de 0.05 l/s/km de tubería, como recomienda la OPS (2005), basada en la Norma boliviana NB 688-01 de alcantarillado sanitario, con amplia experiencia en el tema.

3.5.5. Caudal de diseño de aguas servidas (Qd)

El caudal de diseño de aguas servidas, para el dimensionamiento de la red, corresponde a la suma del caudal máximo horario, el caudal de aguas ilícitas y el caudal de aguas de infiltración, según la OPS (2005).

$$Qd = Qmh + Qe + Qi$$

Donde:

Qd : Caudal de diseño

Qmh : Caudal máximo horario

Qe : Caudal de aguas ilícitas

Qi : Caudal de infiltración

3.6. Caudales de aguas lluvias

3.6.1. Sistema de drenaje

Para un sistema de drenaje de aguas lluvias de una localidad, se supone un sistema de micro drenaje, que comprende pavimentos, cunetas, sumideros y colectores; y un sistema de macro drenaje, constituido por grandes colectores (canales, esteros y ríos) (CPE INEN 5 Parte 9.1). Como por el área de la localidad en estudio, no atraviesa un cuerpo de agua superficial, ni se presentan pendientes pronunciadas que generen cursos de agua importantes, se considerará sólo un sistema de micro drenaje.

3.6.2. Periodo de retorno

El periodo de retorno, es el tiempo promedio en el cual se espera que un evento sea igualado o superado. Los sistemas de micro drenaje deben diseñarse para el escurrimiento cuya ocurrencia tenga un periodo de retorno entre 2 y 10 años (CPE INEN 5 Parte 9.1). Para el proyecto asumimos un periodo de retorno de 10 años, debido a que en la zona es de alta pluviosidad.

3.6.3. Caudal de escurrimiento superficial (Q)

Para calcular el caudal de escurrimiento se utilizará el método racional, que es adecuado para cuencas tributarias de superficie inferior a 100 ha, como es el caso de

estudio (CPE INEN 5 Parte 9.1). El caudal de escurrimiento se lo determina mediante la fórmula:

$$Q = 0.00278 \times C \times I \times A$$

Donde:

Q : Caudal de escurrimiento (m^3/s)

C : Coeficiente de escurrimiento

I : Intensidad de lluvia (mm/h)

A : Área de la cuenca (ha)

3.6.4. Coeficiente de escurrimiento (*C*)

El coeficiente de escurrimiento es la relación entre los volúmenes totales de escurrimiento superficial y los de precipitación (CPE INEN 5 Parte 9.1). Para periodos de retorno entre 2 y 10 años, se recomienda los siguientes valores del coeficiente:

Tabla 13

Valores del coeficiente de escurrimiento

Tipo de zona	Valor
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas	0.70 – 0.90
Zonas adyacentes al centro, de menor densidad poblacional, con calles pavimentadas	0.70
Zonas residenciales medianamente pobladas	0.55 – 0.65
Zonas residenciales con baja densidad	0.35 – 0.55
Parque, campos de deporte	0.10 – 0.20

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9.1)

Adoptamos un valor de 0.65 para el coeficiente de escurrimiento, debido a que el suelo de la localidad es de baja permeabilidad. De acuerdo a la tabla anterior, la zona correspondería a una zona residencial medianamente poblada.

3.6.5. Intensidad de lluvia

Debido a que no existen registros pluviográficos del área de estudio, se utilizará la ecuación representativa de las curvas de intensidad, duración, frecuencia, de la zona pluviográfica correspondiente, conforme a la zonificación de intensidades de precipitación indicada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (2015), que se muestra en la Figura 6. De acuerdo a esta zonificación, la localidad El Porvenir se ubica en la zona 11, por lo que las ecuaciones de intensidad que corresponden son las que se indican en la Tabla 14.

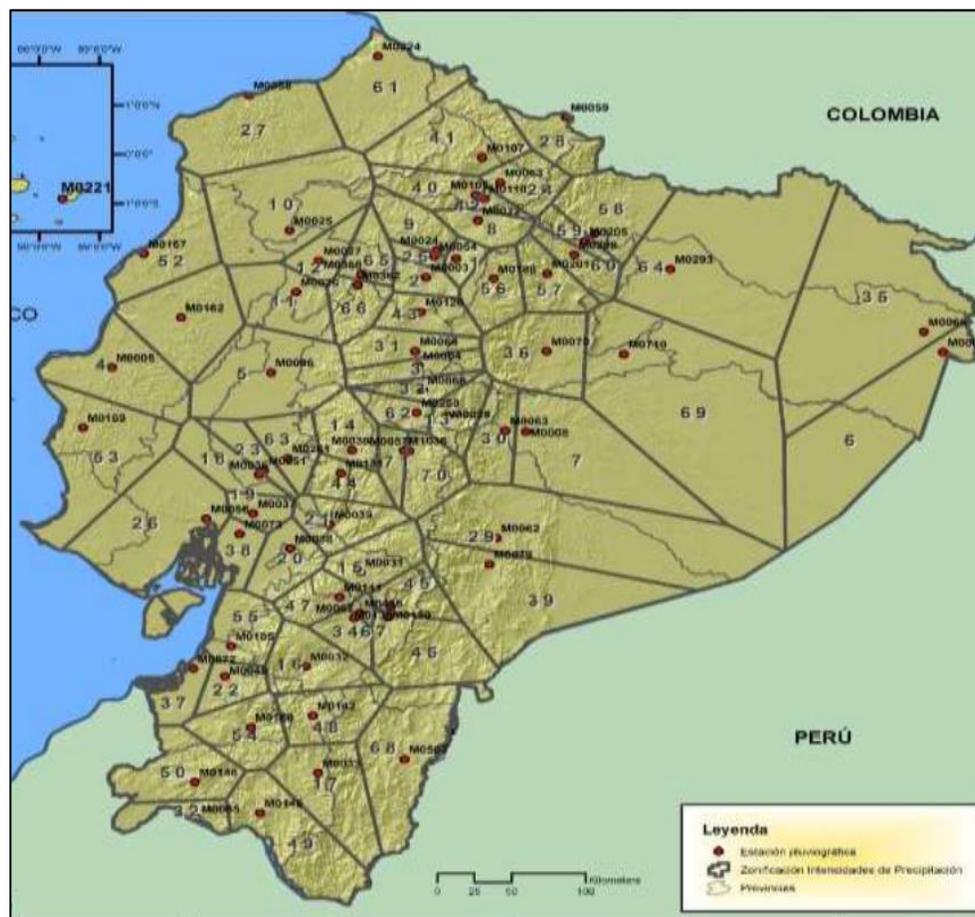


Figura 6. Zonificación de intensidades de precipitación
Fuente: (INAMHI, 2015)

Tabla 14

Ecuaciones de intensidad representativas zona 30

Duración	Ecuación
5 min < 78.43 min	$I_{TR} = 45.25 \times Id_{TR} \times t^{-0.311}$
78.43 min < 1440 min	$I_{TR} = 456.77 \times Id_{TR} \times t^{-0.941}$

Fuente: (INAMHI, 2015)

Donde:

I_{TR} : Intensidad de precipitación (mm/h)

Id_{TR} : Intensidad de precipitación máxima diaria (mm/h)

TR : *Periodo de retorno*

t : *Tiempo de duración de la lluvia (min)*

Para determinar la intensidad de precipitación máxima diaria Id_{TR} , debemos obtener información de la estación meteorológica más cercana a la localidad. La estación más próxima es la M0160 El Carmen, ubicada a 12 km.

En el estudio hidrológico del INAMHI publicado en 2015, se presentan tabuladas intensidades de precipitación máximas diarias Id_{TR} para varios periodos de retorno, de cada estación meteorológica que registra información pluviométrica (pág. 160). Para la estación M0160 y un periodo de retorno de 10 años, el Id_{TR} tiene un valor de 7.44 mm/h.

3.6.6. *Tiempo de concentración*

El tiempo de concentración es igual a la suma del tiempo de llegada más el tiempo de escurrimiento por los colectores hasta el punto en consideración. El tiempo de escurrimiento se lo obtendrá a partir de las características hidráulicas de los colectores recorridos por el agua. El tiempo de llegada es el tiempo necesario para que el escurrimiento superficial llegue desde el punto más alejado hasta el primer sumidero. Este tiempo dependerá de la pendiente de la superficie, del almacenamiento en las depresiones, de la cobertura del suelo, de la lluvia antecedente, de la longitud del escurrimiento, etc. Se recomienda valores entre 10 min y 30 min para áreas urbanas. (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 197)

Para determinar el tiempo de llegada, empleamos la fórmula de Kerby, que es una de las más utilizadas y aplica para longitudes de cuenca menor a 366 m, de acuerdo a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q) (2009).

$$t_{LL} = 1.44 \times \left(\frac{N \times L}{\sqrt{S}} \right)^{0.467}$$

Donde:

t_{LL} : tiempo de llegada (min)

N : Rugosidad superficial

L : Longitud de la cuenca (m)

S : Pendiente de la cuenca (m/m)

El valor de la rugosidad superficial depende del tipo de superficie que se presente. En la Tabla 15 se muestran distintos valores de N en función del tipo de superficie. Debido a la baja permeabilidad que presenta el suelo de la localidad, se asumo un valor de 0.10 para la rugosidad superficial, que corresponde a un suelo compacto continuo.

Tabla 15

Valores de N para la fórmula de Kerby

Tipo de superficie	N
Superficie impermeable continua	0.02
Suelo compacto continuo	0.10
Pasto pobre, camino cultivado o superficie moderadamente rugosa	0.20
Pasturas o pasto medio	0.40
Bosque de coníferas, tierra cubierta de hojas con pastos densos	0.80

Fuente: (EMAAP-Q, 2009)

La escorrentía sobre el terreno, en las zonas urbanas, es un flujo laminar a través de los prados, campos o áreas pavimentadas. La distancia recorrida sobre el terreno, puede estimarse dependiendo de la topografía actual y futura, pero en ningún caso la distancia puede ser mayor de 100 m para el diseño en dichas zonas. (Pérez Carmona, 2013, pág. 164)

Considerando lo anterior, se determinó la pendiente promedio de la superficie por donde escurrirá el flujo desde el punto más alejado de la cuenca hasta el primer sumidero, obteniendo un valor de 1.32%. Además, se halló una longitud de escurrimiento de 80.88 m. En la Figura 8 se muestran la pendiente y longitud obtenidas.

Como resultado, definidos los parámetros y utilizando la fórmula de Kerby, se determinó un tiempo de llegada de 10.50 min. Para el tiempo de escurrimiento por los colectores en cada tramo, se aplicó la expresión que para el efecto indica la EMAAP-Q (2009), y que se indica a continuación.

$$t_{ES} = \frac{L}{60 \times V}$$

Donde:

t_{ES} : *tiempo de escurrimiento (min)*

L : *Longitud de tramo (m)*

V : *Velocidad media en el colector (m/s)*

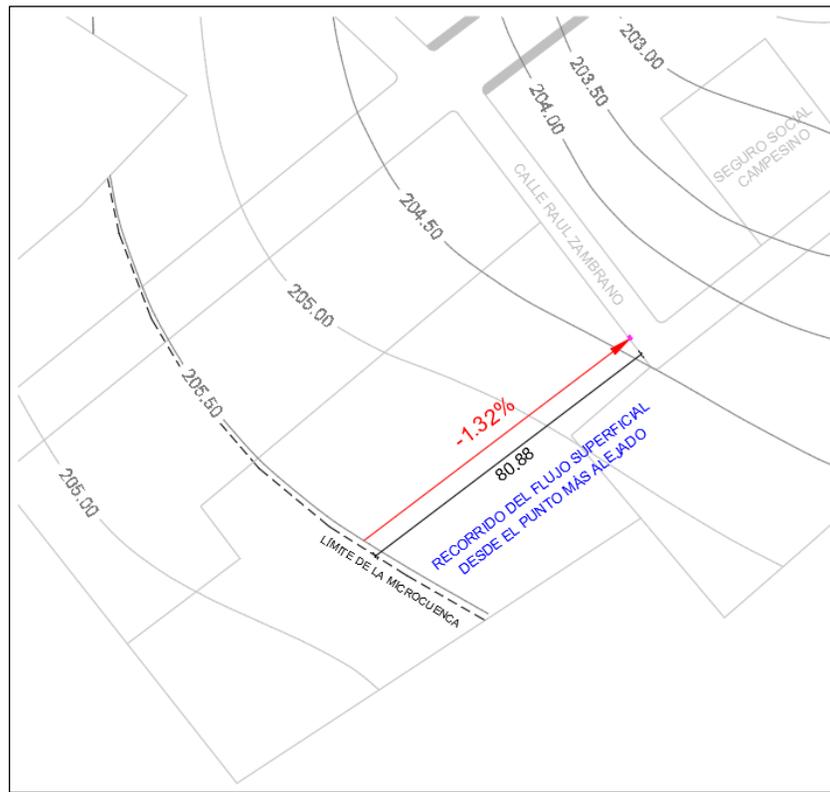


Figura 7. Pendiente promedio y longitud de escurrimiento.

CAPÍTULO IV ALCANTARILLADO SANITARIO

4.1. Criterios de diseño

La condición esencial que debe cumplir un sistema de alcantarillado sanitario, es que durante su funcionamiento exista auto limpieza de los colectores, para limitar la sedimentación de arena y otras sustancias. Generalmente, la condición de auto limpieza se determina por el criterio de la velocidad mínima del fluido y la pendiente a la que esta se alcanza.

4.1.1. Áreas tributarias

Para definir las áreas tributarias del alcantarillado sanitario, se trazaron diagonales en la zona amanzanada de la localidad, para determinar las superficies de aporte a cada tramo de la red. En el Anexo 2 se presenta el trazado de las áreas tributarias.

4.1.2. Fórmulas de diseño

Si consideramos que el caudal y la velocidad media son constantes en un determinado tramo de colector, y que el flujo es uniforme y permanente, podemos utilizar la fórmula

de Manning para calcular las variables de diseño (OPS, 2005), que se detallan a continuación.

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Donde:

V : Velocidad (m/s)

n : Coeficiente de rugosidad

R : Radio hidráulico (m)

S : Pendiente (m/m)

Para tuberías con sección llena:

$$V_o = \frac{0.397}{n} \times D^{2/3} \times S^{1/2}$$

Donde:

V_o : Velocidad a tubo lleno (m/s)

D : Diámetro de la tubería (m)

De la ecuación de continuidad:

$$Q = V \times A$$

El caudal a tubo lleno será:

$$Q_o = \frac{0.312}{n} \times D^{8/3} \times S^{1/2}$$

Donde:

Q_o : Caudal a tubo lleno (m^3/s)

Para secciones parcialmente llenas, se tiene que:

$$R = \frac{D}{4} \times \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)$$

Donde:

θ : ángulo central (rad)

Para determinar el ángulo central θ , se empleará el cálculo mediante métodos numéricos, específicamente el método de Newton-Raphson, dadas las ecuaciones siguientes, cuyos términos ya están definidos.

$$f(\theta) = \frac{8 \times Q_o \times n}{D^2 \times R^{2/3} \times S^{1/2}} + \sin \theta - \theta$$

$$f'(\theta) = \frac{4 \times Q_o \times n}{3 \times D \times R^{5/3} \times S^{1/2}} + \left(\frac{\theta \times \cos \theta - \sin \theta}{\theta^2} \right) + \cos \theta - 1$$

$$\theta' = \theta - \frac{f(\theta)}{f'(\theta)}$$

4.1.3. Coeficiente de rugosidad

El CPE INEN 5 Parte 9.1 recomienda, para tuberías de PVC un coeficiente de rugosidad de 0.011. Por otro lado, la OPS (2005) manifiesta que “para el diseño de alcantarillas nuevas y en la comprobación de la capacidad de alcantarillas existentes bien construidas, se recomienda emplear un coeficiente de rugosidad de Manning y Kutter-Ganguillet (n) de 0.013”. Además indica que:

La resistencia al flujo de una tubería no depende principalmente de su tipo de material, mas bien de un conjunto de factores tales como: la capa de película biológica que se desarrolla en las paredes de las tuberías, el número de conexiones domiciliarias, pozos de registro y otras instalaciones complementarias que perturban el flujo permaneciendo invariables, independientemente del material del conducto. (OPS, 2005)

Con lo anterior expuesto, se cree conveniente adoptar un valor de 0.013 para el coeficiente de rugosidad, para considerar la incertidumbre propia de un proyecto de alcantarillado.

4.1.4. Flujo mínimo

El flujo en los tramos iniciales de una red de alcantarillado sanitario es muy variable. Generalmente, este flujo es máximo cuando se descargan inodoros sanitarios, por lo que, es conveniente asumir un flujo mínimo en el diseño de las redes. El flujo mínimo se establece en 1.50 l/s, equivalente a la descarga de un inodoro.

4.1.5. Velocidad mínima

La velocidad mínima del flujo es fundamental para la auto limpieza de las alcantarillas, y además es crítica para minimizar las pendientes de la red. La velocidad mínima de la red será de 0.45 m/s, para no permitir sedimentación de materia orgánica en el interior de los colectores, de acuerdo al numeral 5.2.1.4 del CPE INEN 5 Parte 9.2.

4.1.6. Velocidad máxima

Establecer una velocidad máxima del flujo se fundamenta en evitar la erosión de las paredes de los colectores por la acción abrasiva de las partículas sólidas transportadas. Esta velocidad depende del material de la tubería, que debe cumplir con las

especificaciones del fabricante. Para tuberías de PVC, el CPE INEN 5 Parte 9.1 recomienda una velocidad máxima de 4.50 m/s.

4.1.7. Tirante de agua máximo

De acuerdo al CPE INEN 5 Parte 9.2, el tirante de agua máximo en las tuberías, no debe superar el 75% del diámetro. A este nivel el fluido casi alcanza la velocidad máxima, además de que la parte restante de la sección funciona como ventilación o sirve para flujos excepcionales.

4.1.8. Tensión tractiva mínima

Con respecto al criterio de tensión tractiva, la OPS (2005) detalla que:

Se considera que este método es el más práctico para calcular alcantarillas que tienen en cuenta la configuración y la sección mojada del conducto. Su aplicación permite el control de la erosión, la sedimentación y la producción de sulfuros, principalmente, en zonas de topografía plana, donde la aplicación del criterio de velocidad mínima arroja resultados menos ventajosos en términos de diámetro, pendiente y profundidad de tuberías.

Por otro lado, la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q) (2009), establece que el valor de tensión tractiva media debe ser mayor o igual a:

$$\tau \geq 1.00 \text{ N/m}^2 (0.10 \text{ Kg/m}^2)$$

La tensión tractiva media esta dada por la expresión:

$$\tau = \gamma \times R \times S$$

Donde:

τ : Tensión tractiva media (Kg/m^2)

γ : Peso específico del agua (Kg/m^3)

R : Radio hudsráulico (m)

S : Pendiente (m/m)

4.1.9. Pendiente mínima

La pendiente mínima del sistema será la que permita tener las condiciones de auto limpieza y control de gases adecuadas. De esta forma, para sistemas de alcantarillado simplificado, la OPS (2005) establece una pendiente mínima de 0.6% en los tramos iniciales.

4.1.10. Pendiente máxima

La pendiente máxima será aquella con la que se obtenga la velocidad máxima real, dependiendo del material de la tubería y de las especificaciones técnicas del fabricante.

4.1.11. Diámetro mínimo

La OPS (2005) recomienda un diámetro mínimo de 150 mm para sistemas de alcantarillado simplificado. Ese diámetro de tubería no se comercializa en el país, por lo que adoptaremos un diámetro interior mínimo de 160 mm.

CAPÍTULO V ALCANTARILLADO PLUVIAL

5.1. Criterios de diseño

El alcantarillado pluvial “se diseña y construye para recibir, conducir y disponer las aguas lluvias producto de la precipitación, puede caer en forma líquida, granizo o de nieve” (Pérez Carmona, 2013, pág. 6).

5.1.1. Áreas tributarias

Para definir las áreas de drenaje pluvial, se zonificó la localidad en base a la topografía y al trazado de sus avenidas. En el Anexo 3 se presentan las áreas tributarias para el sistema de alcantarillado pluvial.

5.1.2. Trazado de la red

Las tuberías de la red de alcantarillado pluvial deben ubicarse en el centro de la calzada. De igual manera, la profundidad a la que se instalen debe ser suficiente para recoger las aguas lluvias de los predios a un lado y otro de la calzada (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 190).

5.1.3. Diámetro mínimo

El diámetro interior mínimo que debe usarse en tuberías de alcantarillado pluvial es 250 mm (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 190).

5.1.4. Velocidad mínima

Para alcantarillado pluvial, la velocidad mínima es de 0.90 m/s para caudal máximo instantáneo en cualquier parte del año (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 191).

5.1.5. Velocidad máxima

La velocidad máxima permisible del flujo, esta en función del tipo de material de las tuberías que se utilicen. Para tuberías de PVC, la EMAAP-Q (2009) fija una velocidad máxima de 7.50 m/s. De todas formas, “las velocidades máximas permisibles en alcantarillado pluvial pueden ser mayores que aquellas adoptadas para caudales sanitarios continuos, pues los caudales de diseño del alcantarillado pluvial ocurren con poca frecuencia” (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 190).

5.1.6. Pendiente mínima

“La pendiente de cada tramo de tubería debe ser tan semejante a la del terreno como sea posible, con objeto de tener excavaciones mínimas, pero se deberá proyectar con

una pendiente mínima del 0.50%” (EMAAP-Q, 2009, pág. 100). Acogeremos esta disposición para los tramos iniciales. En los tramos posteriores disminuirémos un poco la pendiente para evitar profundizar demasiado los colectores.

5.1.7. Profundidad hidráulica máxima

“Para permitir aireación adecuada del flujo de aguas pluviales en conductos cerrados, el valor máximo permisible de la profundidad hidráulica para el caudal de diseño en un colector debe estar entre 70% y 85% del diámetro” (EMAAP-Q, 2009, pág. 100).

5.1.8. Fórmulas de diseño

Para el cálculo hidráulico de la red de alcantarillado pluvial, se emplearán las fórmulas de diseño presentadas en la sección 4.1.2 de este documento, que corresponde a alcantarillado sanitario.

5.2. Cunetas

Según el numeral 5.2.4, octava parte, del CPE INEN 5 Parte 9.1, la capacidad de conducción de una cuneta se calcula usando la la fórmula de Manning modificada por Izzard, que se presenta a continuación:

$$Q = 0.375 \times \left(\frac{Z}{n}\right) \times l^{1/2} \times y^{8/3}$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/s)

Z : Inverso de la pendiente transversal de la calzada

n : Coeficiente de Manning

l : Pendiente longitudinal de la cuneta

y : Tirante de agua en la cuneta (m)

El proyecto contempla el diseño de cunetas tipo, en el que se asume una pendiente transversal de la calzada de 1%, coeficiente de Manning de 0.016, pendiente longitudinal de la cuneta de 0.50% y un tirante de agua de 5 cm; con lo que se obtiene una capacidad de conducción de 56.23 l/s. En la Figura 8 se presenta un esquema de la cuneta tipo adoptada.

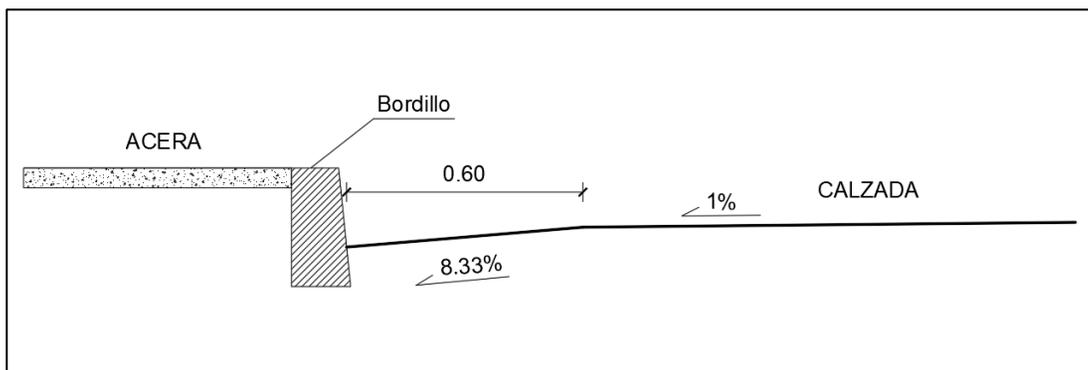


Figura 8. Corte de cuneta tipo

5.3. Sumideros

“Son las estructuras destinadas a captar el agua que escurre por las cunetas de las calles y descargarla en la red de alcantarillado” (EMAAP-Q, 2009, pág. 117). Para el proyecto se adoptan sumideros tipo horizontal en solera de cuneta, de acuerdo a la clasificación de la EMAAP-Q. La capacidad de este tipo de sumidero viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = Cc \times K \times (1 - P/100) \times L \times B \times (2 \times g \times H)^{0.5}$$

Donde:

Q : Caudal interceptado por el sumidero (m^3/s)

Cc : Coeficiente de reducción para sumideros en cunetas (0.60)

K : Relación entre el área de orificios de la reja y su área total

P : Porcentaje de obstrucción debido a basura (se recomienda $P = 50$)

L : Longitud del sumidero (m)

B : Ancho del sumidero (m)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

H : Profundidad de la cara superior de la reja respecto al agua

De acuerdo a lo anterior, y considerando rejas de sumidero de hierro fundido de 0.50 m x 0.36 m, relación área orificios y área total de 0.50, la capacidad hidráulica del

sumidero es de 22.36 l/s. En la Figura 9 se presenta un esquema del sumidero horizontal en solera de cuneta.

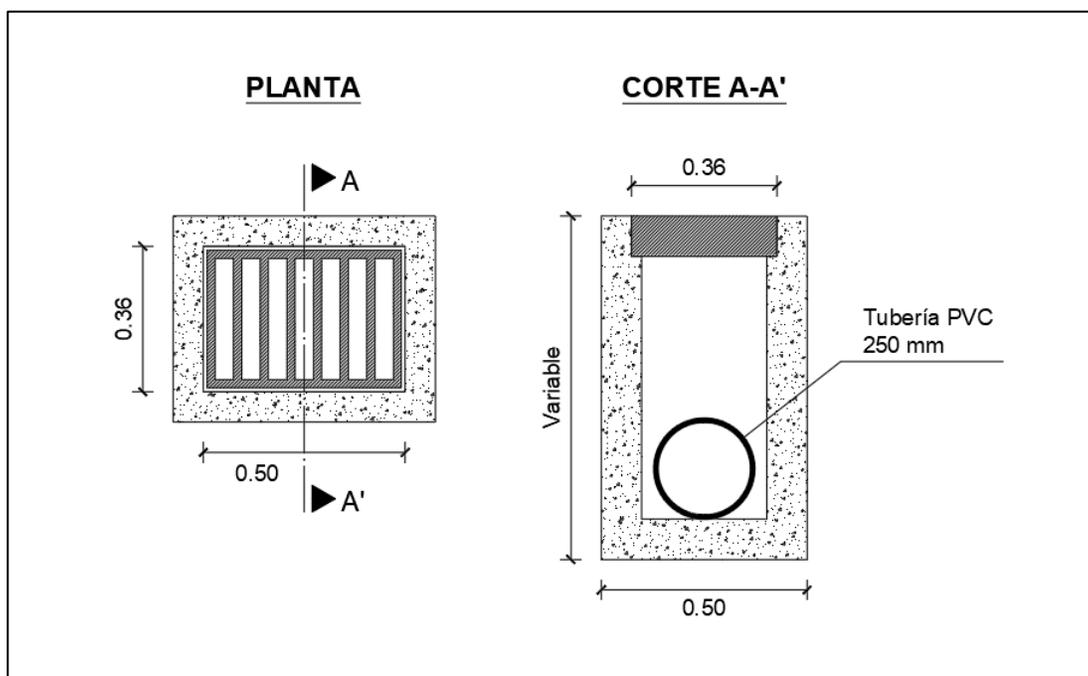


Figura 9. Esquema de sumidero horizontal en solera de cuneta

“El número y localización de los sumideros debe garantizar la evacuación de todo el caudal de escorrentía pluvial” (EMAAP-Q, 2009, pág. 117). El colector de conexión entre la cámara del sumidero y el sistema de alcantarillado pluvial tendrá un diámetro de 250 mm, de acuerdo al cálculo hidráulico realizado.

CAPÍTULO VI TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

Antes de realizar el diseño del sistema de tratamiento de aguas servidas, se debe determinar la calidad del cuerpo receptor, para obtener el grado de tratamiento que debe cumplirse antes de la descarga del efluente. (CPE INEN 5 Parte 9.1). Para el proyecto, el cuerpo receptor es el río La Esperanza que pasa cerca de la localidad, y que se muestra en la Figura 9.



Figura 10. Río La Esperanza, cerca de la localidad

6.1. Calidad del cuerpo receptor

De acuerdo al numeral 5.1, novena parte, del CPE INEN 5 Parte 9.1, para el caso en estudio es suficiente el diagnóstico de la calidad del cuerpo receptor en términos de niveles de bacterias (generalmente coliformes fecales). Sin embargo, se realizó un análisis más completo de una muestra puntual, en el que se determinaron los parámetros mostrados en la Tabla 16, con sus respectivos resultados. En el Anexo 10 se presenta el informe de resultados completo de la calidad del cuerpo receptor.

Tabla 16

Calidad del cuerpo receptor

Parámetro	Resultado	Unidad
Demanda bioquímica de oxígeno	54	mg/l
Sólidos disueltos	45	mg/l
Oxígeno disuelto	3.60	mg/l
Nitratos	<1.00	mg/l
Nitritos	0.03	mg/l
Recuento de coliformes totales	3.6×10^4	UFC/100ml
Recuento de coliformes fecales	7.6×10^2	UFC/100ml

6.2. Grado de tratamiento

“El objetivo del tratamiento es la remoción de características indeseables de las aguas residuales a un nivel igual o menor que el determinado en el grado de tratamiento, para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor” (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág.

219). Por lo tanto, la eficiencia mínima de remoción requerida del sistema de tratamiento es la que mantenga la calidad del cuerpo receptor, determinada en el apartado anterior.

6.3. Caudales de aguas servidas

En el caso de sistemas nuevos se determinará el caudal medio de diseño a base de la dotación de agua potable multiplicada por la población y un factor entre 0,75 y 0,80 más los caudales de infiltración, de aguas ilícitas y de aportaciones institucionales e industriales. (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 221).

De acuerdo a lo determinado en el Capítulo IV correspondiente a alcantarillado sanitario, para una población futura de 949 hab. y adoptando un factor de 0.80 con el que se tiene mayor caudal, en la descarga del sistema a la planta de tratamiento, el caudal medio de aguas servidas (Q_m) será de 2.666 l/s, y el caudal máximo horario (Q_{mh}), de 7.106 l/s.

6.4. Caracterización de aguas residuales.

Conforme al CPE INEN 5 Parte 9.1, décima parte, numeral 4.3.7, en localidades sin sistema de alcantarillado, la caracterización de aguas servidas debe realizarse calculando las masas de los parámetros más importantes, en base a los aportes per cápita que se indican en la Tabla 17.

Tabla 17*Aportes per cápita para aguas residuales domésticas*

Parámetro	Intervalo	Valor sugerido
DBO 5 días, 20 °C, g/(Hab.d)	36 – 78	50
Sólidos en suspensión, g/(Hab.d)	60 – 115	90
NH ₃ -N como N, g/(Hab.d)	7.4 – 11	8.4
N Kjeldahl total como N, g/(Hab.d)	9.3 – 13.7	12.0
Coliformes totales, NMP/(Hab.d)	2x10 ⁸ – 2x10 ¹¹	2x10 ¹¹
Salmonela Sp., #/(Hab.d)	-	10 ⁸
Nematodos intestinales	-	4x10 ¹¹

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9.1)

Conforme a estos aportes, para la población futura de 949 habitantes y un caudal medio de aguas servidas de 2.665 l/s, la concentración en el afluente de los parámetros antes mencionados, es la que se presenta a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18*Concentración de parámetros en el afluente*

Parámetro	Concentración
DBO	206 mg/l
Sólidos en suspensión	371 mg/l
NH ₃ -N como N	35 mg/l
N Kjeldahl total como N	49 mg/l
Coliformes totales	8.24x10 ⁷ NMP/100ml
Salmonela Sp.	4.12x10 ⁴ #/100ml
Nematodos intestinales	1.65x10 ⁸ #/100ml

6.5. Proceso de tratamiento

La norma ecuatoriana de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, establece límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (pág. 45). La concentración máxima permisible de DBO es 100 mg/l, y se debe remover el 100% de

coliformes fecales cuando la concentración supere los 3000 NMP/100 ml. Sin embargo, plantearemos un sistema de tratamiento para que la calidad del efluente después del proceso de depuración, sea como mínimo la calidad del cuerpo receptor.

Por otro lado, el CPE INEN 5 Parte 9.1 presenta una guía para seleccionar los procesos de tratamiento de aguas servidas, en función del grado de remoción de ciertos parámetros (pág. 224). Estos valores se muestran en la Tabla 19. “El tratamiento mínimo que deberán recibir las aguas residuales domésticas antes de su descarga a ríos es lagunas de estabilización” (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 226), lo que significa una remoción del 70% en términos de DBO. Sin embargo, para que el efluente alcance la calidad del cuerpo receptor, se necesita un proceso que remueva el 74% de DBO.

Tabla 19
Procesos de tratamiento y grado de remoción

Proceso de tratamiento	DBO	Remoción %	
		Sólidos suspendidos	Ciclos log ₁₀
		Bacteria	Helminto
Sedimentación primaria	25 – 40	40 – 70	0 – 1
Lodos activados (a)	55 – 95	55 – 95	0 – 2
Filtros percoladores (a)	50 – 95	50 – 92	0 – 2
Lagunas aireadas (b)	80 – 90	(c)	1 – 2
Zanjas de oxidación (d)	90 – 98	80 – 95	0 – 1
Lagunas de estabilización (e)	70 – 85	(c)	1 – 6

(a) Precedidos y seguidos de sedimentación

(b) Incluye laguna secundaria

(c) Dependiendo del tipo de lagunas

(d) Seguidas de sedimentación

(e) Dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, periodo de retención y formas

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9.1)

El proceso de tratamiento que se plantea para alcanzar este objetivo consiste en: obras de llegada, cajón de llegada y bypass de derivación; tratamiento preliminar, cribas medias de limpieza manual y medidor de caudal; tratamiento preliminar, tanque de sedimentación manual; y como tratamiento secundario, un humedal artificial sub superficial de flujo horizontal. En la Figura 11 se presenta el esquema del proceso de depuración.

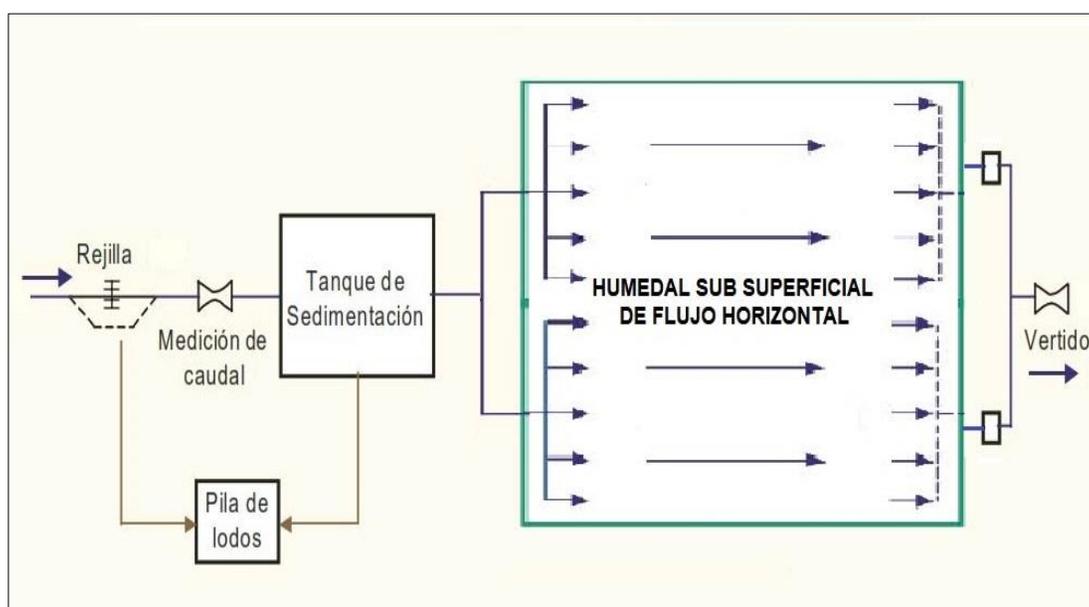


Figura 11. Proceso de tratamiento de aguas servidas.

6.6. Componentes del sistema

6.6.1. Obras de Llegada

Las obras de llegada del sistema de tratamiento son el conjunto de facilidades ubicadas entre el punto de llegada del emisario y los procesos de tratamiento preliminar (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 228).

6.6.1.1. Cajón de Llegada y Bypass

Se deberá proyectar un cajón de llegada del interceptor con facilidades para romper la presión de llegada y uniformizar velocidades. Inmediatamente después del cajón de llegada se ubicarán las facilidades de bypass de la planta. La existencia, tamaño y condiciones de diseño de estas facilidades serán debidamente justificadas teniendo en cuenta los tipos de procesos de la planta y sobre todo el funcionamiento en condiciones de mantenimiento correctivo de uno o varios de los procesos. (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 228).

6.6.2. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar son los “procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario” (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 219). En el sistema propuesto, contiene la utilización de una criba (rejilla) para tratamiento preliminar.

6.6.2.1. Cribas

La finalidad de las cribas es proteger las unidades de tratamiento del sistema contra el atascamiento de sólidos gruesos y material fibroso. “Aún en los procesos de pretratamiento y de tratamiento más simples son indispensables para impedir la obstrucción de vertederos, facilidades de división de flujo y la formación de natas, de modo que deben utilizarse en toda planta de tratamiento” (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 228).

6.6.3. Tratamiento primario

“El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga del tratamiento biológico” (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 231).

6.6.3.1. Tanque de sedimentación

Un tanque de sedimentación es una estructura rectangular o circular, en el que se lleva a cabo el proceso de sedimentación primaria, donde se remueve una cantidad significativa de materia orgánica en suspensión (CPE INEN 5 Parte 9.1, pág. 217). Para el proyecto se dimensionó un tanque de 1.20 m de ancho, por 4.80 m de largo, y por 2.50 m de profundidad; como resultado se tiene una carga superficial de 39.38 m³/d y un

periodo de retención nominal de 1.5 h. Este proceso remueve de 25% a 40% de DBO, como se indicó en la Tabla 19.

6.6.4. Humedal artificial sub superficial (biofiltro)

Un biofiltro es un sistema que imita a los humedales naturales (pantanos), donde las aguas residuales se depuran por procesos naturales. Los biofiltros son humedales artificiales de flujo subterráneo, diseñados para maximizar la remoción de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales.

Los biofiltros son pilas de poca profundidad rellenas con un material que sirve como lecho filtrante, en cuya superficie se siembran plantas de pantano, y en las que las aguas residuales pre tratadas fluyen en sentido horizontal o vertical. (Water and Sanitation Program (WSP), 2006, pág. 11).

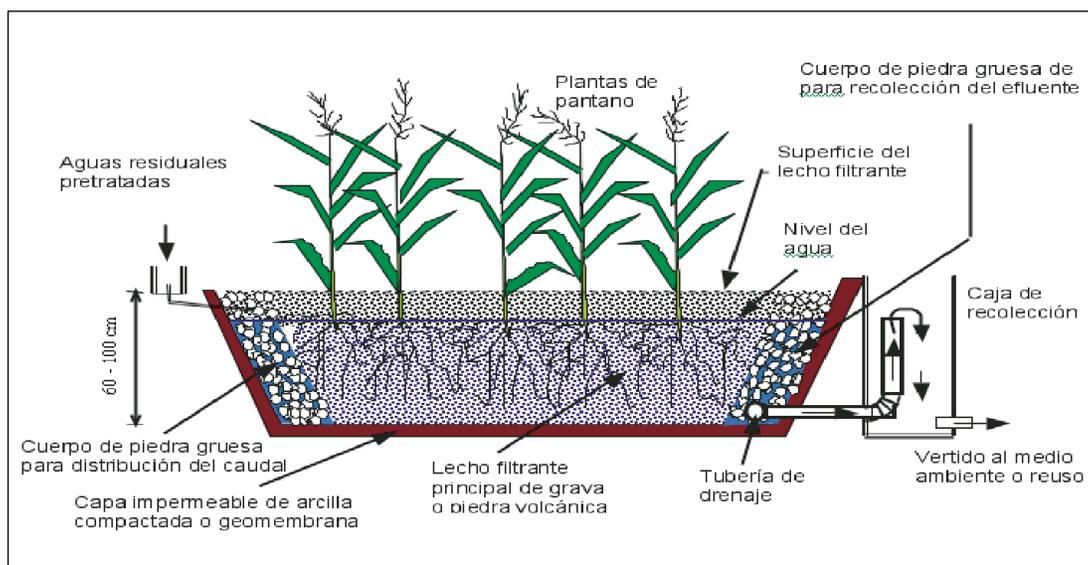


Figura 12. Sección longitudinal de un humedal de flujo horizontal.

Fuente: (Water and Sanitation Program (WSP), 2006)

Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización. Reemplazan así el tratamiento secundario e inclusive, bajo ciertas condiciones, al terciario y primario de las aguas residuales. (Universidad Mayor de San Simón, 2010, pág. 15).

En primer lugar, determinamos el área superficial necesaria para disminuir la concentración del parámetro contaminante DBO (Universidad Mayor de San Simón, 2010, pág. 40), mediante la siguiente expresión:

$$AS = \frac{Qm \times \ln\left(\frac{Co}{C}\right)}{K_T \times h \times n}$$

Donde:

Qm : Caudal medio de diseño (m^3/d)

Co : Concentración del afluente

C : Concentración del efluente

K_T : Constante de reacción de primer orden

h : Profundidad del humedal (m)

n : Porosidad del medio granular

El valor de *K_T* se calcula con la formula siguiente, donde *T₂* es la temperatura del agua residual.

$$K_T = 1.104 \times 1.06^{T_2-20}$$

En la Tabla 20 se presenta valores de tamaño efectivo, conductividad hidráulica y porosidad, para distintos materiales usados en el diseño y construcción de humedales sub superficiales de flujo horizontal.

Tabla 20

Propiedades de materiales para humedales

Tipo de material	Tamaño efectivo D10 (mm)	Conductividad hidráulica $m^2/m^2/d$	Porosidad %
Arena gruesa	2	100 – 1000	28 – 32
Arena gravosa	8	500 – 5000	30 – 35
Grava fina	16	1000 – 10000	35 – 38
Grava media	32	10000 – 50000	36 – 40
Roca gruesa	128	50000 – 250000	38 – 45

Fuente: (Universidad Mayor de San Simón, 2010)

Conocida el área superficial, se establece el largo y ancho del humedal adoptando una relación largo/ancho conocida. Luego, se verifica la capacidad hidráulica del humedal aplicando la ley de Darcy, como sigue a continuación;

$$Q = At \times ks \times s$$

Donde:

Q : Capacidad hidráulica del humedal (m^3/d)

At : Área transversal del humedal (m)

ks : Conductividad hidráulica del sustrato ($m^3/m^2/d$)

s : Pendiente longitudinal (m/m)

Considerando lo anterior, se obtuvo un humedal de 20.00 m de ancho por 30.00 m de largo, y de 0.80 m de profundidad. La concentración del afluente en términos de DBO fue de 154 mg/l, 28 °C de temperatura de las aguas residuales, y una porosidad del material de sustrato de 0.38, que corresponde a una grava fina de 16 mm de tamaño efectivo. La conductividad hidráulica asumida del material fue de 10000 m³/m²/d, más una pendiente del humedal del 0.5%, resultaron en una capacidad hidráulica del humedal de 240 m³/d, superior al caudal medio de aguas residuales que es de 230.34 m³/d. Con todo esto, se logra una reducción del DBO del 65% en este proceso de tratamiento.

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se realizó el diseño integral del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial para la localidad, que consiste en redes independientes sin interconexión posible. Las aguas servidas son sometidas a un proceso tratamiento antes de ser descargadas al cuerpo receptor.
- Se analizaron las características físicas y socio económicas de la localidad, y se adoptó un periodo de diseño de 20 años, con el que se obtiene una población futura de 949 habitantes.
- Se compararon las características técnicas de los diferentes sistemas de alcantarillado, con lo que se decidió plantear sistemas de recolección separados, de tipo simplificado para el alcantarillado sanitario y convencional para el alcantarillado pluvial.
- El diseño del alcantarillado sanitario se lo realizó siguiendo las recomendaciones de la OPS para el medio rural, con el propósito de emplear criterios de diseño que correspondan a la realidad del sector. Se adoptó como diámetro mínimo de la tubería 160 mm, y en la descarga final se obtuvo un caudal de diseño de 7.106 l/s.
- En el alcantarillado pluvial se obtuvieron grandes caudales de diseño, debido a que la zona es de alta pluviosidad, alrededor de 2500 mm de lluvia anuales. Por esta razón

se escogió un periodo de retorno de 10 años, para evitar la saturación del sistema en temporada lluviosa. Al final de la red se obtuvo un caudal de 4769.07 l/s y una tubería de 1500 mm de diámetro.

- El tratamiento de aguas servidas consiste en procesos manuales a nivel preliminar, primario y secundario, con el fin de que el sistema sea sostenible y aplicable. Como proceso secundario se plantea un humedal sub superficial de flujo horizontal de 20.00 m de ancho, por 30.00 m de largo, y una profundidad de 0.80 m. En todo el conjunto se logra disminuir la concentración del afluente de 206 mg/l de DBO a 54 mg/l, que es la calidad del cuerpo receptor.

7.2. Recomendaciones

- El diseño de sistemas de alcantarillado para el medio rural debe contemplar el uso de criterios y tecnologías adaptadas a la realidad del sector, que correspondan a sus condiciones sociales y económicas, para que puedan ser implementados y sostenidos en el tiempo.
- Se debe fortalecer la cooperación entre Municipalidades e Instituciones de Educación Superior para fomentar el desarrollo de este tipo de proyectos técnicos, que sirvan como base para la toma de decisiones y posterior ejecución.
- Se recomienda la concepción de humedales artificiales en los procesos de tratamiento de aguas servidas, por su sostenibilidad, ecología, fácil operación y óptimos resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carrera Falcón, J. L. (2000). *Nociones preliminares y bases de diseño en los sistemas de abastecimiento de agua potable.*

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial No. 449.

EMAAP-Q. (2009). *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q. Quito.*

GAD Municipal El Carmen. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón El Carmen.*

INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación.*

INEC. (2010). *Indicadores Censos 2010: VII de Población y VI de Vivienda - III Económico.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1992). CPE INEN 5 Parte 9.1. *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1997). CPE INEN 5 Parte 9.2 Primera revisión. *Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.*

Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). Registro Oficial.

Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. (s.f.).

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Objetivos para el desarrollo sostenible*.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (Julio de 2017). Saneamiento. *Nota descriptiva*.
Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs392/es/>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2005). *Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado*.

Pérez Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Ecoe Ediciones. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com>

SENPLADES. (2013). *Plan nacional de desarrollo 2013-2017*.

SENPLADES. (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*.

SENPLADES. (2017). *Plan nacional de desarrollo 2017-2021*.

Universidad de Huancavelica. (2011). Población de diseño. *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Perú. Obtenido de https://ivanayala.files.wordpress.com/2011/12/cp802_capitulo_ii.pdf

Universidad Mayor de San Simón. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia.

Water and Sanitation Program (WSP). (2006). *Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades*. Honduras.

ANEXOS