



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL MUNICIPIO DE  
PALÍN, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA**

**Daniel Esaú López Hernández**

Asesorado por el Ing. Edgar Gehovany Dávila

Guatemala, junio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL MUNICIPIO DE  
PALÍN, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**DANIEL ESAÚ LÓPEZ HERÁNDEZ**  
ASESORADO POR EL ING. EDGAR GEHOVANY DÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

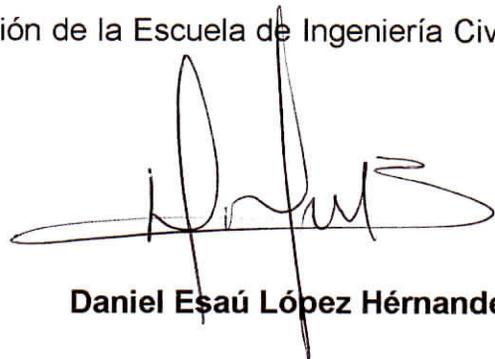
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Claudio Cesar Castañon Contreras
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN PALÍN, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 31 de mayo 2012.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Daniel Esaú López Hernández', written over a horizontal line.

**Daniel Esaú López Hernández**

Guatemala, 23 de mayo de 2,014

Licenciado  
Manuel Guillén Salazar  
Coordinador del Area de Planeamiento  
Guatemala

Distinguido Licenciado Guillén:

Con todo respeto me dirijo a usted para informarle que he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado "ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES, EN EL MUNICIPIO DE PALÍN, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTRO AMERICA", del estudiante Daniel Esáu López Hernández. Este trabajo que se presenta, después de la última revisión cumple con los objetivos planteados al inicio así como con la calidad requerida para un trabajo de tesis, por lo que manifiesto la aceptación del mismo.

Agradeciendo su atención a la presente, lo saludo muy atentamente:



Ing. Edgar Gehovany Dávila Díaz  
Asesor

**EDGAR GEHOVANY DAVILA DIAZ**  
**INGENIERO CIVIL**  
COLEGIADO No. 2,966



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,

24 de abril de 2014

Ingeniero  
 Hugo Leonel Montenegro Franco  
 Director Escuela Ingeniería Civil  
 Facultad de Ingeniería  
 Universidad de San Carlos

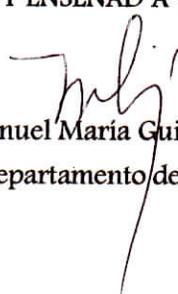
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Daniel Esaú López Hernández, quien contó con la asesoría del Ing. Edgar Gehovany Davila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
 Lic. Manuel María Guillén Salazar  
 Jefe del Departamento de Planeamiento



/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Edgar Gehovany Dávila Díaz y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Daniel Esaú López Hernández, titulado **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL MUNICIPIO DE PALÍN, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio 2014.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN PALÍN, ESCUINTLA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA**, presentado por el estudiante universitario: **Daniel Esaú López Hernández** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, julio de 2014



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Ya que todo lo que tengo es gracias a Él.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Mis padres**

Lic. Rodolfo López Santos y Olga Hernández del Cid por su apoyo, ayuda y amor.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ÁREAS DE ESTUDIO Y CARÁCTERÍSTICAS FÍSICAS.....	1
1.1. Breve reseña histórica .....	1
1.2. Posición y distribución geográfica.....	3
1.2.1. República de Guatemala .....	3
1.2.2. Departamento de Escuintla.....	7
1.2.3. Municipio de Palín .....	8
1.3. Hidrografía.....	9
1.3.1. Funciones que cumplen las cuencas hidrográficas .....	9
1.3.2. Ciclo hidrológico .....	10
1.3.3. Descripción de la cuenca y subcuenca.....	11
1.3.4. Cuenca María Linda .....	12
1.3.5. Subcuenca río Michatoya .....	12
1.4. Clima .....	13
1.5. Suelos.....	15
1.5.1. Suelos Palín.....	15
1.5.2. Suelos Escuintla .....	16
1.5.3. Suelos Pacaya.....	16
1.6. Sistema de red vial .....	17

1.7.	Tipos de residuos.....	17
1.7.1.	Residuos municipales.....	18
1.7.1.1.	Factores dañinos.....	18
1.7.1.2.	Niveles de residuos.....	19
1.7.1.3.	Hábitos.....	20
1.7.2.	Residuos industriales.....	20
1.7.3.	Residuos hospitalarios.....	20
1.7.4.	Síntesis del área de estudio y características físicas.....	21
2.	CARACTERIZACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA Y ECONÓMICA.....	23
2.1.	Datos sociodemográficos.....	23
2.2.	Datos económicos.....	24
2.2.1.	Situación actual de la población en Guatemala y el municipio de Palín.....	24
2.2.2.	Producción agrícola.....	24
2.2.3.	Actividad agrícola y ganadera.....	25
2.2.4.	La industria.....	26
2.3.	Datos de la población y distribución de vivienda.....	26
2.4.	Datos de instituciones educativas.....	29
2.5.	Servicios públicos disponibles.....	30
2.5.1.	Agua potable.....	30
2.5.2.	Alcantarillado sanitario.....	31
2.5.3.	Energía eléctrica.....	31
2.6.	Síntesis de caracterización sociodemográfica y económica.....	32
3.	BASE LEGAL Y CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL ESTUDIO.....	33
3.1.	Leyes básicas.....	33

3.1.1.	Constitución Política de la República de Guatemala .....	33
3.2.	Reglamentos técnicos .....	34
3.2.1.	Reglamento de las Descargas y Rehúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, (Acuerdo Gubernativo 236-2006 del 5 de mayo de 2006).....	34
3.2.2.	Código de salud.....	35
3.2.3.	Instituto de Fomento Municipal (INFOM) .....	36
3.2.4.	Las comunidades.....	37
3.2.5.	Organizaciones privadas .....	37
3.2.6.	Acuerdo Gubernativo 79-2003 Normativa Sobre la Política Marco de la Gestión Ambiental .....	37
3.3.	Reglamentos Ambientales.....	38
3.3.1.	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, (Decreto 68-86).....	38
3.3.2.	Código Municipal (Decreto 12-2002) .....	39
3.4.	Criterios para el diseño de cada componente .....	40
3.4.1.	Obra de llegada .....	42
3.4.2.	Pozo de gruesos.....	42
3.4.3.	Aliviadero.....	43
3.4.4.	Reja de gruesos de pre desbaste .....	43
3.4.5.	Dimensionamiento .....	44
3.4.6.	Estación de bombeo de elevación de agua bruta ...	44
3.5.	Criterios para el diseño hidráulico de las tuberías a gravedad.....	45
3.6.	Síntesis de la base legal y criterios técnicos del estudio .....	45
4.	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....	47

4.1.	Situación actual .....	47
4.1.1.	Población y demanda .....	47
4.1.2.	Fuentes de abastecimiento .....	48
4.1.3.	Almacenamiento.....	48
4.2.	Plantas potabilizadoras .....	49
4.3.	Proyección de consumo de agua potable .....	50
4.4.	Síntesis del abastecimiento de agua potable .....	52
5.	DISPOSICIÓN ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	53
5.1.	Breve resumen de la disposición actual .....	53
5.2.	Redes y ramales existentes y estado .....	56
5.2.1.	Componentes del sistema .....	56
5.2.2.	Receptor final del caudal .....	57
5.3.	Identificación de las cuencas.....	58
5.4.	Descripción de las cuencas.....	58
6.	FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	59
6.1.	Topografía .....	59
6.2.	Zonas y sub zonas de recolección de aguas residuales .....	59
6.3.	Caudales promedio de aguas residuales .....	60
6.4.	Caudales de infiltración .....	61
6.5.	Aspectos ambientales .....	62
6.5.1.	Emisiones a la atmósfera .....	62
6.5.2.	Aguas residuales de origen sanitario .....	62
6.5.3.	Residuos sólidos y peligrosos .....	63
6.5.4.	Movimientos de tierra .....	63
6.6.	Plantas de tratamiento .....	63
6.6.1.	Ubicación.....	64

6.6.2.	Gradualidad del tratamiento.....	65
6.6.3.	Sistema de tratamiento .....	68
6.6.4.	Descripción general de sistemas de tratamiento ....	69
6.6.4.1.	Clasificación de sistemas de tratamiento.....	70
6.6.4.1.1.	Pre tratamiento.....	70
6.6.4.1.2.	Tratamiento primario.....	72
6.6.4.1.3.	Tratamiento secundario.....	76
6.6.4.1.4.	Tratamiento terciario.....	76
6.6.4.1.5.	Desinfección .....	78
6.6.5.	Criterios económicos, técnicos y sociales para evaluación y preselección del tratamiento .....	79
6.6.5.1.	Eficiencia en sistema de tratamiento ...	79
6.6.5.2.	Estudio técnico de las aguas del afluente .....	80
6.6.5.3.	Costos de inversión .....	82
6.6.5.3.1.	Costos directos.....	82
6.6.5.3.2.	Obras civiles .....	83
6.6.5.3.3.	Costos indirectos .....	83
6.6.5.3.4.	Presupuesto de inversión .....	83
6.6.5.3.5.	Costos totales de inversión .....	84
6.7.	Comparación de alternativas .....	86
6.7.1.	Alternativa seleccionada y población a beneficiar .....	87
6.8.	Medidas de mitigación .....	88
6.8.1.	Olores .....	88

	6.8.1.1.	Reforestación .....	89
	6.8.1.2.	Tratamiento líquido.....	90
6.8.2.		Ruido.....	91
	6.8.2.1.	Equipo de baja emisión de ruido .....	91
	6.8.2.2.	Pantallas vegetales .....	91
6.8.3.		Alteración del suelo .....	92
	6.8.3.1.	Impermeabilización para evitar filtraciones .....	92
	6.8.3.2.	Vegetación para evitar erosión y deslaves .....	92
CONCLUSIONES.....			95
RECOMENDACIONES.....			97
BIBLIOGRAFÍA.....			98

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación del departamento de Escuintla .....	7
2.	Casco urbano del municipio de Palín .....	8
3.	Esquema del ciclo del agua.....	11
4.	Proyección de la densidad poblacional 2014-2024 en el municipio de Palín. ....	23
5.	Localización de fuentes de abastecimiento y tanques de almacenamiento en casco urbano del municipio de Palín.....	49
6.	Ubicación de desagües determinados a la orilla del río .....	54
7.	Fotografía del desagüe identificado en el casco urbano .....	55
8.	Fotografía del vertedero de basura y aguas residuales .....	55
9.	Esquema de la localización del alcantarillado .....	57
10.	Esquema de zonas de recolección de aguas residuales.....	60
11.	Esquema de proceso a implementar .....	67
12.	Costos de inversión <i>versus</i> población .....	85

### TABLAS

I.	Ubicación relativa de Palín .....	17
II.	Distribución de la población .....	26
III.	Criterios de diseño exigidos por la base legal.....	41
IV.	Parámetros de diseño.....	42
V.	Tipo de abastecimiento de agua potable .....	48
VI.	Proyección de consumo de agua potable .....	50

VII.	Carga unitaria de contaminantes.....	66
VIII.	Tipo de unidad utilizada en cada proceso proyectado.....	67
IX.	Eficiencia de remoción de constituyentes.....	79
X.	Resultados del estudio técnico de aguas residuales del río Michatoya .....	80
XI.	Límites máximos permisibles de descarga a campos rectores para aguas residuales .....	81
XII.	Fuentes de financiamiento.....	84
XIII.	Desglose de costos estimados de inversión.....	85
XIV.	Comparación de costos de inversión.....	86
XV.	Población proyectada .....	87
XVI.	Cálculo de costos estimados proyectados .....	88

## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	Corriente de agua que desemboca en otro. Arroyo o río secundario que desemboca en otro principal.
<b>Aerobio</b>	Microorganismos que necesitan de oxígeno libre para vivir.
<b>Agua potable</b>	Agua sanitariamente segura y agradable a los sentidos del ser humano.
<b>Anaerobio</b>	Microorganismos que no necesitan de oxígeno libre para vivir, tomándolo de la materia que lo rodea.
<b>Bajante</b>	Tubería de desagüe.
<b>Caudal</b>	Cantidad de agua que corre por una tubería en cada unidad de tiempo.
<b>Contaminante</b>	Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, que al incorporarse o actuar con la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, altera o modifica su composición y/o afecta la salud humana.

<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente 5 días y 20 grados Celsius). DBO5.
<b>Descarga</b>	Vertido de las aguas provenientes del colector principal, crudas o tratadas; en un cuerpo receptor.
<b>Efluente</b>	Agua que sale de un proceso de tratamiento.
<b>Floculación</b>	Proceso de formar agregados de materia orgánica finamente dividida.
<b>Fuente</b>	Lugar de donde se extra el agua, para abastecer a la comunidad.
<b>Lodos</b>	Mezcla de tierra y agua. Barro blando, resultado de la depuración de las aguas residuales.
<b>Pre tratamiento</b>	Proceso de tratamiento localizado antes del tratamiento primario.
<b>Putrescible</b>	Que puede pudrirse y fácilmente se pudre.
<b>Sedimentación</b>	Formación de sedimentos que se van acumulando a través del tiempo.
<b>Suspensión</b>	Estado de un cuerpo dividido en partículas muy finas y mezclado con un fluido sin disolverse en él.

**Tratamiento**

La remoción en las aguas negras, por métodos físicos, químicos y biológicos, de materia en suspensión, coloidal o disuelta.

**Vetiver**

El pasto vetiver es una gramínea que ha generado mucho interés a nivel mundial como una tecnología tradicional para la conservación de los suelos y agua.



## RESUMEN

El agua es un elemento indispensable para la vida de todo ser sobre la tierra e imprescindible como herramienta de trabajo y desarrollo de la población en Guatemala, por lo que resulta de suma importancia el cuidado tanto del abastecimiento de aguas potable y limpia para su utilización y la adquisición de métodos para que la misma pueda ser ubicada a su origen o reutilizarla.

Las aguas residuales conforman los desechos líquidos a tratar para ser vertidos nuevamente en cuerpos de agua o ser reutilizados en actividades de desarrollo, las aguas servidas son generadas en procesos industriales y domésticos

La gestión de los cuerpos de agua en el país, se hace cada vez más crítica, debido a una mala respuesta del gobierno local en sanidad y educación ambiental.

La implementación de una planta para el tratamiento de aguas servidas originadas en una población es de suma importancia, ya que finalizando el proceso se mejora la calidad de vida de las personas que habitan cerca de los lugares contaminados, aumenta el desarrollo de la biodiversidad de la región, aumenta las posibilidades de reutilizarla en actividades de agricultura y ganadería y reduce costos en desinfectar el vital líquido para el consumo de poblaciones futuras.

Debe nacer una iniciativa de ley que promueva la gestión adecuada de los cuerpos del agua, y se valore verdaderamente el potencial hídrico del país, para garantizar un futuro social y ambientalmente sustentable.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar la pre factibilidad de implementar una planta de tratamiento de aguas servidas en el municipio de Palín, departamento de Escuintla, Guatemala.

### **Específicos**

1. Analizar la actual disposición de las aguas residuales del casco urbano del municipio de Palín, departamento de Escuintla.
2. Proponer soluciones adecuadas de saneamiento aplicables a los habitantes y al medio ambiente.
3. Proponer una alternativa de recolección y tratamiento de las aguas servidas provenientes del casco urbano del municipio de Palín, departamento de Escuintla.
4. Beneficiar a la población con la instalación de una planta de tratamiento, que mejore los aspectos de ambiente y limpieza del lugar.
5. Mejorar las condiciones de vida del grupo objetivo.



## INTRODUCCIÓN

El cuidado de los cuerpos de agua es esencial para el desarrollo de una población, esto se logra tratando los problemas de fondo, para que este recurso natural no dañe y perjudique posteriormente el entorno ecológico.

Se estima que en Guatemala más del 90 por ciento de los cuerpos de agua están contaminados, y según Acuerdo Gubernativo 236-2006 del 5 mayo del 2006 en su artículo 24, de seguir la tendencia, para el 2015 el 100 por ciento de las municipalidades deberán de tener algún tipo de tratamiento para las aguas residuales generadas.

El presente estudio de pre factibilidad se desarrolló para el casco urbano del municipio de Palín, del departamento de Escuintla, habiéndose elaborado previamente un diagnóstico, determinándose la existencia de contaminación generado por las aguas residuales domiciliarias.

El estudio determinó el consumo de agua domiciliar, sus fuentes de abastecimiento, para conocer el funcionamiento del abastecimiento de agua potable del casco urbano y la cobertura.

A la vez, se tomarán en cuenta las condiciones en que se vive en el lugar, las aguas residuales generadas y su disposición final, que en su mayoría son adyacentes a viviendas y colonias sumamente pobladas, en donde además se realizan actividades básicas como limpieza y convivencia; está siendo la principal causa del incremento de riesgo de enfermedades en las personas.

Se describe la tecnología de saneamiento de aguas residuales domésticas aplicables al medio guatemalteco. Detallando una estimación de costos, con base a estudios nacionales e internacionales. Se describen las posibles medidas a mitigar una vez que el proyecto empiece su ejecución y finalice la misma, así como su fase de funcionamiento durante su vida útil.

Este proyecto es una iniciativa que nace de una necesidad identificada que afecta a la población de Palín, y que a través de una gestión de financiamiento adecuada a los órganos de decisión de gobierno central, pueda llegarse a realizar el proyecto.

# 1. ÁREAS DE ESTUDIO Y CARÁCTERÍSTICAS FÍSICAS

## 1.1. Breve reseña histórica

El municipio de Palín es un poblado indígena prehispánico de la etnia Poqoman, localizado en la parte noreste del departamento de Escuintla, en el límite con el departamento de Guatemala. Etimología: del náhuatl pali = ancho, extenso, y la terminación in = movimiento, agitación, viento, o sea lugar azotado por el viento (Diccionario Geográfico Nacional). También se conoce la definición de Palinhá: há = agua; palí = estar de pie.

Poco antes de la llegada de los españoles, ya en el siglo XVI, el territorio que habitaban los poqomames era una extensa área con tres centros mayores, Chinautla, Mixco y Nimpoqom, que iba desde Amatitlán y Mixco, en el centro del país, hasta donde convergen las fronteras de Honduras y El Salvador con Guatemala.

En 1525, después de que Pedro de Alvarado mandara destruir y quemar la ciudad de Mixco, conocida actualmente como Mixco Viejo, los indígenas sobrevivientes fueron establecidos en áreas determinadas, con la intención de que no tuvieran forma alguna de comunicarse entre sí, de organizarse nuevamente o de poblar la antigua ciudad. Esta es la razón de fundar nuevos pueblos lejos de la ciudad central de los poqomames con ello se aseguraron que no se convirtieran nuevamente en un grupo de resistencia.

Una considerable cantidad de personas fueron ubicadas entre las faldas del volcán que los indígenas llamaban Hunapú, más conocido como volcán de

Agua, dando origen al pueblo de San Cristóbal Amatitlán, o conforme la legislación colonial (leyes nuevas de 1542), un pueblo de indios.

El nombre del pueblo de San Cristóbal Amatitlán, fue otorgado por los españoles durante el período colonial (1524-1821). Según una versión oral narrada por algunos ancianos de Palín y está relacionada con la fundación del pueblo refiere que en las montañas aledañas al poblado, en un lugar conocido como pueblecito, vivieron los primeros indígenas poqomames, debido al ataque de animales salvajes, los sobrevivientes buscaron otro lugar para poder vivir ubicándose en lo que hoy se conoce como el municipio de Palín.

Al ubicar a cierto grupo de poqomames en esta región, se empezó a construir la iglesia católica, el ayuntamiento y otros edificios públicos, así como las casas con material perecedero, dando forma al único pueblo de indígenas de la costa sur. Navarrete (1961), citado por Alonzo (2007) afirma que los españoles fundaron oficialmente y por ordenanza real, el pueblo de San Cristóbal Amatitlán en el valle de Palinachoy el 31 de Julio 1535, temporalidad en que los primeros poqomames fueron asentados en este lugar, siendo los españoles y frailes de la orden de Santo Domingo los encargados de su administración. San Cristóbal Amatitlán, se convirtió en la cabecera de San Juan Amatitlán (actualmente el municipio de Amatitlán) que también estaba conformada por poqomames.

En 1793, se terminó de redactar una nueva documentación relacionada con esta localidad y de las tierras ejidales y comunales que le pertenecían, gracias a este escrito, se puede conocer las colindancias del poblado y las propiedades que con el pasar de los años, les fueron expropiadas.

Los cambios político-administrativos derivados del triunfo de la Independencia de Guatemala, originaron que el pueblo de San Cristóbal Amatitlán cambiara de nombre, y conforme la legislación Republicana, se llamó Palín. Por decreto del 6 de noviembre de 1839 se formó como distrito independiente, la ciudad de Amatitlán, San Cristóbal Palín, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Santa Inés Petapa y todos los lugares anexos a estas poblaciones, correspondían a un distrito independiente para su gobierno político. El 16 de octubre de 1867 se restableció la municipalidad de Palín (se desconoce la fecha en que fue suprimida). Por Decreto Legislativo 2081 del 29 de abril de 1935 el municipio de Palín quedó incorporado al departamento de Escuintla.

## **1.2. Posición y distribución geográfica**

La república de Guatemala se localiza en el Istmo centroamericano, entre los paralelos 13 grados y 44 minutos y 18 grados 30 minutos latitud norte y los meridianos 87 grados y 24 minutos y 92 grados y 14 minutos longitud oeste (ver figura 1). Tiene una extensión territorial de 108 889 kilómetros cuadrados. Limita al noroeste con Belice y el Mar Caribe, al sur con el Océano Pacífico, al norte y al oeste con México, al sureste con El Salvador y al este con Honduras. Posee 257 kilómetros de costa en el Océano Pacífico y 100 kilómetros en el Mar Caribe.

### **1.2.1. República de Guatemala**

La población a junio del 2 012 era de aproximadamente 15,07 millones de habitantes, con un crecimiento anual del 2,6 por ciento; el 70 por ciento de habitantes son menores de treinta años. La población económicamente activa (PEA) representa un 64 por ciento del total de habitantes.

La república se divide en ocho regiones de desarrollo (Decreto 70-86), la división política administrativa comprende 22 departamentos, 338 municipios y aproximadamente 23 500 comunidades que incluyen colonias, aldeas, cantones, caseríos, parajes y otro tipo de asentamientos humanos.

Guatemala es un país montañoso, la cordillera que procede de México se interna en territorio guatemalteco y se divide en dos ramales: uno por San Marcos que forma el sistema de la Sierra Madre que se extiende a lo largo del litoral pacífico y origina el altiplano central con valles intermontanos, y el otro por Huehuetenango, formando las Sierras de Los Cuchumatanes, Chamá, Santa Cruz y de Las Minas. Posee una cadena de volcanes, entre ellos, el Tajumulco (4 220 metros sobre el nivel del mar) y Tacaná (4 092 metros sobre el nivel del mar) que son los de mayor elevación de Centroamérica. El relieve orográfico se define en regiones: las tierras altas del centro del país, el Petén, el litoral del Atlántico, la costa sur y la zona volcánica.

Guatemala se caracteriza por un clima tropical al formar parte de los trópicos, encontrándose localizada entre el trópico de cáncer (23,5 grados Norte) y el de capricornio (23,5 grados Sur), estos trópicos delimitan los paralelos donde el sol alcanza su máxima inclinación. Sin embargo, dentro del contexto geográfico del país presenta una serie de accidentes topográficos que generan climas locales que van desde secos hasta húmedos. Esta variedad de climas hace del país un lugar en donde puede darse cualquier tipo de actividad tanto agrícola, industrial como económica.

La temperatura media a nivel del océano pacífico es de 27 grados Celsius y 28,2 grados Celsius en el océano atlántico. En las zonas de montaña es de 10 grados Celsius, presenta temperaturas máxima y mínima absolutas de 42 grados Celsius y -7 grados Celsius, respectivamente.

La temperatura media anual va descendiendo 1 grados Celsius conforme se asciende 166 metros. La meseta central del país es templada, con una media de 15 grados Celsius en todo el año.

La precipitación anual de la zona norte oscila entre los 1 525 milímetros y los 2 540 milímetros, el promedio anual en todo el territorio es de 1 996 milímetros, variando desde 500 milímetros en Jalapa, Jutiapa, Chiquimula y Zacapa, hasta los 5 600 milímetros en el norte central y occidente: Huehuetenango, Quiché, Alta y Baja Verapaz.

El Instituto Nacional de Bosques (INAB) (2 005) indica que Guatemala posee una red de 27 000 kilómetros lineales y un volumen de escorrentía de 100 millones de metros cúbicos de agua, el sistema orográfico del país divide el escurrimiento superficial en dos regiones hidrográficas:

- Vertiente del océano pacífico, formada por los ríos que desembocan en el océano pacífico caracterizada por ríos cortos (110 kilómetros promedio) y se originan a una altura media de 3 000 metros sobre el nivel del mar. Presentan pendientes fuertes (entre 10 por ciento y 20 por ciento), 18 cuencas en 23 990 kilómetros cuadrados, equivalente al 22 por ciento del territorio, y caudal promedio anual de 808 metros cúbicos sobre segundo.
- Vertiente del océano atlántico, con ríos más largos y pendientes en general, que desembocan en el océano atlántico, se divide a su vez en dos vertientes:
  - Vertiente del golfo de México, a través de la frontera con dicho país, 50 640 kilómetros cuadrados, 47 por ciento del territorio, conformada

por 10 cuencas, con un caudal medio anual de 1 372 metros cúbicos sobre segundo.

- Vertiente del golfo de Honduras: de 34 259 kilómetros cuadrados, 31 por ciento del país, con 7 cuencas y 1 010 metros cúbicos sobre segundo anual.

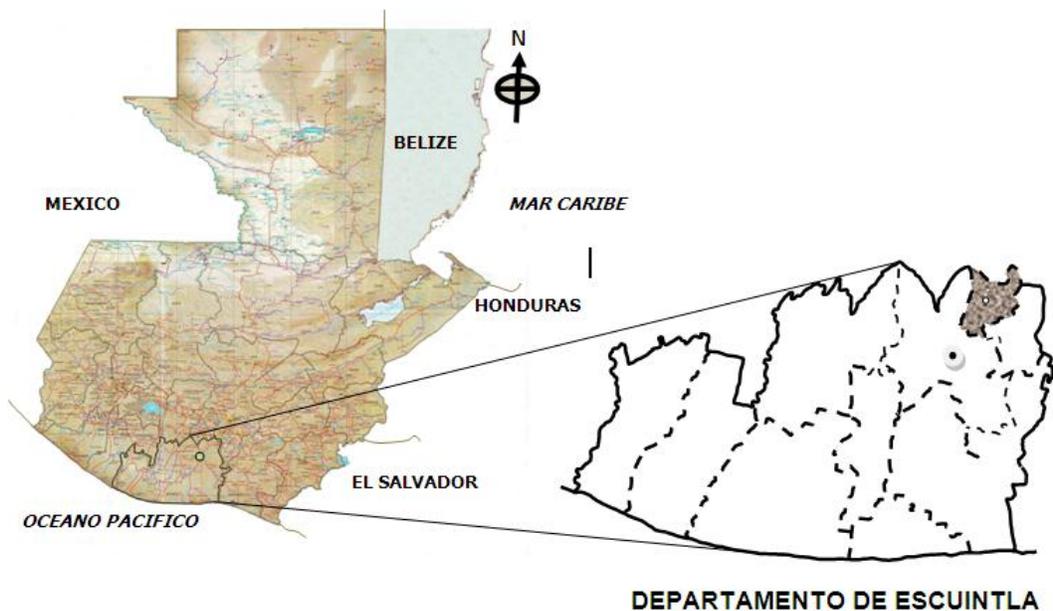
Entre los ríos más caudalosos se pueden mencionar el Usumacinta, con un caudal medio anual de 1 776 metros cúbicos sobre segundo, el Motagua (189 metros cúbicos sobre segundo ), el Sarstún (172 metros cúbicos sobre segundo ), el Suchiate (28 metros cúbicos sobre segundo ), y el Cahabón (166 metros cúbicos sobre segundo ). El total de cuerpos de agua ocupan una superficie de 1 600 kilómetros sobre segundo. La riqueza hídrica del país incluye 7 lagos, 19 lagunas costeras, 49 lagunas, 109 lagunetas, 7 embalses. Los lagos de mayor extensión del país son los siguientes: Izabal (589,6 kilómetros cuadrados), Atitlán (130 kilómetros cuadrados), Amatitlán (15.2 kilómetros cuadrados) y Petén Itzá (99 kilómetros cuadrados).

El país tiene 34 ecosistemas de bosques, 7 ecosistemas arbustales, 4 ecosistemas de herbazales, 15 ecosistemas de sistemas agrícolas, 3 clases de cuerpos de agua, y 4 clases de otros usos de la tierra, ocupa el lugar 24 de 25 países con mayor diversidad arbórea del mundo, por lo cual se hace presente la importancia y prioridad de conservación de especies que tiene. Los suelos forestales y agroforestal ocupan una superficie total de 60 640 kilómetros cuadrados, que representa el 55,6 por ciento del territorio.

### 1.2.2. Departamento de Escuintla

El departamento de Escuintla (ver figura 2) limita al norte con los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Guatemala, al sur con el océano pacífico, al este con Santa Rosa, y al oeste con Suchitepéques. Su extensión es de 4 384 kilómetros cuadrados. Tiene una población de 716 204 habitantes, con un crecimiento poblacional de 4,23 por ciento.

Figura 1. **Ubicación del departamento de Escuintla**



Fuente: elaboración propia.

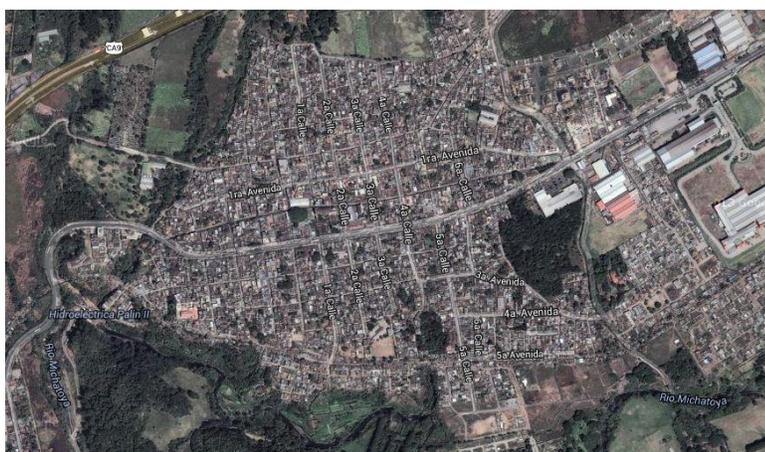
La cabecera departamental de Escuintla se encuentra a 346,91 metros sobre el nivel del mar, latitud 14 grados 18 minutos 03 segundos y longitud 90 grados 47 minutos 08 segundos, localizada a 58 kilómetros de la ciudad capital siguiendo la ruta interoceánica CA-9. El departamento, presenta alturas que varían desde cero metros en las costas del litoral pacífico hasta 2 550 metros

sobre el nivel del mar en la cima del volcán de Pacaya. Cuenta con la mayor superficie de la cuenca María Linda, con un aproximado de 49 por ciento de la misma; es decir, 126 199 hectáreas en el transcurso de 409 poblados y un aproximado de 201 000 personas.

### 1.2.3. Municipio de Palín

El municipio de Palín colinda por el norte, con el municipio de Amatitlán, Santa María de Jesús y Alotenango, al este con San Vicente Pacaya, al sur con San Vicente Pacaya, al oeste con Escuintla. Su extensión es de 88 kilómetros cuadrados. El monumento de elevación en el parque central del municipio se encuentra a 1 147,66 metros sobre el nivel del mar, latitud 14 grados 24 minutos 14 segundos, longitud 90 grados 41 minutos 55 segundos. Ocupa elevaciones entre 600 y 1 500 metros sobre el nivel del mar. La población es de 60 927 habitantes.

Figura 2. Casco urbano del municipio de Palín



Fuente: imagen satelital. Google Earth, 2014. Fecha de imágenes 04 de marzo, 2014. Escala 1:600.

La localización estratégica de este municipio tal como se muestra en la anterior imagen, determina su diversidad de usos y de patrones de crecimiento urbano, facilitando una alta concentración de habitantes en busca de las oportunidades de crecimiento económico brindado por compañías industriales y maquiladoras ubicadas en su alrededor.

### **1.3. Hidrografía**

La cuenca hidrográfica se define como la superficie, espacio o territorio natural que permite diferenciar la distribución de las vertientes de agua, considerando que es una porción de territorio drenada por un único sistema de drenaje natural; el ciclo hidrológico permite cuantificar que a la cuenca ingresa una cantidad de agua, por medio de la precipitación y otras formas; y luego existe una cantidad que sale de la cuenca, por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiera el agua; es una división geográfica natural que limita áreas de escorrentía superficial y que puede ser de diversa magnitud y forma.

#### **1.3.1. Funciones que cumplen las cuencas hidrográficas**

La función hidrológica, cuando capta el agua de las lluvias la almacena y distribuye a través de los manantiales y los ríos durante distintos momentos a lo largo del tiempo.

La función ecológica, provee diversidad de espacios para completar las fases del ciclo hidrológico, además es un lugar para la flora y fauna que conviven con el agua.

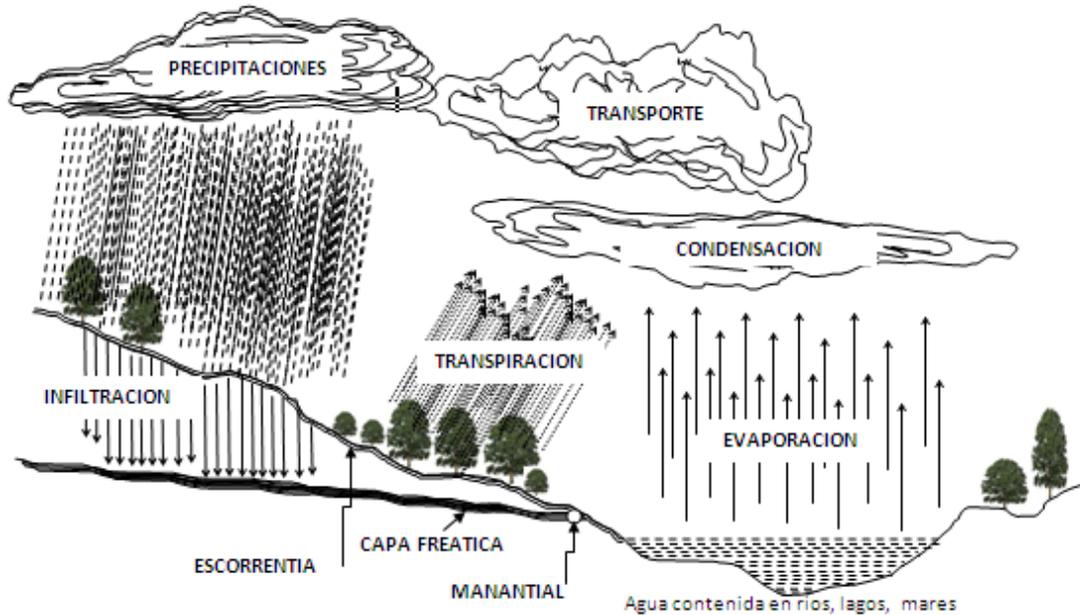
Función ambiental, ayudan en la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), regula la distribución del agua de lluvia durante el invierno, evitando con ello las inundaciones en la parte baja de la cuenca y contribuye a conservar la biodiversidad, la cuenca es un espacio ideal para la implementación de la gestión ambiental.

Función socioeconómica, cuando suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas de las poblaciones que habitan la cuenca.

### **1.3.2. Ciclo hidrológico**

Según el concepto de ciclo hidrológico, toda gota de lluvia que cae al suelo, continua en forma de escurrimiento e infiltración, luego va a lugares de concentración, allí parte se evapora y vuelve al espacio para formar el ciclo. Luego que la gota de lluvia se infiltra, satura el suelo, pasa a percolación profunda y recarga los acuíferos, tal como en la figura 4. En este desplazamiento vertical, el agua se puede encontrar con estratos impermeables (rocas duras) que movilizarán las partículas de agua dependiendo de la forma y tipo de rasgos geológicos.

Figura 3. **Esquema del ciclo del agua**



Fuente: elaboración propia.

### 1.3.3. Descripción de la cuenca y subcuenca

Para evaluar y estudiar las actividades hidrológicas con el entorno de un lugar es necesario tener claro los siguientes conceptos y sus correspondientes definiciones:

- Cuenca hidrográfica: unidad territorial natural que capta la precipitación, y es por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal o sea es un área delimitada por una divisoria topográfica denominada parte-agua que drena a un cauce común.

- Sub cuenca: toda área en la que su drenaje va a directamente al río principal de la cuenca. También se puede definir como una subdivisión de la cuenca. En una cuenca pueden haber varias sub cuencas.

#### **1.3.4. Cuenca María Linda**

La cuenca María Linda se localiza en la vertiente del pacífico con una extensión de 2 727 kilómetros cuadrados, elevación desde 0 hasta 1 800 metros sobre el nivel del mar, pendiente media de 2,57 por ciento, y precipitación de 2 500 milímetros anuales.

#### **1.3.5. Sub cuenca río Michatoya**

La sub cuenca del río Michatoya se ubica en la parte media alta de la cuenca del río María Linda, parcialmente en los municipios de Escuintla, Guanagazapa, Palín, San Vicente Pacaya, Amatitlán, Magdalena Milpas Altas y Santa María de Jesús, comprendida entre las coordenadas geográficas 14 grados 3 minutos 39,163 segundos y 14 grados 32 minutos 14,196 segundos de latitud norte y las coordenadas 90 grados 35 minutos 16,927 segundos y 90 grados 47 minutos 15,293 segundos longitud oeste (ver figura 5).

El río Michatoya tiene su origen en el lago de Amatitlán (departamento de Guatemala) a 1 220 metros sobre el nivel del mar, y su punto de drenaje al unirse con el río María Linda, en el municipio de Guanagazapa (departamento de Escuintla) a 20 metros sobre el nivel del mar, que a su vez es el punto más bajo del río. El área de esta sub cuenca es de 534 kilómetros cuadrados, tiene un perímetro de 142 kilómetros, colinda al noroeste con el volcán de Agua (3 670 metros sobre el nivel del mar), al noreste con el Lago de Amatitlán, al norte

con el río Villalobos y al sur con el punto de convergencia entre el río Michatoya y el río María Linda.

Las temperaturas varían a lo largo del año en la parte alta de los volcanes de Agua y de Pacaya en un rango de entre los 6 y los 22 grados Celsius y en las partes bajas, entre los 19 y los 30 grados Celsius, y precipitación pluvial entre los 0 y 198 milímetros por mes de noviembre a mayo, y los 49 y 998 milímetros por mes de junio a octubre, la precipitación anual es de 2 781,84 milímetros y un caudal promedio de 9.7 metros cúbicos sobre segundo.

La sub cuenca del río Michatoya es la cuenca más contaminada de Guatemala dada su cercanía a la ciudad, la expansión demográfica que existe en ella, el incremento de industrias y de rellenos sanitarios, además, el crecimiento poblacional dentro de los municipios de la subcuenca conlleva al surgimiento de necesidad de tierras para vivienda, agricultura o industrias, manejo de desechos, deforestación y contaminación hídrica, lo que se traduce en una presión sobre los demás recursos naturales.

#### **1.4. Clima**

El clima abarca los valores estadísticos sobre los elementos del tiempo atmosférico en una región durante un período representativo: temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones. En el sistema de zonas de vida de L.R. Holdridge, la unidad central es la zona de vida la cual comprende temperatura, precipitación y evapotranspiración, el objetivo de dicha zonificación es el de determinar áreas donde las condiciones ambientales sean similares, con el fin de agrupar y analizar las diferentes poblaciones y comunidades bióticas, para así aprovechar mejor los recursos naturales sin deteriorarlos y conservar el equilibrio ecológico.

De acuerdo al Sistema de zonificación de Holdridge en Guatemala, citado por De la Cruz (1983), el municipio de Palín presenta las zonas de vida bien diferenciadas:

- Bosque húmedo subtropical templado (bh-S(t)). El patrón de lluvias varía entre 1 100 milímetros y 1 349 milímetros, las biotemperaturas van de 20 a 26 grados Celsius y la evapotranspiración potencial (agua que se devuelve a la atmósfera debido a los procesos combinados de transpiración y evaporación) puede estimarse en promedio de 1,0, esta zona se encuentra alrededor del volcán de Pacaya. Los terrenos son de relieve ondulado a accidentado y escarpado.
- Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB). La precipitación total anual varía entre 2 065 milímetros a 3 900 milímetros. Las biotemperaturas van de 12,5 a 18,6 grados Celsius y la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 0,35. Esta zona se encuentra en las partes más altas del cono del volcán de Agua. La topografía generalmente es accidentada sobre todo en las laderas del volcán de Agua.
- Bosque muy húmedo subtropical cálido (bmh-S(c)). Las condiciones climáticas en esta zona de vida son variables por la influencia de los vientos. El régimen de lluvias es de mayor duración, por lo que influyen grandemente en la composición florística y en la fisionomía de la vegetación. El patrón de lluvia varía entre 2 136 y 4 327 milímetros. Las biotemperaturas van de 21 a 25 grados Celsius y la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 0,45. Los terrenos son de topografía desde plana hasta accidentada. La elevación varía desde 80 y 1 600 metros sobre el nivel del mar.

- Bosque húmedo montano bajo (bh-MB). El patrón de lluvias varía entre 1 057 milímetros y 1 588 milímetros. Las biotemperaturas van de 15 grados Celsius a 23 grados Celsius y la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 0,75. Estas se encuentran en las zonas que están alrededor de las partes bajas del volcán de agua. Su topografía en general es plana y está dedicada a cultivos agrícolas. La elevación varía entre 1 500 y 2 400 metros sobre el nivel del mar.

## **1.5. Suelos**

Los suelos de Guatemala se han sido clasificado atendiendo los estudios de las series de suelo de Simmons, Tárano y Pinto (1959) revisadas por el MAGA (2000) y el mapa de fisiografía-geomorfología con cobertura nacional a escala 1:250 000. Los suelos del municipio de Palín corresponden a las series Palín, Pacaya y Escuintla, descritos de la forma siguiente:

### **1.5.1. Suelos Palín**

Son profundos, bien drenados, desarrollados sobre material volcánico pomáceo, en un clima húmedo-seco, ocupan relieves muy inclinados a altitudes medianas en la parte sur central de Guatemala. El suelo superficial es franco arenoso pedregoso, a 25 centímetros es franco arenoso de café oscuro a café muy oscuro, carece de estructura, es suelto y friable bajo un contenido variable de humedad. La reacción es de ligeramente ácida a neutra, pH alrededor de 6.4.

El subsuelo superior, a 50 centímetros, es franco arenoso café amarillento oscuro y tiene muchos fragmentos de piedra máfica. El subsuelo, una profundidad de cerca de un metro, es franco limoso o franco arcilloso de color

café a café amarillento. La estructura es cúbica poco desarrolla, y el suelo es friable y suave. El substrato es lodo volcánico (lahar) intemperizado o brecha de toba que, en gran parte, aún es roca sin intemperizar.

### **1.5.2. Suelos Escuintla**

Son profundos, bien drenados; desarrollados sobre lodo volcánico (lahar) o en toba en un clima cálido, húmedo-seco. Ocupan relieves suavemente inclinados a elevaciones moderadamente bajas (faldas del volcán de Agua). Están desarrollados sobre materiales máficos y flujo lodoso. El suelo superficial, a 40-50 centímetros, es franco café muy oscuro que tiene un contenido alrededor del 13 por ciento de materia orgánica. La estructura es granular suave. El substrato es lodo volcánico pedregoso, intemperizado relativamente impermeable al agua.

Este material es firme en algunos lugares, pero presenta una textura de franco arcilloso cuando está húmedo y se amasa entre los dedos. En algunos sitios es llamado texcal.

### **1.5.3. Suelos Pacaya**

Estos suelos están excesivamente drenados, son poco profundos, que se han desarrollado sobre lava máfica, en un clima templado húmedo seco. Ocupan pendientes moderadamente inclinadas. Están desarrollados sobre una corriente de lodo o lava porosa. El suelo superficial, a 20 centímetros, es franco arenoso muy fino de color café oscuro. La reacción es de mediana a ligeramente ácida pH alrededor de 6,0. El subsuelo, a 50 centímetros, es de franco arenoso fino café arena franca fina.

## 1.6. Sistema de red vial

El municipio se encuentra sobre la carretera interoceánica CA-9 sur, que conduce de la ciudad capital hacia la cabecera departamental de Escuintla, también se puede acceder, vía autopista Palín-Escuintla. La distancia desde Palín a los lugares poblados más cercanos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla I. **Ubicación relativa de Palín**

<b>Lugar</b>	<b>Distancia en km</b>
Ciudad de Guatemala	40
Cabecera Departamental de Escuintla	18
Parque Central de Amatitlán	14
Parque Central de San Vicente Pacaya	10
Santa María de Jesús	11
Antigua Guatemala	21

Fuente: elaboración propia.

## 1.7. Tipos de residuos

Los residuos es posible caracterizarlos en tres grupos; municipales, los cuales son generados en los hogares de los habitantes de determinado municipio; industriales, debido a procesos de manufactura y hospitalarios, debido al uso de instrumentos, artefactos y materiales de cuidado y asistencia médica.

### **1.7.1. Residuos municipales**

Son todos aquellos que están formados por: residuos generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como los que no tienen consideración de especiales y que por su naturaleza o composición pueden asimilarse a los que se producen en dichos lugares o actividades. Tienen también residuos municipales los procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, animales domésticos muertos, muebles, utensilios, vehículos abandonados, residuos, escombros procedentes de obras menores y reparación domiciliaria.

#### **1.7.1.1. Factores dañinos**

La acumulación de basura provoca focos de infección, proliferación de plagas, enfermedades gastrointestinales, respiratorias y micóticas (generada por hongos).

La acumulación de la basura en la casa, la escuela, terrenos baldíos, las calles, drenajes y los tiraderos a cielo abierto dan como resultado sitios insalubres debido a que los desechos se encuentran con mezcla, orgánica e inorgánica, y en su descomposición proliferan hongos, bacterias y muchos otros microorganismos causantes de enfermedades e infecciones que si no son atendidas pueden provocar hasta la muerte.

La acumulación de desechos sólidos al aire libre es el ambiente propicio para que ratas, moscas y mosquitos, hongos y bacterias se desarrollen en grandes cantidades y en periodos de tiempo cortos; como consecuencia se generan focos de infección, comunes en terrenos baldíos, camellones y calles poco transitadas de esta ciudad.

Entre las principales enfermedades producidas por la acumulación de basura se encuentran las gastrointestinales como infecciones de estómago e intestinos, así como la amibiasis, cólera, diarrea y tifoidea, entre otros.

El aire transporta millones de microorganismos de la basura que al ser inhalados provocan infecciones en las vías respiratorias como laringitis y faringitis.

Las enfermedades micóticas son frecuentes en las personas que se encuentran en sitios donde existe acumulación de basura, esto propicia el desarrollo de hongos y bacterias que al estar en contacto con la piel provocan irritaciones e infecciones.

La fauna nociva como los roedores (ratas, ratones), que al consumir cultivos y alimentos almacenados los contaminan; las pulgas, moscas, etcétera, son un factor importante en la transmisión de bacterias y virus que causan enfermedades en el ser humano, como la peste bubónica, la rabia u otras producidas por los hongos como la tiña.

#### **1.7.1.2. Niveles de residuos**

En el municipio de Palín, más de la mitad de los residuos son de naturaleza orgánica (residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares), correspondiendo el 49 por ciento restante a residuos inorgánicos como el papel y cartón (15 por ciento), vidrio (6 por ciento), plástico (6 por ciento), textil (2 por ciento), metal (3 por ciento) y otros tipos de basura (17 por ciento).

### **1.7.1.3. Hábitos**

En Palín según datos aportados por organizaciones ambientales e instituciones especializadas en el tema cada persona produce o genera entre 0,5- 1,5 kilogramos por día de basura y de esos el 85 por ciento permanece a cielo abierto mientras que solo un pequeño porcentaje es separado y reciclados. Esta basura generada, si bien es sólido en su mayoría son depositadas en vertederos de aguas residuales, los cuales finalmente desembocan en el afluente de agua dulce más cercano.

### **1.7.2. Residuos industriales**

Pueden ser de dos tipos: inertes o peligrosos. Inertes son aquellos como el escombros y la arena, los cuales no solamente no hacen daño al medio ambiente, sino que son fáciles de reutilizar en obras públicas y similares, aunque en algunos casos son tirados directamente a los vertederos.

Los peligrosos, son, sustancias tóxicas, corrosivas, algunos plásticos y demás no son fáciles de reusar, por lo que son desechados a la naturaleza o en algunos casos en vertederos, degradándose a largo plazo.

### **1.7.3. Residuos hospitalarios**

Producen contaminación y enfermedades si no se los maneja adecuadamente. Los residuos infecciosos, especialmente los cortos punzantes, presentan riesgo para quienes entran en contacto con ellos. De acuerdo con las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 40 por ciento de los casos de hepatitis y el 12 por ciento de los casos de VIH en el mundo se deben a la exposición en el ámbito de trabajo, o al aire libre sin mayor control

Los hospitales generan residuos químicos, farmacéuticos y radioactivos, todos ellos, que requieren un manejo especial. También generan cantidades considerables de residuos comunes como envases, papel, comida y otros, que pueden llegar a representar alrededor del 80 por ciento de la corriente de residuos. Un hospital de gran tamaño puede producir hasta una tonelada de residuos por día.

#### **1.7.4. Síntesis del área de estudio y características físicas**

A las aguas residuales también se les conoce como aguas servidas o cloacales, ya que son transportadas mediante alcantarillado. Estas aguas están contaminadas con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia e implementación de tratamiento, canalización y desalojo es vital para evitar problemas de alta contaminación en la población motivo de estudio.

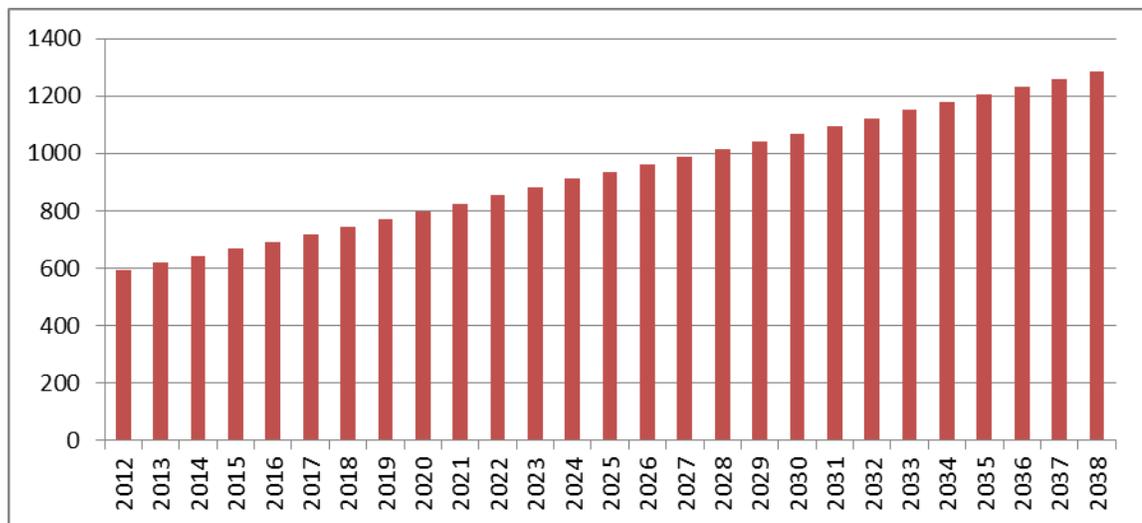


## 2. CARACTERIZACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA Y ECONÓMICA

### 2.1. Datos sociodemográficos

La población del municipio de Palín según censo del Instituto Nacional de Estadística 2002 proyectado al 2012 es de 60 927 personas y 590 habitantes por kilómetro cuadrado.

Figura 4. **Proyección de la densidad poblacional 2014-2024 en el municipio de Palín**



Fuente: INE 2002, proyectado al 2014.

Según estimaciones de la SEGEPLAN para el 2020, el 66 por ciento de la población se encontrará en el área urbana mientras el 33 por ciento restante en el área rural. Se estima que el 74 por ciento de la población es ladina, el 26 por ciento restante es indígena, de estos el 21 por ciento es de la etnia poqoman.

## **2.2. Datos económicos**

A continuación se muestran características socioeconómicas de la población de Guatemala en general, como también con énfasis en la población del municipio de Palín.

### **2.2.1. Situación actual de la población en Guatemala y el municipio de Palín**

La pobreza en el país alcanza a un 51 por ciento del total, es decir a más de 7 millones de habitantes en toda la república; para el municipio de Palín de 41,4 por ciento en el mismo tiempo estudiado, del cual el 5 por ciento corresponde a población en pobreza extrema.

En Guatemala actualmente más de medio millón de personas se encuentran trabajando en el sector de comercio informal, debido a la falta de oportunidades, en el municipio de Palín se estima que el 6,7 por ciento de la Población Económicamente Activa (PEA) no cuenta con un oficio definido o estable.

### **2.2.2. Producción agrícola**

Desde muchos años, los pobladores de Palín han cultivado piña, frijol, pacaya, ayote y maíz, árboles frutales como la mandarina, naranjo, banano,

aguacate, injertos, papaya, pacaya, jocote, lima, hierbas comestibles como berro, verdolaga, quilete, chipilín, entre otros, que forman parte de la actividad económica de las familias para el abastecimiento del mercado y su consumo.

El café y árboles frutales representan el 43 por ciento del total del cultivo, cultivos limpios anuales 55 por ciento, y pastos el 2 por ciento. Debido al valor económico que ha representado el café para las grandes empresas exportadoras, éste ha ido desplazando a los frutos de autoconsumo local. En la actualidad casi en todas las zonas agrícolas comunales y privadas del pueblo de Palín, se cultiva este producto, siendo la principal fuente de ingresos para las familias de Palín.

Cercano al pueblo se encuentran establecidas empresas maquiladoras que absorben la mayor parte de mano de obra. Pocos adultos y ancianos se han dedicado a las actividades agrícolas y han mantenido y diversificado el mercado local con productos como banano, plátanos, piñas, nísperos, aguacate, limón, mandarina, naranja, zapote, mamey y pacaya, entre otros. Es común observar en la plaza pública la venta de animales como, armadillos, iguanas, garrobos y otros animales similares.

### **2.2.3. Actividad agrícola y ganadera**

Existen fincas cercanas al poblado de Palín, donde se dedican a actividades agrícolas y ganaderas entre ellas: la Finca el Chorro, el Barretal, el Llano, el Farol, la Avenida, Palestina, Villa Laura, Raguay, Calanché, la Carmela, Medio Monte, Patio de Bolas, María Santísima, la Providencia y Esmeralda, entre otras.

Muchas de éstas se han convertido en nuevas lotificaciones como el caso de la Finca María Santísima, la Avenida y El Sacramento. En algunas propiedades todavía trabajan algunos rancheros, ladinos o indígenas asalariados quienes se dedican a la producción de café, crianza de aves, cerdos, ganado vacuno y sus derivados.

#### **2.2.4. La industria**

En este pueblo funcionan empresas dedicadas a la fabricación de variados artículos. Las maquiladoras se han hecho presentes en Palín, y son las principales fuentes de empleo que ha absorbido gran parte de la mano de obra indígena y ladina en su mayoría joven.

#### **2.3. Datos de la población y distribución de vivienda**

La siguiente tabla muestra la distribución porcentual en el 2009 de la población en las diferentes áreas del municipio de Palín, se encuentra detallada a nivel comunidad:

**Tabla II. Distribución de la población**

<b>Comunidad</b>	<b>Población</b>	<b>Comunidad</b>	<b>Población</b>
Aldea La Periquera	3,79 por ciento	Colonia villas de Palín	0,99 por ciento
Aldea San Pedro el Cerro	0,86 por ciento	Finca Bedford	0,06 por ciento
Asent. La Fe	1,71 por ciento	Finca Carmela	0,04 por ciento

Continuación de la tabla II.

Asent. Línea Férrea M. M.	2,15 por ciento	Finca El Barretal	0,03 por ciento
Asent. Línea Férrea S.P.	0,85 por ciento	Finca El Farol	0,21 por ciento
Balcones de Palín 1	4,27 por ciento	Finca El llano	0,43 por ciento
Balcones de Palín 2	2,73 por ciento	Finca El Rosario	0,20 por ciento
Barrio San Antonio	12,66 por ciento	Finca La canoa	0,03 por ciento
Barrio San José	5,19 por ciento	Finca La Piedad	0,00 por ciento
Barrio San Lucas	8,53 por ciento	Finca La positiva	0,01 por ciento
Barrio San Pedro	8,61 por ciento	Finca Majule	0,07 por ciento
Caserío Monte Cristo	0,51 por ciento	Finca Medio Monte	0,35 por ciento
Caserío San Raymundo	0,24 por ciento	Finca Raguay	0,05 por ciento
Colonia Anexo Palinche	1,75 por ciento	Finca San Francisco Mirador	0,31 por ciento
Colonia El Cielito	0,70 por ciento	Finca San Fernando	0,09 por ciento
Colonia El Cortijo	1,31 por ciento	Finca San José Villa Vista	0,17 por ciento
Colonia El Mirador	0,18 por ciento	Finca Villa Laura	0,12 por ciento

Continuación de la tabla II.

Colonia El Sacramento	6,15 por ciento	Fundación Sión	0,42 por ciento
Colonia la Estación	0,66 por ciento	Granja Buganvilias	0,01 por ciento
Colonia Las Marías	0,14 por ciento	Granjas Bella Vista	1,19 por ciento
Colonia Las Victorias	0,78 por ciento	Granja Chiriviscal	0,01 por ciento
Colonia Los Sauces	6,66 por ciento	Granja Gravileas	0,07 por ciento
Colonia María Matos	7,32 por ciento	Granja Las Pascuas	0,58 por ciento
Colonia Modelo	0,33 por ciento	Lotificación Paseo Quetzal	0,23 por ciento
Colonia Palinche	7,85 por ciento	Lotificación María Isabel	0,06 por ciento
Colonia San Benito	0,87 por ciento	Planta Hidroeléctrica J.M.	0,09 por ciento
Colonia San Francisco	0,40 por ciento	Quintas Bello Horizonte	0,57 por ciento
Colonia San Martin	3,69 por ciento	Residenciales Las Victorias	1,05 por ciento
Colonia Santa Rita	0,86 por ciento	Retiro Elim	0,01 por ciento
Colonia Valparaíso	0,20 por ciento	Retiro Emaus	0,02 por ciento
Colonia Villa Estelita	0,37 por ciento		

Fuente: López Navas (2009). Monografía de Palín.

## **2.4. Datos de instituciones educativas**

En aspectos de servicio de educación se conoce que la escuela de obreros, fue creada por el acuerdo del 14 de septiembre de 1920, el acuerdo del 6 de mayo de 1925 dispuso la reconstrucción de la escuela de varones y el edificio de la escuela de niñas el 30 de mayo de 1927, en 1973 en la cabecera municipal funcionaban las escuelas nacionales urbanas de varones José Domingo Guzmán de niñas con párvulos anexo; nocturno anexa a la escuela de varones, así como el colegio San Carlos, existen escuelas rurales mixtas, en varias fincas como en la colonia Los Sauces, en el caserío Montecristo y en la aldea La Periquera.

Actualmente el municipio de Palín cuenta con escuela oficial de párvulos, escuelas nacionales de educación primaria, siendo ellas: José Domingo Guzmán, escuela nacional urbana jornada matutina y vespertina Arturo País Arriaza y escuela nacional urbana jornada vespertina Barrio San Antonio; además existen los demás colegios de educación primaria: Colegio San Carlos, Colegio Panamericano, Colegio Mixto Parroquial Nocturno San Cristóbal, desde 1977 se cuenta con el Instituto Básico por Cooperativa Palín, INPAL.

Existen 6 colegios privados de educación primaria y básica. Existen también 16 academias entre ellas: de belleza, corte y confección, mecanografía. El Colegio QAWINAQEL donde se da formación educativa solamente a poqomames.

## **2.5. Servicios públicos disponibles**

Los servicios públicos son todos aquellos que otorgan al habitante un nivel de vida de calidad y digno, con los que pueda satisfacer necesidades básicas como sanidad, entretenimiento y educación.

### **2.5.1. Agua potable**

En relación a las condiciones de saneamiento ambiental de la población del municipio, el 76 por ciento de viviendas cuenta con los servicios de agua intradomiciliar, pero en el área rural este beneficio lo tiene únicamente el 65 por ciento de viviendas. Sin embargo debe considerarse que solo uno de los 11 sistemas de agua con que cuenta el municipio tiene un sistema de cloración funcionando lo que hace dudar de la calidad del agua para consumo humano.

El sistema cuenta con cuatro tanques de distribución, siendo ellos el tanque las Victorias, tanque San Francisco, tanque San Martín y tanque Villa Laura. El tanque las Victorias es abastecido por el caudal proveniente del nacedero del Amatillo mediante un sistema de bombeo y de allí se distribuye a una parte de la población, y otra parte abastece por bombeo el tanque de Villa Laura. La proximidad de la capa freática ha permitido la instalación de pozos accionados con motores eléctricos y con depósitos elevados.

El tanque de distribución de Villa Laura es el que provee de agua a la mayor parte de la población del casco urbano de la población, alimentado por caudales originalmente provenientes de los nacederos tanto de El Amatillo como de El Barretal.

### **2.5.2. Alcantarillado sanitario**

El casco urbano de Palín cuenta con el servicio de alcantarillado sanitario en un 51 por ciento de su población. El sistema está compuesto por un colector principal que cruza toda la avenida central de la población, el cual consta de una tubería de concreto de 42 pulgadas, pozos de visita en cada esquina, al cual se integran un serie de ramales de tubos de concreto de 12 pulgadas. En algunos puntos cercanos a la avenida central se observan rejillas de hierro, que interceptan el caudal de aguas pluviales que se originan en la parte alta del municipio.

Las aguas negras llegan a su receptor final (río Michatoya) sin atravesar por ningún proceso de tratamiento, pues no se cuenta con alguna fosa o planta para las descargas de las aguas residuales antes del desfogue.

### **2.5.3. Energía eléctrica**

La energía que abastece del servicio a la población de Palín, es generada en la planta de San José Villa Nueva, y se conduce mediante una línea de transmisión hacia la subestación El Lago, en Amatlán, con un voltaje de 69 kilo voltios. En la sub estación de distribución de El Lago se reduce la energía a 13 kilo voltios y se conduce mediante un circuito primario hacia los transformadores de distribución ubicados en el rastro de Palín, donde se reduce el voltaje primario al voltaje de utilización de 700 voltios y de donde se desprende la red hacia las calles y opera en los voltajes de utilización; normalmente 120 sobre 240 voltios reducido mediante transformadores ubicados en algunos postes.

## **2.6. Síntesis de caracterización sociodemográfica y económica**

En el municipio de Palín, coexisten más de 61 mil personas actualmente, con una densidad promedio de 590 personas por kilómetro cuadrado. En el municipio se cultiva piña, frijol, pacaya, ayote, maíz, entre otros. Actualmente la principal fuente de empleo es la maquila, quien absorbe la gran parte de mano de obra indígena y ladina. En el municipio únicamente el 76 por ciento cuenta con agua potable intradomiciliariar, y el sistema de alcantarillado que cubre únicamente el 51 por ciento de la población.

### **3. BASE LEGAL Y CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL ESTUDIO**

El siguiente capítulo describe las leyes constitucionales, decretos, reglamentos de diseño y criterios técnicos con vinculación a la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

#### **3.1. Leyes básicas**

En Guatemala existen leyes y normativas que son las que establecen de carácter obligatorio la instalación de plantas de tratamiento y otros medios que ayuden al saneamiento de un lugar y población en específico, y es sobre estas en las cuales toda municipalidad, empresa o industria debe regirse para la limpieza de los desechos generados.

##### **3.1.1. Constitución Política de la República de Guatemala**

La Constitución Política de la República de Guatemala, como principal y máximo organizador de los derechos y obligaciones de los ciudadanos del país describe lo siguiente en sus artículos 82, 97 y 119 inciso c:

Artículo 82. Autonomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La Universidad de San Carlos de Guatemala, es una institución autónoma con personalidad jurídica. En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del Estado y la educación profesional universitaria estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los

medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de problemas nacionales.

Artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.

Artículo 119, inciso c. Adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.

### **3.2. Reglamentos técnicos**

Los reglamentos técnicos y códigos, describen las actividades y parámetros específicos de un área a tratar en específico, esto con el objetivo de lograr la gestión adecuada para lograr las metas planteadas.

#### **3.2.1. Reglamento de las Descargas y Rehúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, (Acuerdo Gubernativo 236-2006 del 5 de mayo de 2006)**

En el artículo 2, define los entes generadores de aguas residuales de la forma siguiente: las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público; las personas que produzcan aguas residuales

para reuso; las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales; y las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

Dicho reglamento cuenta con un manual que describe los requisitos para elaborar estudios técnicos, las concentraciones de parámetros, y las etapas de remoción que debe cumplir cada tipo de tecnología. Tanto el reglamento como el manual, son una base fundamental para el desarrollo del presente proyecto, a nivel de estudio de pre factibilidad se indican los parámetros y las características de información necesarias para cumplir con el reglamento.

### **3.2.2. Código de salud**

El artículo 78 dice: Acceso y Cobertura Universal. El Estado, a través del Ministerio de Salud y otras instituciones del sector, impulsará una política prioritaria y de necesidad pública que garantice el acceso y cobertura universal de la población a los servicios de agua potable, con énfasis en la gestión de las propias comunidades, para garantizar el manejo sostenible del recurso.

El artículo 92 dice: Dotación de servicios. Las municipalidades, industrias, comercios, entidades agropecuarias, turísticas y otro tipo de establecimientos públicos y privados, deberán dotar o promover la instalación de sistemas adecuados para la eliminación sanitaria de excretas. El tratamiento de aguas residuales y aguas servidas, así como del mantenimiento de dichos sistemas conforme a la presente ley y los reglamentos respectivos.

El artículo 93 dice: Acceso a cobertura. El Ministerio de Salud de manera conjunta con las instituciones del Sector, las Municipalidades y la comunidad organizada promoverá la cobertura universal de la población a servicios para la disposición final de excretas, la conducción y tratamientos de aguas residuales

y fomentará acciones de educación sanitaria para el correcto uso de las mismas.

El artículo 94 dice: Normas sanitarias. El Ministerio de Salud con otras instituciones del sector dentro de su ámbito de competencia, establecerán las normas sanitarias que regulan la construcción de obras para la eliminación y disposición de excretas y aguas residuales y establecerá de manera conjunta con las municipalidades, la autorización, supervisión y control de dichas obras.

### **3.2.3. Instituto de Fomento Municipal (INFOM)**

Acuerdo Gubernativo 376-97, se encomendó al INFOM, la responsabilidad de gestionar la política y la estrategia del sector de agua y saneamiento. En su artículo 1, dice literalmente: encargar al Instituto de Fomento Municipal (INFOM), la gestión de las Políticas y Estrategias del Sector Agua Potable y Saneamiento, así como la implementación y ejecución de acciones que de ellas se deriven. La administración del uso del Agua para otros fines, continuará siendo de la competencia del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

Artículo 2. Las instituciones del Estado, fondos de inversión social, las instituciones descentralizadas y entidades privadas que realicen programas o proyectos de obras y servicios públicos de agua potable y saneamiento en el país, deberá coordinar sus acciones con el instituto de Fomento Municipal para canalizar la asistencia técnica y financiera, efectiva y eficientemente.

#### **3.2.4. Las comunidades**

El espacio que dejan las municipalidades es llenado en la práctica por los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES) que proporcionan servicios en forma de autoabastecimiento, que en Guatemala se considera un servicio privado y está regulado por la ley de Consejos de Desarrollo decreto 11-2002 aprobado en el 2002, afirma literalmente en su artículo 1: El Sistema de Consejos de Desarrollo es el medio principal de participación de la población maya, xinca y garífuna y la no indígena, en la gestión pública para llevar a cabo el proceso de planificación democrática de desarrollo, tomando en cuenta principios de unidad nacional, multiétnica, pluricultural y multilingüe de la nación guatemalteca.

#### **3.2.5. Organizaciones privadas**

Considerable número de organizaciones no gubernamentales, internacionales y locales, trabajan con las comunidades rurales respaldando proyectos de agua y saneamiento.

#### **3.2.6. Acuerdo Gubernativo 79-2003 Normativa Sobre la Política Marco de la Gestión Ambiental**

En su artículo 1, el acuerdo menciona que es obligación fundamental del Estado promover el desarrollo económico de la nación y estimular las actividades así como adoptar medidas que garanticen el equilibrio ecológico, la conservación, sostenibilidad y buen uso del ambiente y el patrimonio natural del país, para garantizar un ambiente saludable.

### **3.3. Reglamentos Ambientales**

El Ambiente es el sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química, biológica, sociocultural y de sus interrelaciones, en permanente modificación por la acción humana o natural que rige o condiciona la existencia o desarrollo de la vida, según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

#### **3.3.1. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, (Decreto 68-86)**

Artículo 1. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto la utilización y el aprovechamiento de fauna, de la flora, suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente.

Artículo 14. La presente ley tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

Artículo 15, inciso c. Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos.

### **3.3.2. Código Municipal (Decreto 12-2002)**

Son competencia de las municipalidades los siguientes artículos relacionados al cuidado del medio ambiente y recursos naturales, dispuestos en el Código Municipal aprobado en diciembre 2002.

Artículo 35., literal y. Competencias generales del Consejo Municipal: La promoción y protección de los recursos renovables y no renovables del municipio.

Artículo 36., numeral 4. Organización de comisiones: Fomento económico, turismo, ambiente y recursos naturales.

Artículo 58. Atribuciones del alcalde comunitario o alcalde auxiliar: Son atribuciones del alcalde comunitario o alcalde auxiliar, en su respectiva circunscripción, las siguientes:

- a. Promover la organización y la participación sistemática y efectiva de la comunidad en la identificación y solución de los problemas locales.
- d. Elaborar, gestionar y supervisar, con el apoyo y la coordinación del Consejo Municipal, programas y proyectos que contribuyan al desarrollo integral de la comunidad.
- f. Promover y gestionar en el ámbito comunitario y municipal las acciones que garanticen el uso racional y sostenible de la infraestructura pública.
- l. Velar por la conservación, protección y desarrollo de los recursos naturales de su circunscripción territorial.

Artículo 68. Competencias propias del municipio: las competencias propias deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios, y son las siguientes:

- a. Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados; recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos; limpieza y ornato;

I. Promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio.

Artículo 96, literal b. Atribuciones del coordinador de la oficina municipal de planificación. Elaborar los perfiles, estudios de pre inversión, y factibilidad de los proyectos para el desarrollo del municipio, a partir de las necesidades sentidas y priorizadas.

### **3.4. Criterios para el diseño de cada componente**

Se establece la base de partida para el control de la calidad del tratamiento de aguas residuales siguiendo un esquema similar al que se presenta a continuación:

Tabla III. **Criterios de diseño exigidos por la base legal**

DATOS DE PARTIDA			
Población de diseño		(hab.eq)	
Dotación		l/hab.eq./día	
Caudales			
Caudal diario		m3/d	
Caudal medio diario		m3/h	
Caudal punta		m3/h	
Cauda máximo		m3/h	
Contaminación		Concentración	Carga Contaminante
S.S.		mg/l	Kg/d
DBO5		mg/l	Kg/d
DQO		mg/l	Kg/d
NTK		mg/l	Kg/d
P		mg/l	Kg/d
Grasas		mg/l	Kg/d
Rendimientos planta	Rendimientos	Concentración salida	Carga de salida
S.S.	%	mg/l	Kg/d
DBO5	%	mg/l	Kg/d
DQO	%	mg/l	Kg/d
NTK	%	mg/l	Kg/d
P	%	mg/l	Kg/d
Grasas	%	mg/l	Kg/d
Sequedad Fangos	%	mg/l	Kg/d
Volátiles en Fangos	%	mg/l	Kg/d
Temperatura			
Mínimas		°C	
Máximas		°C	

Fuente: reglamento de aguas residuales, MARN. 2010.

### 3.4.1. Obra de llegada

Conjunto de elementos que reciben el afluente a la EDAR, procedente directamente de la red de saneamiento. Constará de pozo de gruesos, aliviadero lateral y by-pass, estación de bombeo.

### 3.4.2. Pozo de gruesos

Los parámetros de diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales están basados en la carga hidráulica de aguas negras, el tiempo de retención y la velocidad de paso de las aguas:

Tabla IV. Parámetros de diseño

Parámetro	Unidades	Valor
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	< 300 a Q <sub>máx</sub>
Tiempo de retención	S	30-60 a Q <sub>máx</sub>
Calado mínimo del pozo	m	>2
Velocidad de paso	m/s	

Fuente: reglamento de aguas residuales, MARN. 2010.

Cálculos: se fija el periodo de retención que deberá oscilar entre 30 y 60 segundos (a Q<sub>máx</sub>) y a partir del caudal, se calcula el volumen necesario del pozo.

Volumen pozo = caudal (metros cúbicos sobre segundo)\* tiempo de retención (en segundos)

La superficie del pozo se obtendrá a partir del caudal y la carga superficial.

$$S = Q_{\text{máx}}/C_s$$

S: superficie del pozo

$Q_{\text{máx}}$ : caudal máximo afluente

$C_s$ : carga superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )

Calado (m) = volumen pozo ( $\text{m}^3$ )/superficie horizontal ( $\text{m}^2$ )

### 3.4.3. Aliviadero

El objetivo será determinar los metros lineales de vertedero que sean necesarios para poder trasladar las aguas residuales o aguas negras al lugar de tratamiento establecido.

$$Q = 1,83 \times (1 - (0,2 \times H)) \times (H)^{1,5 \times 3600}$$

Siendo:

Q = caudal por metro lineal

H = altura de la lámina de agua sobre el vertedero (<25 cm a  $Q_{\text{med}}$ )

### 3.4.4. Reja de gruesos de pre desbaste

Suelen ser rectas y de limpieza automática. La velocidad de paso para el agua residual oscila entre: 0,7 a 1 metro por segundo para caudal medio, para caudales máximos horarios 1,6 metros por segundo. Establecer ancho de canal de partida.

$$S = A_c \times (L/L + A_b) \times (1 - G/100)$$

Siendo:

S= sección útil de paso (m)

Ac = ancho de canal

L = luz entre barrotes

Ab = ancho de barrotes

G = grado de colmatación (%)

El cálculo del calado necesario para un grado de colmatación establecido el cual suele ser del 30 por ciento, vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Calado} = (Q/3600) \times ((Ab+L)/((1-G/100) \times (V \times L \times Ac)))$$

Siendo:

Q = caudal de paso

Ab = ancho entre barrotes

L = luz entre barrotes

G = grado de colmatación

### **3.4.5. Dimensionamiento**

Definidas las rejillas a instalar, el dimensionamiento del pozo consiste simplemente en el de un paralelepípedo cuyo calado y ancho de canal ya han quedado determinados, la longitud es inmediata.

### **3.4.6. Estación de bombeo de elevación de agua bruta**

El número de bombas seleccionadas al menos deben ser dos. Determinar la altura a elevar, se calcula la línea piezométrica de la planta. Determinar el

régimen de funcionamiento previsto. El tiempo de retención suele situarse entre los 3 y los 5 minutos.

### **3.5. Criterios para el diseño hidráulico de las tuberías a gravedad**

A continuación se definen 10 modelos analíticos empleados para la determinación de parámetros hidráulicos que influyen en el sistema de tuberías de alcantarillados sanitarios:

- Población = área x densidad
- Producción de agua residual = dotación (litros por persona por día) x Factor de retorno (0,8).
- Promedio de caudal = dotación x población x 0,8 / 86 400 segundos
- Caudal de diseño =  $Q_{max} + Q_{inf} + Q_{com} + Q_{ind} + Q_{inst}$
- Caudal máximo = FH (factor de Harmon) x caudal promedio
- Caudal de infiltración = 2 litro/segundo x L/100 x 6 pulg/1 pulg / 86,400 segundos
- Caudal de diseño =  $A \times (1/n) \times (D)^{2/3} \times (S)^{1/2}$

### **3.6. Síntesis de la base legal y criterios técnicos del estudio**

El 8 de diciembre de 2003 fue creado el Acuerdo Gubernativo 791-2003, en el cual el Presidente Alfonso Portillo, emite la Normativa sobre la política marco de gestión ambiental. Dicho acuerdo gubernativo dice en su artículo 1: Materia. Este acuerdo tiene por objeto fijar la Política Marco de Gestión Ambiental, y constituirá el marco de referencia en el ámbito nacional, al servicio del Estado para orientar planes, programas y proyectos vinculados a mantener la calidad ambiental y la sostenibilidad de la biodiversidad y los recursos naturales, a través de la dinámica de cambio gradual; la generación de

consensos; y la participación e inclusión en los procesos de gestión ambiental, para que la sociedad guatemalteca haga uso de los recursos naturales bajo un enfoque de desarrollo sostenible.

Artículo 3. Fines. La Política Marco a la que se refiere este acuerdo tiene como finalidad promover acciones para mejorar la calidad ambiental y la conservación del patrimonio natural de la nación, así como el resguardo del equilibrio ecológico necesario para toda la forma de vida a manera de garantizar el acceso a sus beneficios para el bienestar económico, social y cultural de las generaciones actuales y futuras.

## **4. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**

Entre los sistemas de abastecimiento de agua potable más comunes en Guatemala se encuentran los ríos y los pozos, de los cuales el segundo es el que cuenta con mayor calidad para su consumo debido a su filtración en el suelo para llegar a las capas freáticas, mientras los ríos no es aconsejable utilizar dicha agua, debido a su contaminación.

### **4.1. Situación actual**

La situación actual no es más que un diagnóstico pues describe y ejemplifica el momento por el cual pasa el municipio de Palín, Escuintla. En los incisos posteriores, se describirán los principales aspectos del municipio, su población, demandas, cobertura y fuentes de abastecimiento de agua, entre otros.

#### **4.1.1. Población y demanda**

El municipio de Palín actualmente reportan un total de 5 912 viviendas en el casco urbano. Cuentan con 4 nacimientos de agua que son propiedad de la municipalidad y dos más que son administrados por un comité. Además hay un pozo municipal.

La cuota mensual para quienes usan el servicio de agua es de Q 12,00. De las viviendas reportadas el 80 por ciento tienen acceso a servicio de agua, 65 por ciento tienen letrina y/o inodoro.

Tabla V. **Tipo de abastecimiento de agua potable**

<b>Abastecimiento</b>	<b>Porcentaje de viviendas (por ciento)</b>
Pozo	18,8 por ciento
Tonel	0,3 por ciento
Río	1,6 por ciento
Otro	58,9 por ciento
Total Viviendas sin Agua Potable	20,4 por ciento
Total de Viviendas	100,0 por ciento

Fuente: INE, 2002, proyectado al 2014.

#### **4.1.2. Fuentes de abastecimiento**

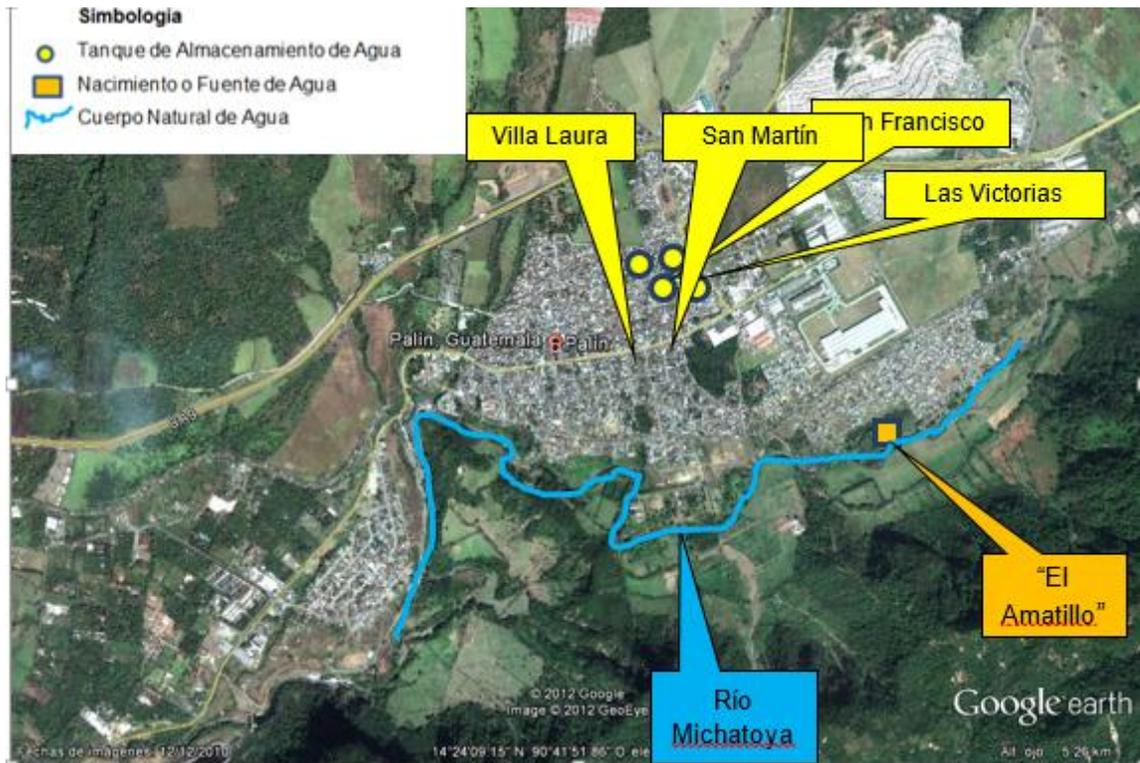
El municipio es abastecido por los manantiales de El Amatillo, Agua Blanca, El Tempisque y El Barretal, así como por una serie de pozos mecánicos que surten las colonias y residenciales privadas.

El Amatillo se localiza en el extremo noroccidental del casco urbano a la altura de la colonia María Matos aportando un caudal de 43 litros sobre segundo, el agua es impulsada mediante bombeo de motores eléctricos; surte aproximadamente a 5 mil habitantes de las zonas 3 y 4 del caso urbano y la colonia María Matos.

#### **4.1.3. Almacenamiento**

El municipio cuenta con 4 tanques de almacenamiento y distribución de agua domiciliar: Las Victorias, San Francisco, San Martín y Villa Laura. (ver la figura 8 en la siguiente página).

Figura 5. Localización de fuentes de abastecimiento y tanques de almacenamiento en casco urbano del municipio de Palín



Fuente: elaboración propia.

En la imagen anterior, se localiza El Amatillo y los tanques de almacenamiento.

#### 4.2. Plantas potabilizadoras

En el municipio de Palín, existen actualmente 2 plantas de potabilización de agua para la distribución a los habitantes del casco urbano. Las plantas de potabilización corresponden a los pozos de Villa Laura y Las Victorias, fuentes

de abastecimiento previamente mencionadas, las cuales abastecen a aproximadamente al 50 por ciento de la población.

#### 4.3. Proyección de consumo de agua potable

La población determinada en el 2012 es de aproximadamente 60 927 personas, y el consumo estimado para la población es de 6 701,97 metros cúbicos al día por toda la población. Esto tomando como base una dotación diaria de 110 litro por habitante por día.

Tabla VI. **Proyección de consumo de agua potable**

<b>Estimación de consumo de agua potable por comunidad (metros cúbicos de agua / día)</b>			
<b>Comunidades</b>	<b>Población</b>	<b>Comunidades</b>	<b>Población</b>
Aldea La Periquera	253,83	Colonia Villas de Palín	66,63
Aldea San Pedro el Cerro	57,56	Finca Bedford	3,81
Asent. La Fe	114,57	Finca Carmela	2,91
Asent. Línea Férrea M. M.	143,98	Finca El Barretal	2,00
Asent. Línea Férrea S.P.	57,01	Finca El Farol	13,98
Balcones de Palín 1	285,97	Finca El llano	28,87
Balcones de Palín 2	183,02	Finca El Rosario	13,44
Barrio San Antonio	848,28	Finca La canoa	1,82
Barrio San José	348,06	Finca La Piedad	-
Barrio San Lucas	571,57	Finca La positiva	0,73
Barrio San Pedro	577,02	Finca Majule	4,90
Caserío Monte Cristo	34,50	Finca Medio Monte	23,60
Caserío San Raymundo	16,16	Finca Raguay	3,63

Continuación de la tabla VI.

Colonia Anexo Palinche	117,29	Finca San Francisco Mirador	21,06
Colonia El Cielito	47,21	Finca San Fernando	6,15
Colonia El Cortijo	87,70	Finca San José Villa Vista	11,08
Colonia El Mirador	11,98	Finca Villa Laura	8,17
Colonia El Sacramento	425,59	Fundación Sión	28,14
Colonia la Estación	43,94	Granja Buganvilias	0,73
Colonia Las Marías	9,62	Granjas Bella Vista	79,89
Colonia Las Victorias	52,11	Granja Chiriviscal	0,73
Colonia Los Sauces	446,11	Granja Grabileas	4,90
Colonia María Matos	490,77	Granja Las Pascuas	39,04
Colonia Modelo	22,15	Lotificación Paseo Quetzal	15,25
Colonia Palinche	526,00	Lotificación María Isabel	3,99
Colonia San Benito	58,10	Planta Hidroeléctrica J.M.	6,17
Colonia San Francisco	26,41	Quintas Bello Horizonte	38,31
Colonia San Martin	247,29	Residenciales Las Victorias	70,45
Colonia Santa Rita	57,37	Retiro Elim	0,73
Colonia Valparaíso	13,44	Retiro Emaús	1,27
Colonia Villa Estelita	24,69		
Total de metros cúbicos de agua / día (estimado)			6 701,97

Fuente: elaboración propia.

En base a la estimación realizada, los municipios con mayor consumo de agua potable determinados son: Barrio San Antonio, 848 metros cúbicos; Barrio San Lucas, 571 metros cúbicos; Barrio San Pedro, 577 metros cúbicos y Colonia Palinché 526 metros cúbicos de agua diariamente.

#### **4.4. Síntesis del abastecimiento de agua potable**

En el municipio de Palín se reportan un total de 5 912 viviendas en el casco urbano. Se cuenta con 4 nacimientos de agua que son propiedad de la municipalidad y dos más que son administrados por un comité. Del 80 por ciento de las viviendas que reportan servicio agua, únicamente el 65 por ciento tiene letrina o inodoro. Existen 4 tanques de almacenamiento y 2 plantas potabilizadoras.

## **5. DISPOSICIÓN ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

### **5.1. Breve resumen de la disposición actual**

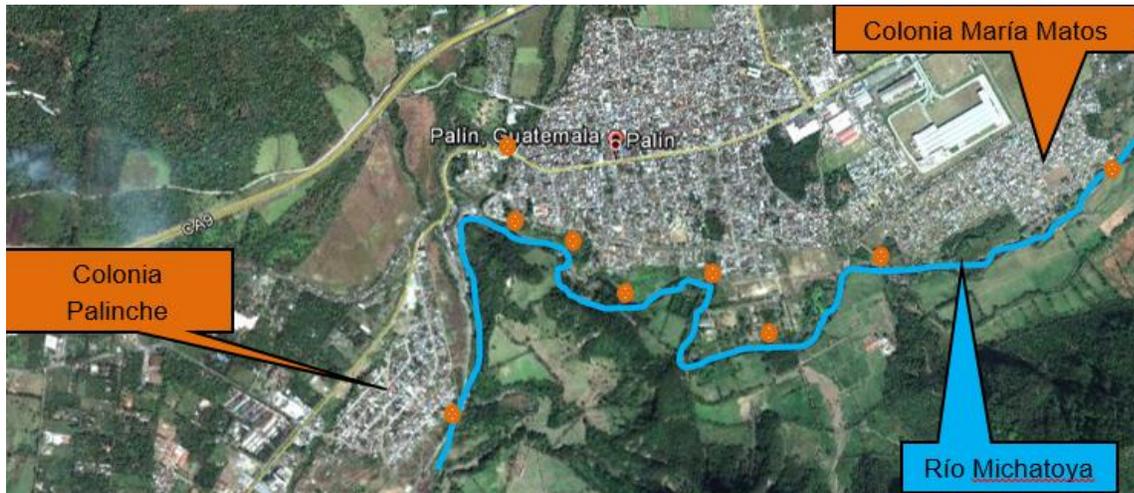
Actualmente el municipio de Palín no cuenta con una conducción adecuada de las aguas grises provenientes de las viviendas y comercios del casco urbano, un sistema de alcantarillado integral que recoja las mismas; por lo consiguiente tampoco se tiene una planta para el tratamiento de las aguas antes de verterlas al cuerpo de agua más cercano, el río Michatoya.

La falta de un sistema de saneamiento para el manejo de aguas grises en el municipio ha ocasionado proliferación de enfermedades gastrointestinales así como de malos olores en las personas y zonas cercanas a los vertederos de aguas residuales libres en el ambiente.

Según indicaciones de la SEGEPLAN el 51 por ciento de la población de la zona urbana del municipio cuenta con un sistema de saneamiento mínimo. El restante 49 por ciento no cuenta con algún sistema de conducción de desechos tales como, letrinas, fosas y otros.

Se han identificado vertidos de aguas grises en diferentes puntos del casco urbano del municipio, principalmente las colonias adyacentes al río. En el mapa a continuación se muestran los principales vertederos:

Figura 6. **Ubicación de desagües determinados a la orilla del río**



Fuente: elaboración propia.

Las colonias que se han identificado que vierten sus desechos sólidos y residuales al río Michatoya son: colonia Palinche y colonia María Matos, como principales.

Las poblaciones que habitan en dichas colonias son de las mayores localizadas en el casco urbano.

- Colonia Palinche, 4 781 personas
- Colonia María Matos, 4 461 personas

Figura 7. **Fotografía del desagüe identificado en el casco urbano**



Fuente: colonia Maria Matus, fotografía tomada el 10 de mayo 2012.

Figura 8. **Fotografía del vertedero de basura y aguas residuales**



Fuente: colonia Palinche, fotografía tomada el 10 de mayo de 2012.

Las fotografías muestran las aguas residuales producidas en el casco urbano del municipio de Palín en el punto de desembocadura en el río Michatoya.

## **5.2. Redes y ramales existentes y estado**

El sistema existente en el casco urbano del municipio fue realizado empíricamente, es decir, no se ejecutó estudio técnico alguno. El sistema se ejecutó en 1964, y no presentó ningún tipo de daño a consecuencia del terremoto de 1976, lo cual denota la experiencia y responsabilidad de las personas operativas del lugar, que sin ningún tipo de capacitación obtuvieron resultados excelentes en costos proyectos.

### **5.2.1. Componentes del sistema**

El sistema está compuesto por un colector principal que cruza la avenida central de la población, consta de una tubería de concreto de 42 pulgadas, pozos de visita en cada esquina, se le integran un serie de ramales de tubos de concreto de 12 pulgadas. En algunos puntos cercanos a la avenida central se observan rejillas de hierro, que interceptan el caudal de aguas pluviales que se originan en la parte alta del municipio.

Durante la época lluviosa, el sistema no se da abasto para conducir las aguas de lluvia hacia su receptor final, lo cual da como resultado rebalses de aguas negras en algunos puntos de la población. El hecho de que algunas personas tiren basura en las rejillas de aguas pluviales, empeora esta situación.

### 5.2.2. Receptor final del caudal

Las aguas negras llegan a su receptor final sin atravesar por ningún proceso de tratamiento, pues no se cuenta con pozos de absorción o planta de tratamiento de las aguas residuales antes del desfogue en el río Michatoya. La zona cuatro drena sus aguas negras hacia un receptor ubicado al final de la cero y la primera avenida e inicio de la 8ª. Calle, y de allí se conduce hacia el río Michatoya.

Figura 9. Esquema de la localización del alcantarillado



Fuente: Pérez, J. 2007. *Análisis de la vulnerabilidad sísmica estructural en un sector de las zonas 3 y 4 del municipio de Palín, Escuintla.*

### **5.3. Identificación de las cuencas**

Es importante mencionar que el municipio de Palín, se encuentra en una única cuenca hidrográfica en el área sur de la República, la cual es la Sub Cuenca Michatoya, mismo nombre del río adyacente al municipio.

### **5.4. Descripción de las cuencas**

El punto más alto de la Sub Cuenca Michatoya se encuentra a aproximadamente 3 670 metros sobre el nivel mar, y el punto más bajo en aproximadamente 10 metros sobre el nivel del mar. La sub cuenca abarca parte de los departamentos de Escuintla, Sacatepéquez y Guatemala. La temperatura anual promedio es de 25 grados Celsius con una precipitación promedio anual de 3 157 milímetros de lluvia, con humedad media de 84 por ciento.

El río Michatoya origina en el lago de Amatitlán, que en su curso forma una cascada o salto de agua llamada grutas de San Pedro Mártir. El uso del caudal del río es importante, ya que se presentan una serie de hidroeléctricas del INDE, siendo las centrales más importantes Palín, Palín II, Jurún Marinalá, El Salto y San Luis.

## **6. FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS**

### **6.1. Topografía**

Para el desarrollo del estudio, se deberá contemplar una etapa de topografía de las siguientes áreas de influencia del proyecto, para poder obtener información referencial exacta:

- Casco urbano
- Red de alcantarillado
- Red de agua potable
- Posicionamiento geográfico de los terrenos disponibles
- y de las zonas de recolección y colector principal.

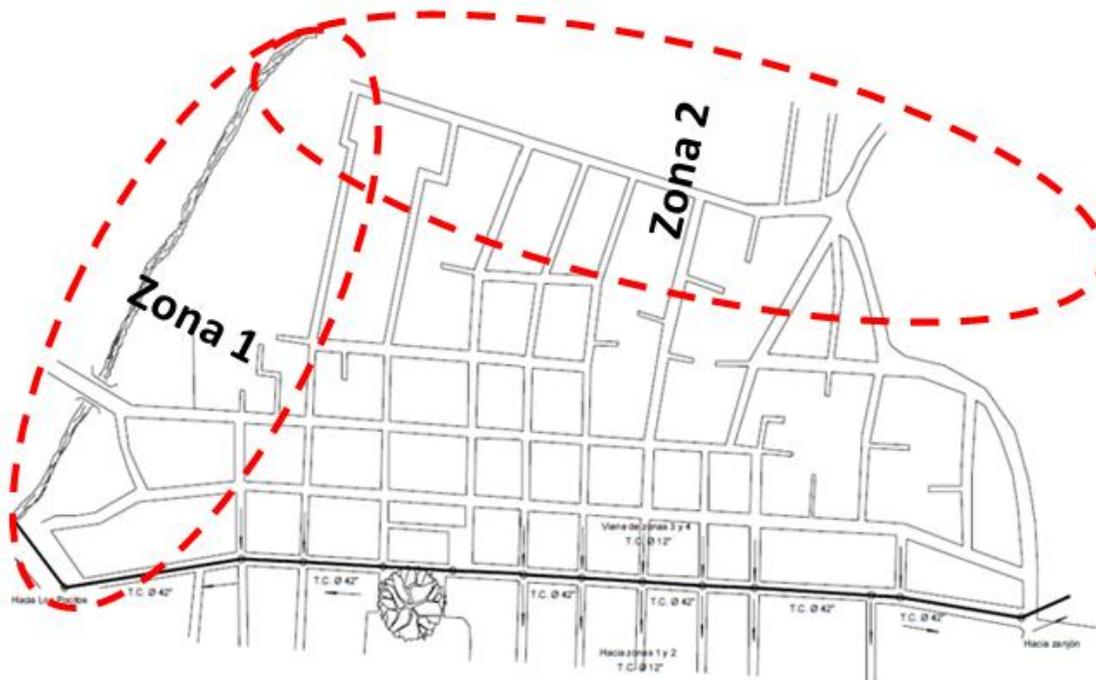
El rubro de topografía no se ha contemplado para motivos del presente estudio, debido a que este corresponde a la etapa de factibilidad, la cual prosigue al estudio de pre factibilidad, que se propone en el documento.

### **6.2. Zonas y sub zonas de recolección de aguas residuales**

Se han establecido dos zonas de recolección de aguas residuales, con el fin de poder recolectar la mayor cantidad de vertidos de alcantarillado del casco urbano seleccionado. La zona 1, la cual se indica en la figura 12; representa la zona adyacente al río Michatoya, y en la cual desemboca el colector principal de casco urbano, por lo que de esta forma se ha abarcado la mayor cantidad de aguas residuales.

La zona 2, corresponde al lado este del casco urbano, en donde se encuentran alcantarillados sin un colector principal, y que generalmente desembocan en cunetas o zanjas cercanas a viviendas; de esta forma se estaría reduciendo la contaminación y las enfermedades a causa de malos olores y bacterias.

Figura 10. **Esquema de zonas de recolección de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia.

### 6.3. Caudales promedio de aguas residuales

La determinación de los caudales de agua residual a eliminar de una población es fundamental al proyectar las instalaciones para su recogida, tratamiento y evacuación.

De cara a la obtención de un diseño adecuado a las necesidades, y de cara también a la minimización y equitativo reparto de los costos entre los diversos municipios agrupados para tratar conjuntamente sus residuos, es preciso conocer datos fiables sobre los caudales que se quiere tratar. En el caso del Municipio de Palín, los datos sobre los caudales son escasos y es preciso estimarlos partiendo de otras fuentes de información como datos sobre consumo de agua.

La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de fuente que las origina, así como del sistema de recolección empleado. De acuerdo al tipo de fuente que las genera, las aguas residuales se pueden dividir en:

- Aguas residuales domésticas: procedente de zonas residenciales o habitacionales, comercios e instalaciones de uso público.
- Aguas residuales industriales: agua residual en la cual predominan vertidos industriales.
- Aguas pluviales: agua resultante de la escorrentía superficial.

#### **6.4. Caudales de infiltración**

Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra el sistema a través de juntas defectuosas en el alcantarillado, fracturas o grietas. Las aportaciones no controladas a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios o tapas de pozos de registro.

## **6.5. Aspectos ambientales**

Los aspectos ambientales para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales son de importancia su evaluación, debido al impacto positivo o negativo que pueda tener la obra durante su preparación, construcción y operación.

### **6.5.1. Emisiones a la atmósfera**

Las emisiones a la atmósfera liberadas durante la etapa de preparación del terreno y construcción serán originadas por los motores de camiones, tractores, retroexcavadoras y otros; estas deberán ser calculadas con los respectivos consumos de combustibles utilizados al finalizar el proyecto.

Se incluyen también todas aquellas generadas por refrigerantes, consumo de gas propano y cualquiera de los restantes gases de efecto invernadero liberados.

Se deberá efectuar mantenimiento permanente al equipo y maquinaria de construcción preventiva y correctiva para minimizar los gases de combustibles contaminantes.

### **6.5.2. Aguas residuales de origen sanitario**

Durante la fase de preparación del sitio y de construcción, el organismo responsable deberá situar estratégicamente sanitarios portátiles para dar tratamiento a las heces fecales y orina generadas por el personal.

### **6.5.3. Residuos sólidos y peligrosos**

Los residuos sólidos generados durante esta fase del proyecto se depositarán en bolsas y recipientes para su posterior traslado al sitio destinado que para el efecto ha destinado la Municipalidad de Palín.

Los residuos de grasas y aceites generados por el engrasado rutinario de la maquinaria y equipo durante la etapa de preparación del terreno y construcción de la planta que contengan alguna sustancia que por su composición o posible mezcla o combinación signifique peligro para la salud humana y su entorno, serán en cantidades mínimas; deberán ser almacenados en recipientes herméticos etiquetados para su posterior envío al lugar autorizado para su disposición final.

### **6.5.4. Movimientos de tierra**

Los movimientos de tierra necesarios para el desarrollo del proyecto en la etapa de preparación y posteriormente de construcción deberán ser controlados para evitar levantamiento de polvo que afecten a los poblados cercanos.

La tierra removida tendrá que ser depositada en lugares autorizados por la municipalidad de Palín.

## **6.6. Plantas de tratamiento**

Son obras de ingeniería que son diseñadas para la limpieza de aguas residuales, de ríos, lagos entre otros, que serán utilizadas para su consumo humano, reúso en riegos y plantaciones o su regreso a un cuerpo de agua natural.

### **6.6.1. Ubicación**

La selección del sitio o sitios de ubicación de los sistemas debe basarse en la información mínima y en los estudios previos desarrollados en la zona, dirección de los vientos prevalecientes, audiencias públicas para el caso del nivel alto de complejidad del sistema, así como también en el valor de adquisición de los predios, aspectos políticos y legales, requerimientos de tamaño, facilidad de acceso al sitio, servicios disponibles (electricidad, agua potable, teléfono, gas) y el potencial de reúso del efluente.

Como la planta se encuentra cerca a zonas residenciales se deben tomar medidas como la minimización de ruidos, olores, material particulado en el aire, cloro y otros químicos peligrosos, aerosoles e insectos. Se deben considerar de manera específica los siguientes aspectos:

- Puntos de emisión de olores y cantidad de emisión en cada uno de ellos
- Modelación de la dispersión atmosférica
- Medidas de mitigación
- Se deben considerar los requerimientos por la demanda actual y futura en el momento de la selección del sitio. El área requerida para una planta de una capacidad depende de las siguientes consideraciones:
  - Grado de tratamiento requerido
  - Proceso a ser usado
  - Grado de redundancia requerido
  - Requerimientos de espacio para instalaciones secundarias y de soporte
  - Requerimientos de espacio para acceso, circulación y mantenimiento

### 6.6.2. Gradualidad del tratamiento

Para la selección de la planta de tratamiento se consideró la población como parámetro de entrada, se contemplan plantas de tratamiento para distintas poblaciones características de manera de obtener como resultado final una curva de valor actualizado de costos en función de la población a tratar, la cual se ha tomado en tres variables de 5 000, 10 000 y 20 000 personas.

Los parámetros de control que se consideraron en los distintos procesos de la planta de tratamiento fueron: el caudal afluente, caudal efluente y la carga total de contaminante afluente y efluente. Los contaminantes que se consideraran son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), los sólidos suspendidos totales (SST), el nitrógeno (NKT) y el fósforo total (P), estos parámetros determinaron el diseño de las distintas unidades.

La determinación del caudal se utilizó un factor de recuperación de aguas de 0,85, una dotación acorde al nivel socioeconómico de la población de 110 litros por habitante por día. El caudal medio diario ( $Q_{as}$ ) se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{as} [\text{m}^3/\text{día}] = \frac{fr * \text{Dotación} \left[ \frac{\text{lt}}{\text{hab}}/\text{día} \right] * \text{Población}[\text{hab}]}{1000}$$

El caudal máximo horario ( $Q_{pas}$ ) se ha determinado mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{pas} [\text{m}^3/\text{día}] = Q_{as} [\text{m}^3/\text{día}] * \left( 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\text{Población}[\text{hab}]/1000}} \right)$$

Para la determinación de sólidos totales en suspensión (SST) y DBO<sub>5</sub>, en las aguas servidas se utilizaron valores per cápita de 35 y 40 gramos por habitante por día respectivamente.

Para determinar el nitrógeno y fósforo en las aguas residuales se utilizaron valores superiores a 8 y a 1,6 gramos por habitante por día respectivamente.

Tabla VII. **Carga unitaria de contaminantes**

<b>Contaminante</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor per cápita</b>
DBO <sub>5</sub>	Gramos/habitante/día	40
SST	Gramos/habitante/día	35
NKT	Gramos/habitante/día	10
P	Gramos/habitante/día	1,6

Fuente: Carrasco, C. 2007.

Como consideraciones preliminares y generales de los procesos dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas del municipio de Palín, se puede mencionar que se ha contemplado lo siguiente:

- Tratamiento preliminar
- Sistema de floculación
- Tratamiento primario
- Con los lodos generados, espesamiento
- Estabilización

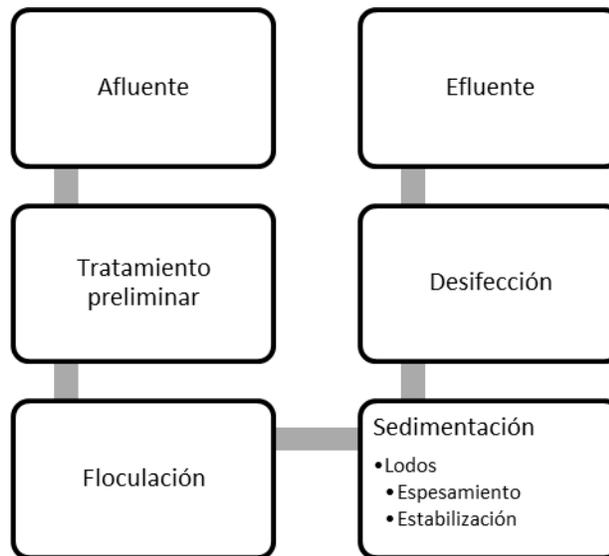
En la siguiente tabla se muestra el tipo de unidad necesaria para cada uno de los procesos del proyecto.

Tabla VIII. **Tipo de unidad utilizada en cada proceso proyectado**

Proceso	Tipo de unidad
Tratamiento preliminar	Rejas gruesas
	Rejas finas
	Desarenador aireado
Floculación	Floculador mecánico
Sedimentación	Sedimentador circular
Desinfección	Sistema cloro gas
Espesamiento	Espesamiento gravitacional
Estabilización	Estabilización con cal

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Esquema de proceso a implementar**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se expone el esquema de proceso de flujo del tratamiento que será dado a las aguas servidas de la población, desde el

afluente o colectores, hasta el efluente el cual se ha definido como el cuerpo de agua adyacente a las colonias del municipio, el río Michatoya.

### **6.6.3. Sistema de tratamiento**

Durante el tratamiento de las aguas residuales éstas se someterán a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen por objetivo reducir la concentración de los contaminantes minimizando los riesgos tanto para el medio ambiente, como para las poblaciones y permitir el vertido de los efluentes depurados,

En las grandes y medianas aglomeraciones urbanas el procedimiento más habitual para el tratamiento de los vertidos líquidos se conoce como lodos activos, en sus distintas modalidades, que desde sus primeras aplicaciones a principios del siglo XX se ha convertido en el tratamiento mundialmente más extendido. Se define como lodos activados el material que consiste, sobre todo, de protozoarios y bacterias; se usa para el tratamiento de las aguas residuales. Cuando se mezcla con las aguas residuales que han sido aireadas, dichos organismos degradan la materia orgánica presente y la utilizan como alimento; de esta manera se multiplican y producen más lodos activados.

El alejamiento de las excretas de la población con sistema de alcantarillado se realiza a través de instalaciones domiciliarias que desaguan en conductos impermeables subterráneos unidos en forma de red, y que constituyen la red general de alcantarillado. Con el desarrollo industrial y el crecimiento de la población, los caudales y concentración de aguas residuales han aumentado hasta el límite en que se hace indispensable un tratamiento antes de su disposición final.

Para reducir la contaminación de las aguas residuales, se requiere someterlas a un proceso especial en plantas de tratamiento, el proceso de purificación es complejo, debido especialmente a que la composición de las aguas residuales es muy variable. Tiene materias en solución, suspensión, estado coloidal y finamente divididas, de tal manera que sólo una parte de las materias que permanecen en suspensión pueden ser separadas por rejillas, rejas, flotación o sedimentación primaria. El resto debe precipitarse y es eliminado por la acción de sustancias químicas y sedimentación, y aún a veces por filtración y normalmente, sometiéndolas a un tratamiento biológico, aerobio seguido de una sedimentación secundaria.

El tratamiento de las aguas residuales se divide en tratamiento primario y secundario. El primero corresponde al proceso de tratamiento de las materias sedimentables, y el segundo se refiere al tratamiento de la materia no sedimentable, es decir, materia finamente dividida al estado coloidal y en solución.

#### **6.6.4. Descripción general de sistemas de tratamiento**

En el complejo sistema de una planta de tratamiento se pueden identificar tres procesos fundamentales para el buen funcionamiento de la misma, los cuales son distribuidos en tres grupos, físicos, químicos y biológicos.

- Procesos físicos, consisten en la separación de sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales y su estabilización, la remoción de partículas flotantes, la retención de partículas de gran tamaño y otros.
- Procesos químicos, consisten en la separación o transformación de las sustancias sedimentables, flotantes y disueltas mediante el uso de sustancias químicas, por ejemplo, la utilización de algún desinfectante.

- Procesos biológicos, en donde intervienen microorganismos para la oxidación y mineralización de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales.

#### **6.6.4.1. Clasificación de sistemas de tratamiento**

Los tratamientos de aguas residuales han sido clasificados en sistemas preliminares, primarios, secundarios y avanzados tal como se describe a continuación, los mismos son diferenciados por el nivel de contaminación y tipos de desechos con los que cuentan las aguas residuales o a tratar.

##### **6.6.4.1.1. Pre tratamiento**

Los sistemas preliminares también llamados de pre-tratamiento, incluyen medición y regularización del caudal entrante, y remoción de sólidos flotantes grandes, arena, sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites y grasas.

La calidad del agua residual no es sustancialmente mejorada por los sistemas primarios, la operación de los procesos subsiguientes es mejorada a través de la medición y control del flujo y por la remoción de materiales que pueden interferir con el tratamiento mecánico, químico o biológico. Entre los dispositivos usados para medir flujos de aguas residuales se encuentran una variedad de canaletas, medidores magnéticos y medidores sónicos.

- Rejillas y tamices gruesos

En pequeñas plantas se utilizan rejillas de limpieza manual. Las rejillas deben ser periódicamente removidas, ya que gran parte del material es

putrescible, está impregnado con materia fecal, produce malos olores y atrae insectos. Los tamizados son algunas veces alimentados directamente a un triturador, el cual reduce su tamaño, de modo que interfieran con los tratamientos subsiguientes, son retornados al flujo o combinados con lodos primarios, la digestión anaeróbica, la incineración y el entierro constituyen otros métodos de manejo de este material.

- Remoción de arena

Una parte de los sólidos suspendidos en aguas residuales municipales está constituida por materiales orgánicos inertes tales como arena, fragmentos de metal, cáscaras. Esta arena no es benéfica para el tratamiento secundario o técnicas de procesamiento de lodos, puede bloquear conductos y promover desgaste excesivo del equipo mecánico.

- Remoción de grasa

Cantidades excesivas de grasa pueden taponar los filtros percoladores o recubrir flóculos biológicos en procesos de lodos activados. La grasa es removida a un grado mediante dispositivos desnatadores de superficie en tanques de sedimentación primaria.

Los tanques desnatadores emplean entradas superficiales con deflectores (aparato para desviar la dirección de un fluido) y estructuras de salida que permiten la flotación del material que se va a retener. Los tiempos de retención son de 15 minutos o menos, empleándose usualmente los desnatadores mecánicos continuos. La velocidad horizontal del agua es mantenida en el rango de 50 a 250 milímetros por segundo, con el fin de prevenir la deposición de partículas orgánicas en el fondo.

- Pre aireación

La aireación de las aguas residuales previo a cualquier otro tratamiento, tienen efectos favorables para su tratamiento.

- Elimina compuestos volátiles (típicamente olorosos)
- Incrementa el contenido de oxígeno disuelto del flujo
- Puede mejorar la remoción de grasa
- Ofrece oportunidad para la floculación de sólidos suspendidos
- Ayuda a uniformizar las características del flujo a medida que entra en los procesos subsiguientes

La pre aireación se realiza en tanques desarenadores expandidos que tienen tiempo de retención de treinta minutos. Las tasas de aireación varían de 0,01 a 0,05 metros cúbicos de aire por metro cúbico de residuo.

#### **6.6.4.1.2. Tratamiento primario**

El tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO5 de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20 por ciento antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50 por ciento.

El objetivo de los tratamientos primarios consiste en la eliminación de sólidos en suspensión, consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se

eliminan está constituida por materia orgánica. Los tratamientos primarios más habituales son la decantación primaria y los tratamientos fisicoquímicos.

El fin de este tratamiento es retirar de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables que se encuentren suspendidos, mediante el proceso físico de sedimentación. Los métodos o elementos de tratamiento primario más utilizados se describen a continuación:

- Fosas sépticas

Las fosas sépticas se utilizan por lo común para el tratamiento de las aguas residuales de familias que habitan en localidades que no cuentan con servicio de alcantarillado o que la conexión al sistema de alcantarillado les resulta costosa por su lejanía. El uso de tanques sépticos se permite en localidades rurales, urbanas y urbano-marginales.

Uno de los objetivos de la fosa séptica es crear dentro de esta una situación de estabilidad hidráulica, que permita la sedimentación por gravedad de las partículas pesadas. Los sólidos sedimentables que se encuentren en el agua residual cruda forman una capa de lodo en el fondo del tanque séptico.

Las grasas, aceites y otro material ligero tienden a acumularse en la superficie donde forman una capa flotante de espuma. El líquido pasa por el tanque séptico entre dos capas constituidas por la espuma y los lodos.

La materia orgánica contenida en las capas de lodo y espuma es descompuesta por bacterias anaerobias, y una parte considerable de ella se convierte en agua y gases más estables como dióxido de carbono, metano y sulfuro de hidrógeno.

El lodo que se acumula en el fondo del tanque séptico está compuesto de hilachas provenientes del lavado de prendas y de lignina, la cual hace parte de la composición del papel higiénico, estos materiales llegan a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que éstas últimas se acumulan.

Los elementos básicos de una fosa séptica son: el tanque séptico y el campo de oxidación; en el primero se sedimentan los lodos y se estabiliza la materia orgánica mediante la acción de bacterias anaerobias, en el segundo las aguas se oxidan y se eliminan por infiltración en el suelo.

- Tanques Imhoff

El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Para comunidades de 5 000 habitantes o menos, los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se llama tanques de doble cámara.

Los tanques Imhoff tienen una operación simple y no requiere de partes mecánicas, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen primero por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas.

El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

- Cámara de sedimentación
- Cámara de digestión de lodos

- Área de ventilación y acumulación de natas

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Esta alternativa resulta adecuada en caso de que no se cuente con suficiente área para construir un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, como es el caso de las lagunas de estabilización, además de que el tanque Imhoff deberá estar instalado alejado de la población, debido a los malos olores que produce.

El tanque Imhoff elimina del 40 al 50 por ciento de sólidos suspendidos y reduce el DBO en un 25 a 35 por ciento. Los lodos acumulados en el digestor del tanque Imhoff se extraen periódicamente y se conducen a lechos secados. Debido a la baja remoción de DBO y coliformes, durante el proceso lo que se recomienda es enviar el efluente hacia una laguna facultativa para lograr una mejor remoción de microorganismos.

Es importante concluir que los tanques Imhoff, no son una tecnología aplicable al medio del municipio de Palín, Escuintla, debido a que los mismos son para poblaciones menores de 5 mil habitantes, también necesitan un espacio amplio y abierto para que el efecto de los olores no se perciban lo cual no es opción en el municipio en estudio, ya que es una comunidad hacinada.

#### **6.6.4.1.3. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario de aguas residuales urbanas es un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso para la eliminación de materia orgánica.

En este sistema de tratamiento se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales, los cuales funcionan con ventilación, oxígeno, formándose estructuras floculentas por los procesos vitales desarrollados en el agua. Los flóculos formados se asientan como películas en los campos de riego o lechos bacterianos.

La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual definen dos grandes grupos o procesos de la actividad biológica: proceso aerobio (en presencia de oxígeno) y proceso anaeróbico (en ausencia de oxígeno).

El tratamiento biológico se realiza con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias) que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales. Una parte de la materia orgánica se oxida por la flora bacteriana, que obtiene de esta forma la energía necesaria para el mantenimiento celular. De forma simultánea, otra fracción de materia orgánica se convierte en nuevo tejido celular (síntesis celular), empleándose para ello la energía liberada en la fase de oxidación.

#### **6.6.4.1.4. Tratamiento terciario**

Los tratamientos terciarios conocidos también como tratamientos avanzados, más rigurosos, complementarios, y otros; permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde

los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados. La eliminación de materia particulada (diminutas piezas de sólidos, generada a partir de alguna actividad antropogénica) y coloidal presente en los efluentes depurados, puede lograrse mediante la aplicación de tratamientos fisicoquímicos (coagulación floculación) y la posterior etapa de separación (decantación, filtración).

Para la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos. En la eliminación biológica de nitrógeno se opera de forma secuencial, bajo condiciones óxicas y anóxicas, que dan como resultado final su liberación a la atmósfera, en forma de nitrógeno gaseoso. No obstante, el caso del de fósforo, los procesos de precipitación química, empleado sales de hierro y de aluminio, continúan siendo los de mayor aplicación.

Para la eliminación biológica del fósforo se combinan reactores operando bajo condiciones anaerobias, óxicas y anoxias, quedando el fósforo almacenado en los microorganismos, que posteriormente se extraen como lodos en exceso. Combinando los procesos anteriores también es posible la eliminación conjunta de ambos nutrientes.

Con relación a la desinfección de los efluentes depurados, el cloro continua siendo, el desinfectante típico de las aguas residuales, al incrementarse el número de requisitos para lograr bajas o indetectables cantidades de cloro residual en los efluentes tratados, se hace precisa la implantación de procesos posteriores de dechloración, o bien, la sustitución de los sistemas de cloración por sistemas de desinfección alternativos, tales como la radiación ultra violeta, el empleo de ozono o de membranas.

El tratamiento terciario es necesario para alcanzar una calidad fisicoquímica- biológica adecuada para el uso al que se destina el agua residual, sin que se tenga riesgo alguno. Con este proceso se obtiene agua para el reúso que se le pretenda dar a las aguas residuales renovadas.

#### **6.6.4.1.5. Desinfección**

Existen dos procedimientos para realizar la desinfección de las aguas residuales, físicos y químicos. Los físicos consisten en filtración, ebullición y rayos ultravioleta. Los químicos en aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono, iones, plata y otros.

Dentro de los beneficios que se obtienen de la utilización de cloro, se pueden mencionar los siguientes:

- Eliminar olor y sabor
- Ayuda a evitar la formación de algas
- Decoloración
- Ayuda a la oxidación de la materia orgánica
- Ayuda a eliminar sales de hierro y manganeso
- Favorece el decaimiento y mortalidad de microorganismos
- Ayuda a mejorar la eficiencia de la sedimentación primaria
- Ayuda a eliminar las espumas en los sedimentadores

En plantas de tratamiento donde se manejan grandes volúmenes de agua es recomendable el uso de cloro gaseoso.

### 6.6.5. Criterios económicos, técnicos y sociales para evaluación y preselección del tratamiento

Para la evaluación y pre selección de las alternativas de proyectos que existen para determinada situación son necesarios criterios objetivos, que permitan crear un proyecto suficientemente viable, en términos económicos, sociales y técnico que sean aplicables al área de estudio.

#### 6.6.5.1. Eficiencia en sistema de tratamiento

El sector de agua potable y saneamiento de Colombia indica que las lagunas de oxidación por medio de sus procesos físico químicos son el mecanismo más eficiente en cuanto a la remoción de las aguas residuales de los parámetros DBO, sólidos totales y patógenos de las aguas residuales, removiéndolos en más del 80 por ciento en promedio.

Tabla IX. Eficiencia de remoción de constituyentes

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH <sub>3</sub> -N	Patógenos
Rejillas	desp.	desp.	desp.	Desp.	desp.	desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	desp.	desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	desp.
Filtros percoladores							desp.
Alta tasa, roca	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15	
Super tasa, plástico	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15	
Cloración	desp.	desp.	desp.	Desp.	desp.	desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	desp.
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	desp.
Lagunas de oxidación							
Lagunas anaerobias	50-70	---	20-60	---	---	---	90-99.99
Lagunas aireadas	80-95	---	85-95	---	---	---	90-99.99
Lagunas facultativas	80-90	---	63-75	30	---	---	90-99.99
Lagunas de maduración	60-80	---	85-95	---	---	---	90-99.99
Ultravioleta	desp.	desp.	desp.	Desp.	desp.	desp.	100

Fuente: Sector de Agua Potable y Saneamiento. Reglamento Técnico. Ministerio de Desarrollo Económico, Colombia. 2000.

De igual forma, la sedimentación primaria tiene una eficiencia en más del 30 por ciento para remoción de DBO y 80 por ciento para sólidos totales y es el utilizado en muchas ocasiones por dimensiones de terreno.

#### 6.6.5.2. Estudio técnico de las aguas del afluente

Dentro del marco del proyecto FODECYT 49-2008, se realizaron estudios técnicos a las aguas residuales dentro del municipio de Palín, específicamente en el interior de la finca San Luis Buena Vista ubicada en el suroccidente del casco urbano. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla X. **Resultados del estudio técnico de aguas residuales del río Michatoya**

<b>Lugar de Muestreo / Parámetros Caracterizados</b>	<b>Temperatura del Agua (°C)</b>	<b>Ph (Potencial de Hidrógeno)</b>	<b>Sólidos Disueltos Totales (ppm)</b>	<b>Escherichia Coli (NMP)</b>	<b>Coliformes Totales (NMP)</b>
Punto de Muestreo 5. Río Michatoya interior Finca San Luis Buenavista, Palín, Escuintla.	26	7	159	>2419.6	>2419.6
Punto de Muestreo 6. Río Michatoya desfogue de la hidroeléctrica El Salto, interior Finca San Luis Buenavista, Palín, Escuintla.	27	9	413	>2419.6	>2419.6

Fuente: elaboración propia.

En dicho estudio se muestran únicamente los parámetros utilizados para el proyecto en mención, los resultados representan el promedio de 25 estudios de las aguas del afluente del río Michatoya en los puntos indicados. Se

recomienda para el estudio posterior, del diseño final de la planta de tratamiento realizar estudios técnicos a las aguas tomando en cuenta los parámetros indicados en el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo Gubernativo 236-2006 del 5 de mayo de 2006).

Tabla XI. **Límites máximos permisibles de descarga a campos rectores para aguas residuales**

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro	Dos de mayo de dos mil veintinueve
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	300	275	200	100	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	150	70	20	20
Fósforo total	Miligramos por litro	50	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	1	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	2	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1000	750	500	500

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 24.

Artículo 24. Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y de urbanizaciones no concentradas en el alcantarillado público. Los parámetros objetivo a alcanzar son aquellos que correspondan a la fecha indicada, para este caso aún se está en tiempo para lograr los fines del reglamento que es contar con un tratamiento primario para el 2015. Por lo cual se debe tomar en cuenta la tabla 11 mostrada en la página anterior, en donde se indica el año y la etapa del tratamiento que se deberá estar realizando.

### **6.6.5.3. Costos de inversión**

Los costos de inversión indican la cantidad de dinero y recursos necesarios para que el proyecto en cuestión pueda llevarse a cabo con un nivel de riesgo mínimo, y que pueda resultar en una viabilidad a lo largo del tiempo, tanto en cuestiones económicas como operativas y de mantenimiento.

#### **6.6.5.3.1. Costos directos**

Para el cálculo de los costos directos de inversión se hizo una estimación del costo de las obras civiles y de los equipos necesarios para la planta de tratamiento. Además se asume que las interconexiones hidráulicas representan un 10 por ciento de los costos directos, que las obras de urbanización y los costos de instrumentación equivalen a 5 por ciento cada uno, y que las instalaciones eléctricas un 8 por ciento. Los costos directos de las obras civiles y equipos representan un 77 por ciento del total de la obra, por lo que conociendo el costo de las obras civiles y de los equipos se pueden estimar los costos directos.

#### **6.6.5.3.2. Obras civiles**

En las obras civiles se consideró el movimiento y compactación de tierras que contempla tanto la excavación como el material de relleno necesario. Por su parte las obras de concreto incluyen el armado y formaletas necesarias.

#### **6.6.5.3.3. Costos indirectos**

Debido a que los costos indirectos de inversión son muy difíciles de cuantificar y dependen de muchas variables, se consideró que estos representan aproximadamente un 30 por ciento adicional a los costos directos de inversión, gastos generales 15 por ciento y costos de Ingeniería el restante 15 por ciento.

#### **6.6.5.3.4. Presupuesto de inversión**

Los ingresos se ordenan de tal manera que permitan identificar su origen, es decir; si son recursos propios (de la municipalidad, comité u asociación) si provienen de algún préstamo, o si constituye una donación. En cuanto a egresos se agrupan conforme a su naturaleza o destino:

- Mano de obra
- Materiales de construcción
- Mobiliario y equipo
- Maquinaria
- Papelería y útiles de oficina

Se solicitará a la población un aporte de un máximo de Q 200,00 por persona, haciendo un total de un millón de quetzales. Se espera que la

municipalidad invierta un total de Q 1 250 000,00. Y se buscará un financiamiento no reembolsable con la cooperación internacional, con un monto de tres millones de quetzales. El presupuesto mínimo que se tendrá será de Q 5 250 000,00. La tabla XII, en la siguiente página resume los grupos de egresos a los cuales se destinan los fondos.

Tabla XII. **Fuentes de financiamiento**

Actividad	Aporte vecinos	Aporte municipal	Otro aportes	Total
Mano de Obra	Q 500 000	Q 500 000	Q 750 000	Q 1 750 000
Mat. Construcción	Q 500 000	Q 500 000	Q 2 000 000	Q 3 000 000
Gastos Oficina	Q 0	Q 250 000	Q 250 000	Q 500 000
<b>Total</b>	<b>Q 1 000 000</b>	<b>Q 1 250 000</b>	<b>Q 3 000 000</b>	<b>Q 5 250 000</b>

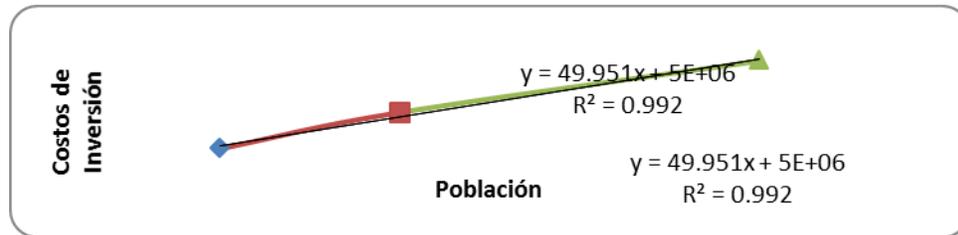
Fuente: elaboración propia.

#### **6.6.5.3.5. Costos totales de inversión**

Con las consideraciones anteriores y costos estimados, es posible estimar establecer los costos totales de inversión de la planta de tratamiento.

Estimar los costos según la población demandante colabora a crear una línea de tendencia, la cual puede ser utilizada para estimar los costos teniendo como variable principal la población.

Figura 12. **Costos de inversión versus población**



Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra la comparación de los costos estimados de inversión, teniendo como principal variable de estudio el número de habitantes a beneficiar.

Tabla XIII. **Desglose de costos estimados de inversión**

Descripción de Costos	Habitantes		
	5 000	10 000	20 000
Obras Civiles	182 815,18	258 010,85	393 455,06
Interconexiones Hidráulicas	301 012,67	319 869,07	346 773,95
Obras de Urbanización	150 391,35	159 819,56	173 386,97
Instalaciones Eléctricas	240 764,14	255 941,25	277 327,18
Equipos	1 984 062,07	2 044 770,50	2 102 719,47
Costos Directos de Inversión	2 859 045,40	3 038 411,23	3 293 662,62
Gastos Generales	451 404,02	479 688,63	519 930,96
Ingeniería	451 404,02	479 688,63	519 930,96
Costos Indirectos de Inversión	902 808,03	959 377,26	1 039 861,92
Costos Totales de Inversión	3 761 853,43	3 997 788,49	4 333 524,54

Fuente: elaboración propia.

## 6.7. Comparación de alternativas

La tecnología adoptada para realizar el análisis económico de la planta de tratamiento del casco urbano del municipio de Palín, es la apropiada para el nivel socioeconómico de sus habitantes, así mismo, responde a las condiciones climatológicas, culturales, operación simple y mantenimiento bajo, así mismo para las características espaciales y disposición de terrenos. En otras ciudades de diferentes países se construyen plantas de tratamiento con mayor magnitud de avances tecnológicos en relación a las aplicables a las del medio guatemalteco. Es por qué se hace una comparación económica de los parámetros de costo per cápita que sustentan dichas tecnologías. La comparación de alternativas se muestra en la siguiente página.

Tabla XIV. **Comparación de costos de inversión**

Población	Costos de Inversión			Margen Porcentual
	Lodos Activados	Tratamiento Primario Contemplado		
5 000	Q 1 200,00	Q 1 003,16		20 por ciento
10 000	Q 712,00	Q 533,04		34 por ciento
20 000	Q 376,00	Q 288,90		30 por ciento

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior, se observa la variación de costos per cápita, que reflejado a una población como la que habita en la población de Palín, el tratamiento seleccionado se considera como aceptable en términos económicos.

### 6.7.1. Alternativa seleccionada y población a beneficiar

La colonia Palinche cuenta actualmente con un total de 4 781 personas y la colonia María Matos 4 461 habitantes, estas poblaciones se encuentran adyacentes al río Michatoya, por lo que su facilidad para verter las aguas servidas en el cuerpo de agua es mayor.

De igual forma, dichas poblaciones se encuentran en rangos aprovechables para los costos estimados anteriormente, ya que las mismas se encuentran aproximadamente en 5 000 personas.

Las estimaciones descritas en los párrafos anteriores permiten establecer que las poblaciones de dichas colonias podrían beneficiarse en un mediano y largo plazo con la implementación de una planta de tratamiento. La población proyectada para 25 años se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XV. **Población proyectada**

<b>Población Proyectada</b>	<b>Año 2038</b>
<b>Colonia Palinche</b>	12 745
<b>Colonia María Matos</b>	11 892

Fuente: elaboración propia.

La población estimada para los próximos 25 años es aproximadamente de 12 745 habitantes y 11 892 para las colonia Palinche y María Matos respectivamente utilizando los costos per cápita citados anteriormente.

A continuación se proyectan los costos totales de una planta de tratamiento para una población estimada al 2038.

Tabla XVI. **Cálculo de costos estimados proyectados**

<b>Población</b>	<b>Ecuación Paramétrica</b>	<b>Población (2 038)</b>	<b>Costo Total</b>
Colonia Palinche	$Q(x) = 49.995x + 5000000$	12745	Q5 637 204.4
Colonia María Matos	$Q(x) = 49.995x + 5000000$	11892	Q5 594 555.3

Fuente: elaboración propia.

El costo máximo de la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales es de Q5 637 204,40 estimado para la colonia Palinche y colonia María Matos del casco urbano del municipio de Palín.

## **6.8. Medidas de mitigación**

Las medidas de mitigación son aquellas que se definen para reparar o reducir los daños que son inevitables que se generen por las acciones de un proyecto, de manera que sea posible concretar las actuaciones que son necesarias llevar a cabo sobre las causas que las han originado.

### **6.8.1. Olores**

Los malos olores provenientes de las plantas de tratamiento en cualquier de sus fases de construcción o bien durante su operación, son producidas por los cambios y la descomposición de las moléculas que componen las aguas servidas; de las cuales se emite metano como gas de efecto invernadero y otros

gases particulares del proceso bacteriano para la eliminación de desechos orgánicos.

#### **6.8.1.1. Reforestación**

Julio Moscoso en la publicación Aspectos Técnicos de la Forestación con Aguas Residuales destaca que el uso de las aguas residuales se ha orientado principalmente a la actividad agrícola y piscícola. En cambio, la forestación solo se ha considerado como una barrera contra el viento o un cordón perimetral para evitar malos olores y mejorar la estética de las plantas de tratamiento y las áreas de reúso.

Las diversas experiencias y proyectos existentes en México y Perú (como el del lago Texcoco en el Valle de México y en el entorno ecológico de San Juan de Miraflores al sur de Lima en Perú); las principales alternativas de producción forestal son las siguientes:

- Franjas perimetrales de las plantas de tratamiento
- Viveros forestales
- Bosques de producción de madera y otros productos
- Entornos ecológicos urbanos
- Protección de laderas

Los proyectos de tratamiento y uso de aguas residuales tienen un área forestal perimétrica utilizada como barrera de viento para aislar el sistema del área urbana, mejorar el ornato del lugar y evitar la difusión de malos olores.

La franja que existe entre la planta de tratamiento y la ciudad o zona urbana debe ser utilizada para crear un área forestal que eleve las capas de

viento desde el área de tratamiento hacia la ciudad. Dependiendo del tamaño de la planta de tratamiento y en particular cuando se trata de lagunas de estabilización facultativas, el área perimetral puede ocupar una apreciable extensión de terreno. Si se le utiliza para conformar bosques se podría esperar una producción forestal altamente productiva.

### **6.8.1.2. Tratamiento líquido**

Las plantas de tratamiento debido a la materia prima que trata, aguas residuales y los residuos que se derivan se ha de convivir con los olores que se desprenden a lo largo del tratamiento. En primer lugar habría que distinguir entre los olores externos a la planta y los que se generan en el propio tratamiento. En general quitando caso de vertidos de sustancias con elevado potencial oloroso, los olores se generan a partir de la degradación de materia orgánica en ausencia de oxígeno. Los principales productos implicados son ácido sulfhídrico y derivado de azufre, amoniaco, aminas y material volátil.

Existen en el mercado producto de marca ECOSULF y MIRODOR que han sido diseñados para eliminar y enmascarar los olores sobre todo derivados del sulfhídrico.

Los productos de la serie ECOLOR han sido diseñados para eliminar la presencia importante de color cuando es necesario eliminar el mismo para vertido. No dependen del pH ni lo alteran.

## **6.8.2. Ruido**

En algunas ocasiones, los motores, bombas y procesos de aireación dirigida provocan y emiten ruidos generados del accionar de sus componentes, esto perturba en alguna medida al entorno más cercano.

### **6.8.2.1. Equipo de baja emisión de ruido**

Con el fin de minimizar las emisiones de ruido se ha contemplado, para la provisión de los equipos por parte del contratista, el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales sobre ruido ambiental. En el proyecto se utilizarán equipos con tecnologías de baja emisión de ruido y las fuentes principales serán ubicadas de tal manera que las instalaciones sirvan como pantalla que mitigue su transmisión hacia el área poblada. Adicionalmente, se incorpora la norma interna del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN- que indica una emisión de ruido por debajo de los 85 dB.

### **6.8.2.2. Pantallas vegetales**

La creciente contaminación del aire en las ciudades puede atenuarse parcialmente mediante entornos ecológicos ubicados en el cordón perimétrico del área urbana. Se estima que cada hectárea de bosque tiene capacidad de generar diariamente 1 000 kilogramos de oxígeno y de absorber 1 500 kilogramos de dióxido de carbono, además de retener anualmente 30 toneladas de partículas en suspensión.

### **6.8.3. Alteración del suelo**

La alteración del suelo es una variable importante a monitorear debido a la gran sensibilidad del mismo, el cual puede ser contaminado y transferirse la contaminación a fincas circundantes y cambiar las propiedades del mismo y con esto afectar a terceros.

#### **6.8.3.1. Impermeabilización para evitar filtraciones**

Debido a que las aguas residuales provenientes del casco urbano, son en un 90 por ciento agua en conjunto con sólidos contaminantes, estos tienen la posibilidad de infiltrarse en el suelo en el cual reposen; por lo que es necesario impermeabilizar los suelos cercanos y en contacto con las aguas residuales.

Hoy día existen productos con el fin de hacer del suelo una superficie en la cual no ingrese el agua por algún medio, eliminan poros y reducen la posibilidad de humedecerse.

Entre estos productos, existen también artesanales, tales como la implementación de cal o bien la mezcla agua y cemento, las cuales al entrar en contacto con la superficie a impermeabilizar, se solidifican aumentando su tiempo de vida útil.

#### **6.8.3.2. Vegetación para evitar erosión y deslaves**

Para combatir la erosión se eligen ciertas plantas dependiendo del lugar y las causas que la originan. Si la erosión ocurre en sitios secos y con viento, las que mejor protegen el suelo son las plantas con raíces abundantes y delgadas permiten que resista más las fuerzas que lo separan; esto se debe a que la

abundancia de ramificaciones cubre un volumen mayor y a que muchas raíces delgadas poseen mayor fuerza que una sola raíz gruesa.

Entre las especies más apropiadas para retener los suelos secos se encuentran las siguientes:

- El pasto vetiver posee un gran sistema radical, agresivo y fuerte, que crece verticalmente y a profundidades de hasta cinco metros. Sus tallos y hojas fuertes, firmes y erectos, junto con las raíces, forman una densa y eficaz barrera anti erosiva que retiene el suelo deslavado, ayuda a que el escurrimiento sea lento y favorece la infiltración.
- El zacate limón se utiliza como barrera viva porque está constituida por manojos densos de grama alta que pueden llegar a medir hasta dos metros de altura y posee un sistema radicular que alcanza varios metros de profundidad.
- El pinón es un arbusto adaptado a terrenos pedregosos o arenosos que cuenta con un sistema de anclaje muy fuerte y abundantes raíces finas que se desarrollan rápidamente, abarcando grandes espacios. Esta planta es de origen mexicano, por lo que está plenamente adaptada a las condiciones de nuestro país.

Cuando se trata de sitios con exceso de humedad, donde la erosión es mayormente causada por el arrastre del agua, como en los márgenes de los ríos, se utilizan árboles como los siguientes:

- El sauce llorón o el sauce americano. Estos árboles poseen un sistema de raíces adaptado al exceso de agua y a las inundaciones; además, sus

raíces son muy fuertes y penetrantes, lo que les permite fijarse bien en todo tipo de terreno.

- El álamo es un árbol adaptado a vivir en las riberas de los ríos que posee raíces muy fuertes y ramificadas, con una potente raíz central profunda que fija la planta incluso en terrenos con desnivel.
- El fresno crece en las riberas de los ríos y posee una gran cantidad de raíces que le permiten fijarse en terrenos inestables.

La solución viable a implantar en los alrededores del proyecto, es la plantación de vetiver, el cual carece de constante mantenimiento y permanece con vida durante largo tiempo.

## CONCLUSIONES

1. La disposición actual de las aguas residuales domiciliarias que son generadas en el municipio de Palín no son transportadas y tratadas adecuadamente y dañinas para el ecosistema próximo. Las mismas son vertidas en el río Michatoya con lo cual el efecto causado es la contaminación de dicho cuerpo de agua y los contactos posteriores en poblaciones aguas abajo. A partir de las estadísticas de SEGEPLAN, el 49 por ciento no cuenta con un sistema de saneamiento ideal ni conducción de sus desechos.
2. Las poblaciones de las colonias María Matus y Palinche son las que contaminan, están situadas adyacentemente al flujo del río Michatoya, además de ser las más pobladas del casco urbano.
3. Dentro de los procesos aplicables al medio y a la situación socioeconómica de la población en estudio, se proceden de la siguiente forma; tratamiento preliminar como separador de sólidos; sistema de floculación, como procedimiento para la sedimentación de sólidos finos por medio sustancias químicas; tratamiento primario, específicamente por medio de un sedimentador circular, un espesamiento de lodos y estabilización con cal.
4. El costo de la alternativa propuesta asciende a Q 5 637 204,40 en total, el cual representa 20 por ciento respecto a otras alternativas. Dicho sistema podrá trabajar eficientemente para un población estimada de 5 000 personas a un plazo y población futuro al año 2038, la aumentará a

12 745 personas en colonia Palinche y 11 892 para la colonia María Matos.

5. El costo per cápita para la población es de Q 1 003,16, el cual podrá ser utilizado para poder estimar el costo total de la obra, así como determinar el costo de operación y mantenimiento al sistema y establecer una tarifa municipal.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios topográficos exactos, para conocer la distribución industrial, comercial y domiciliar, así como los diferentes cambios del suelo en el casco urbano del municipio.
2. Realizar curvas de nivel, para lograr trabajar con un sistema con base gravedad, y reducir consumos energéticos en la movilización de las aguas residuales.
3. Realizar un monitoreo de los hábitos de consumo de agua y basura, y crear una línea base para que se puedan desarrollar otros proyectos de índole similar.
4. Realizar un diseño preliminar de la estructura de la planta de tratamiento, y un diseño adicional sobre el funcionamiento correcto de dicha obra civil.
5. Realizar análisis de agua residual, conforme al reglamento aplicable a dicho tema.
6. Realizar concientización a la población beneficiada para que preserve la ecología y el medio ambiente en perfecto estado, depositando la basura en su lugar.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). *Control de la contaminación del agua. Guía para la aplicación de principios relacionados con la calidad del agua, Capítulo 3. Selección de Tecnologías*. Editorial 1. Lima, Perú: OPS/OMS. 1999.
2. GUILLEN SALAZAR, Manuel. *Curso de Planeamiento Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala*. (Texto didáctico). Única edición. Guatemala: Universidad Panamericana. 2013. 71p.
3. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL “ALFREDO OBIOLS GÓMEZ” (IGN/AOG). *Diccionario Geográfico Nacional*. Guatemala: IGN/AOG. 2002.
4. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). *Proyección de la población de Guatemala al 30 de junio del 2012* [en línea]. Texto e información. [Ciudad de Guatemala, Guatemala]: Instituto Nacional de Estadística, 30 de junio del 2012 [ref. de 25 de agosto de 2012] Disponible en World Wide Web: <<http://www.ine.gob.gt/np/>>.
5. INSTITUTO NACIONAL DE VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INSIVUMEH). *Mapa Geológico General del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala*. [Mapa temático]. Única edición. Guatemala: INSIVUMEH. 1978.

6. LÓPEZ, N. *Elaboración de la monografía del municipio de Palín, departamento de Escuintla*. (Tesis). Única edición. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 2009.
7. MCGHEE, T. *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Sexta edición. Estados Unidos de América: McGrawHill. 1998. 267p.
8. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN (MAGA). *Atlas temático de las cuencas hidrográficas*. [Mapa temático]. Guatemala: Autor. 2005.
9. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). *Guatemala mayor diversidad arbórea del mundo*. New York, Estados Unidos de América: ONU. 2002. 85p.
10. URQUIJO, Julia. *Seguridad Alimentaria y Desarrollo Sostenible en Zonas Marginales de Guatemala* [en línea]. Texto e información. [Ciudad de Guatemala, Guatemala]: FAO. 2000. Disponible en World Wide Web:  
<<ftp.fao.org/TC/TCA/ESP/pdf/urquijo/Bloque11.3.pdf>>
11. YÁNEZ, F. *Lagunas de estabilización: teoría, diseño, evaluación y mantenimiento*. Chile: Universidad Católica de Chile. 1993. 215p.