



Informe de Avance Soluciones de Saneamiento

Elaboración de una hoja de ruta para el diseño e implementación de un Programa de Saneamiento ambiental de los municipios que integran la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGSC)

**Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala
BID**

**Francisco Carranza
Michael Norton**

Enero de 2021

Contenido

1	Introducción.....	7
2	Sinopsis del Diagnóstico	8
2.1	Área de Influencia del Estudio	8
2.2	Aspectos Regulatorios	9
2.3	Prestación de los Servicios.....	10
2.4	Diagnóstico de la Calidad de los Ríos.....	10
2.5	Diagnóstico de la Calidad del Lago Amatitlán	11
2.6	Diagnóstico de Alcantarillado Sanitario y Tratamiento	12
2.7	Planes y Proyectos Regionales que se han propuesto	13
3	Objetivo del Informe	13
4	Metodología Desarrollo de Soluciones de Saneamiento.....	15
5	Plantas de Tratamiento MGCS	17
5.1	Conceptualización Sistemas de Tratamiento	17
5.2	Tecnologías de Tratamiento.....	18
5.3	Criterios de diseño PTAR	24
5.4	Soluciones Propuestas.....	27
5.5	Resultados de Aplicación de Criterios y Desarrollo de Soluciones.....	30
5.5.1	PTAR Norte	30
5.5.2	PTAR Este.....	33
5.5.3	PTAR Amatitlán.....	36
5.5.4	PTAR Sur Opción 1: Una sola PTAR en cuenca Villa lobos.....	39
5.5.5	PTAR Sur 2-1 Opción 2: PTAR Intermedia en cuenca Villa lobos.....	42
5.5.6	PTAR SUR 2.2 Opción 2.....	45
6	Sistema de Intercepción MGCS	48
6.1	Conceptualización de sistema de intercepción	48
6.2	Premisas y Criterios de diseño	49
6.3	Sistemas de Intercepción propuesto	50
6.3.1	Sistema de intercepción cuenca sur.....	50
6.3.2	Sistema de intercepción cuenca norte.....	52
6.3.3	Sistema de intercepción cuenca este.....	54
6.3.4	Sistema de intercepción cuenca de Amatitlán	55
6.3.5	Resumen de Tuberías Opción 1.....	57
6.3.6	Sistema de intercepción cuenca Sur Opción 2	57
6.3.7	Resumen de Tuberías Opción 2.....	61
7	Estimación de Costos.....	63
7.1	Introducción.....	63
7.2	Costos Unitarios	63
7.2.1	Interceptores	63
7.2.2	Plantas de Tratamiento (PTAR)	64

7.2.3	Estaciones de Bombeo	67
7.3	Costos Estimados de los componentes del Programa.....	68
7.3.1	Sistema Norte	68
7.3.2	Sistema Este.....	70
7.3.3	Sistema Sur (Opción 1)	71
7.3.4	Sistema Sur (Opción 2)	74
7.3.5	Sistema Amatlán	76
7.3.6	Resumen de costos.....	77
7.3.7	Análisis preliminar de los costos	77
7.4	Otros costos.....	78
7.5	Conclusiones.....	79
8	Hoja de Ruta Inicial	79
8.1	Priorización de inversión	79
8.2	Una hoja de ruta inicial como ejemplo	79
8.3	Cronograma de implementación.....	81

Lista de Anexos

Anexo 1: Diagnóstico Elaboración Hoja de Ruta para el Diseño y elaboración de un Programa de Saneamiento MGCS

Anexo 2: Memorias Técnicas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales MGCS

Anexo 3: Memorias Técnicas Interceptores de Aguas Residuales MGCS

Índice de Tablas

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles Decreto 236-2006, Modificado con Decreto 254-2019	9
Tabla 2 Resumen de las concentraciones de DBO y DQO de ríos de la cuenca del lago Amatitlán	11
Tabla 3 Metas de Calidad de tratamiento de aguas residuales con filtro percolador	24
Tabla 4 Metas de Calidad de tratamiento con Lodos activados con remoción de nitrógeno	24
Tabla 5 Eficiencia por Etapa de Tratamiento	25
Tabla 6 Proyección de Población Urbana MGCS	25
Tabla 7 Concentración de Aguas Residuales Crudas MGCS (sin Guatemala).....	26
Tabla 8 Concentración de Aguas Residuales Crudas Municipio de Guatemala	26
Tabla 9 Población, caudales y cargas afluentes a PTAR de Opción 1.....	28
Tabla 10 Población, caudales y cargas afluentes a PTAR de Opción 2.....	29
Tabla 11 Resumen de Procesos Principales PTAR Norte.....	31
Tabla 12 Resumen de Procesos Principales PTAR Este	34
Tabla 13 Resumen de Procesos Principales PTAR Amatitlán	37
Tabla 14 Resumen de Procesos Principales PTAR Sur Opción 1	40
Tabla 15 Resumen de Procesos Principales PTAR Sur 2-1 Opción 2	43
Tabla 16 Resumen de Procesos Principales PTAR Sur 2-2 Opción 2	46
Tabla 17 Resumen Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Sur Opc. 1.....	52
Tabla 18 Resumen Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Norte	54
Tabla 19 Resumen de Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Este.....	55
Tabla 20 Resumen de Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Este.....	56
Tabla 21 Resumen de tuberías y sistemas de excavación Opción 1	57
Tabla 22 Resumen de Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Sur 2-1	59
Tabla 23 Resumen de Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Sur 2-2.....	61
Tabla 24 Resumen de tuberías y sistemas de excavación Opción 2	61
Tabla 25 Resumen de Estaciones de Bombeo en sistema de intercepción.....	62
Tabla 26 Costos unitarios - Sistemas de Intercepción.....	64
Tabla 27 Costos unitarios CAPEX por proceso	65
Tabla 28 Costos unitarios - CAPEX PTAR(s) Sur.....	66
Tabla 29 Costos unitarios - CAPEX PTAR Norte, Este, Amatitlán	66
Tabla 30 Costos unitarios - OPEX PTAR(s) Sur.....	67
Tabla 31 Costos unitarios - OPEX PTAR Norte y Este.....	67
Tabla 32 Costos unitarios - OPEX PTAR Amatitlán.....	67
Tabla 33 Costos unitarios de Estaciones de Bombeo y líneas de impulsión	68

Tabla 34 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Norte	69
Tabla 35 Costos estimados CAPEX y OPEX EB e impulsiones de Sistema Norte.....	69
Tabla 36 Costos estimados CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Norte	70
Tabla 37 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Este	70
Tabla 38 Costos estimados CAPEX y OPEX EB e impulsiones de Sistema Este	70
Tabla 39 Costos estimados CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Este.....	71
Tabla 40 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Sur (Opción 1).....	72
Tabla 41 Costos estimados CAPEX y OPEX EB de Sistema Sur de la Opción 1.....	73
Tabla 42 Costos estimados CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Sur de la Opción 1	73
Tabla 43 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Sur (Opción 2).....	74
Tabla 44 Costos estimados CAPEX y OPEX EB de Sistema Sur de la Opción 2.....	75
Tabla 45 Costos estimados CAPEX y OPEX de las PTAR de Sistema Sur de la Opción 2	75
Tabla 46 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Amatitlán	76
Tabla 47 Costos estimados CAPEX y OPEX EB e impulsiones de Sistema Amatitlan	76
Tabla 48 Costos estimados CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Amatitlán	76
Tabla 49 Costos estimados por sistema y componente	77
Tabla 50 Costos totales por componente	77
Tabla 51 Proporciones de costos por componente y sub-cuenca	78
Tabla 52 Costos estimados de otros rubros	78
Tabla 53 Costos Estimados Fase 1	80
Tabla 54 Costos Estimados Fase 2	80
Tabla 55 Costos Estimados Fase 3	81

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Puntos de Muestreo y estado de contaminación Lago Amatitlán	11
Ilustración 2 Tecnologías consideradas para las PTAR Central Norte y Este.....	21
Ilustración 3 Tecnologías consideradas para PTAR cuenca del río Villalobos.....	22
Ilustración 4 Tecnologías consideradas para PTAR Amatitlán	23
Ilustración 5 Ubicación de PTARs de MGCS.....	27
Ilustración 6 Ubicación: Norte de Guatemala, ribera del río Las Vacas	30
Ilustración 7 Planta de Tratamiento Norte (Dibujo a escala)	32
Ilustración 8 Ubicación: Este de municipio de Guatemala.....	33
Ilustración 9 Planta de Tratamiento Este (Dibujo a escala)	35
Ilustración 10 Ubicación: Ciudad de Amatitlán en ribera de río Michatoya	36
Ilustración 11 Planta de Tratamiento Amatitlán (Dibujo a escala)	38
Ilustración 12 Ubicación: En ribera de Lago Amatitlán	39
Ilustración 13 Planta de Tratamiento Sur Opción 1. CSO = 3 (Dibujo a escala)	41
Ilustración 14 Ubicación: Confluencia de Quebrada El Frutal con Villalobos	42
Ilustración 15 Planta de Tratamiento Sur 2-1 Opción 2 (Dibujo a escala).....	44
Ilustración 16 Ubicación: En ribera de Lago Amatitlán	45
Ilustración 17 Planta de Tratamiento Sur 2-1 Opción 2 (Dibujo a escala).....	47
Ilustración 18 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción cuenca Sur	51
Ilustración 19 Puntos de control Sistema Sur	51
Ilustración 20 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción cuenca Norte Las Vacas	53
Ilustración 21 Puntos de control Sistema Norte	53
Ilustración 22 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción Cuenca Este Plátanos.....	54
Ilustración 23 Puntos de control Sistema Este.....	55
Ilustración 24 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción Zona Amatitlán	56
Ilustración 25 Puntos de control Sistema Amatitlán.....	56
Ilustración 26 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción Sistema Sur 2-1.....	58
Ilustración 27 Puntos de control Sistema Sur 2-1	58
Ilustración 28 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción Sur 2-2.....	60
Ilustración 29 Puntos de control Sistema Sur 2-2.....	60

Financiada con recursos de la Comisión Europea a través de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las opiniones expresadas en él no reflejan necesariamente la opinión oficial de la Unión Europea ni de la AECID o el BID.

1 Introducción

Los recursos para elaborar estos trabajos proceden de la Facilidad de Inversiones para América Latina (LAIF) de la Unión Europea. En el marco de este instrumento de financiamiento, la Unión Europea firmó con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) un Acuerdo de Delegación para la ejecución del proyecto regional “Promover la adaptación al cambio climático y la gestión integral de los recursos hídricos en el sector de agua y saneamiento en América Latina en el marco del Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS)”, el cual establece que las actividades relacionadas con asistencias técnicas serán ejecutadas a través del BID. El presente documento hace parte de la Cooperación Técnica RG-T2955 “Apoyo al desarrollo de estrategias para incentivar un tratamiento óptimo de las aguas residuales”.

Las opiniones expresadas en él no reflejan necesariamente la opinión oficial de la Unión Europea ni de la AECID o el BID.

El Gobierno de Guatemala ha solicitado al BID recursos de cooperación técnica no reembolsable para apoyar en la realización de un Proyecto de Manejo Integrado de las Aguas Residuales de los municipios de Guatemala, Amatitlán, Villanueva, Mixco, Villa Canales, Santa Catarina Pinula y San Miguel Petapa, que comprenden la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGSC).

El proyecto se justifica por las consecuencias que produce la falta de saneamiento en la salud de la población especialmente de edad infantil, la degradación de los cuerpos de agua, la pérdida de competitividad y la afectación al turismo local. Se estima que el costo beneficios en el servicio de saneamiento es de US\$ 7.30 por dólar invertido¹.

El estudio se planteó preparar una hoja de ruta con un plan de acción con las actividades necesarias y prioritarias para contribuir al saneamiento de los municipios de la MGCS. Para lo cual, primero se realizó un diagnóstico de la situación existente de los servicios de agua y saneamiento, documento que sirvió de fundamento para la preparación de propuestas de soluciones regionales de saneamiento en toda el área del proyecto. Este paso es necesario para la elaboración final de la hoja de ruta.

El BID comisionó a los ingenieros Michael R Norton y Francisco E. Carranza para la realización de este proyecto.

El presente estudio es un resumen de la formulación conceptual de los sistemas regionales de saneamiento y las estimaciones de costos de dichos sistemas.

2 Sinopsis del Diagnóstico

El Anexo 1 presenta el informe de diagnóstico realizado en noviembre del 2020. En esta sección se presenta un resumen.

2.1 Área de Influencia del Estudio

El área de influencia del proyecto constituido por los 7 municipios, se caracteriza por ser la zona más urbanizada e industrializada del país y sede de la capital. La MGCS tiene una población de 2.3 millones con el 97% urbano, el 3% rural y una densidad de 2,097 hab/km². El clima es

¹ Documento de Marco Sectorial de Agua y Saneamiento; BID, 2017

templado, y la topografía accidentada y atravesada por la división continental de aguas que divide el área en dos cuencas: la norte que descarga hacia el río Motagua y luego hacia el mar Caribe y la cuenca sur o del Amatlán que descarga al Océano Pacífico a través del río Michatoya.

2.2 Aspectos Regulatorios

La Constitución Política Art. 253, Código Municipal Decreto 12-2202 y el Código de Salud Art. 92 y 93 asignan a las municipalidades los servicios de agua potable y saneamiento.

La responsabilidad de control de las descargas de agua residuales le corresponde al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) según se estipula en el Decreto 236.2006 Art. 8 y el control de la calidad de agua para consumo humano es definido en el Acuerdo Ministerial 523-2013 que asigna esta responsabilidad al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).

El Código Municipal Art 73 también define tres tipos de modelos de gestión para la administración de servicios públicos: Administración municipal directa o delegada a través de empresas municipales, a través de mancomunidades y por medio de concesiones otorgadas por las municipalidades.

Con respecto a saneamiento, el AG 236-2006 y sus modificaciones es el principal instrumento legal, el cual especifica los límites máximos permisibles de descarga, establece la necesidad de inventariar los desfuegos a las quebradas y cuerpos de agua y define un plan gradual de cumplimiento de las metas definidas. Modificaciones posteriores al acuerdo han extendido los plazos de cumplimiento en tres fases, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles Decreto 236-2006, Modificado con Decreto 254-2019

Parámetros	Unidad	Fecha máxima de cumplimiento		
		Dos (2) de Mayo del año 2024	Dos (2) de Mayo del año 2028	Tres (3) de Mayo del año 2032
		Etapa		
		Uno	Dos	Tres
Grasas y aceites	mg/l	50	10	10
Demanda bioquímica de Oxígeno	mg/l	250	100	100
Sólidos suspendidos	mg/l	275	200	100
Nitrógeno total	mg/l	150	70	20
Fósforo total	mg/l	40	20	10
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1.0< x107	1.0<x104	1.0< x104

La intención de esta ley es permitir la implementación gradual de medidas para mejorar las condiciones sanitarias sin estrangular económicamente a las municipalidades. Sin embargo, los límites de descarga excesivamente altos para las primeras fases han desincentivado las acciones de saneamiento. Otra debilidad de esta legislación es que no establece los límites en base a los objetivos ambientales o calidad de los cuerpos de agua receptores.

Una revisión de la normativa muestra que, aunque existe un marco legal que en teoría define las funciones de la prestación de los servicios, en la práctica se ha encontrado con muchas

dificultades, sobre todo en la aplicación a nivel municipal en cuanto a la delimitación de las funciones.

Se concluyó que el inconveniente principal en la regulación de los servicios está en que ninguna institución, desde el punto de vista legal, tiene a su cargo la gestión integral de la provisión de los servicios de aguas y ninguna institución centraliza la coordinación y organización de los mismos.

2.3 Prestación de los Servicios

En la actualidad la Prestación de los servicios públicos de agua potable, acueducto y alcantarillado, sanitario, pluvial y/o combinado, y el saneamiento de las aguas residuales, en la Mancomunidad se presta bajo tres modalidades:

- 1) Prestación directa de la municipalidad, como es el caso en los municipios de Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Amatitlán,
- 2) Prestador público delegado por el Municipio, cuyo único caso en la Mancomunidad es en la Ciudad de Guatemala a través de la Empresa EMPAGUA y
- 3) Prestadores Privados, condición que se da en todos los municipios de la Mancomunidad y que incluye urbanizaciones privadas e industrias.

La responsabilidad asignada a los municipios para el manejo de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario ha excedido las capacidades de gestión y administración de las mismas, las cuales de por si tienen muchas responsabilidades propias en su administración.

La falta de capacidad de las municipalidades para cumplir con la demanda de los servicios, ha hecho que otros actores privados como las urbanizaciones, industrias y compañías privadas llenen el vacío en cuanto a infraestructura, lo que ha ocasionado una demanda de operación y mantenimiento de los sistemas, así como de seguimiento de los mismos, tareas que no es visto como responsabilidad de los municipios sino de los ministerios MSPAS y MARN.

Lo anterior ha producido un sistema mixto de prestación social, en el cual, parte de los servicios están directamente bajo la responsabilidad del municipio y parte bajo la responsabilidad de entidades privadas. En este tipo de sistema se ha priorizado la construcción de sistemas pequeños de tratamiento, muy difícil

Ante esta disyuntiva, la visión de soluciones regionales se ha ido abriendo paso, así como la concientización de que solo con dichas soluciones se podrá lograr en forma gradual la recuperación de la calidad de las aguas de los cuerpos receptores y especialmente del Lago Amatitlán. La existencia de la MGCS se considera una plataforma de coordinación excelente para impulsar y liderar este tipo de proyecto que requiere de alianzas y acuerdos entre los municipios.

2.4 Diagnóstico de la Calidad de los Ríos

El área de influencia del proyecto tiene dos zonas bien diferenciadas, la cuenca norte compuesta por los ríos Las Vacas y Plátanos que a su vez descargan en el río Motagua y la cuenca sur, o cuenca del Lago Amatitlán compuesta por el río Villalobos y sus tributarios. Adicionalmente, el Lago Amatitlán recibe las aguas del río Pampumay el cual contribuye con menos del 3% del caudal afluente al Lago Amatitlán.

Todos los municipios de la MGCS descargan a las cuencas mencionadas, a excepción del municipio de Amatitlán el cual descarga al río Michatoya, que no es parte de la cuenca del Lago Amatitlán.

La cuenca del río Villalobos se caracteriza por ser una cuenca urbana con una alta densidad poblacional, superando los dos millones de habitantes, que descarga las aguas residuales

domésticas e industriales a las microcuencas que alimentan al río que drena las aguas en el lado Este del lago de Amatitlán.

La siguiente tabla presenta las concentraciones de los parámetros trascendentales en cuanto a contaminación. Es de notar que todos los ríos presentan características típicas de aguas residuales crudas, es decir las concentraciones son equivalentes a aguas residuales sin tratamiento.

Tabla 2 Resumen de las concentraciones de DBO y DQO de ríos de la cuenca del lago Amatitlán

Tributario/Río	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Nitrógeno total (mg/l)	Fósforo total (mg/l)
Frutal/Zacatal	153	306	34.28	4.06
Pinula baja	230	445	38.38	4.85
Platanitos	209	366	37.39	5.02
San Lucas	94	179	26.05	3.26
Río Pansalic	416	1696	92.26	23.44
Villalobos	86	182	26.07	2.98

Fuente: Registros de monitoreo 2019 AMSA

De especial interés son las excesivas concentraciones de materia orgánica y de nutrientes del río Pansalic (ver siguiente ilustración) lo que solo puede ocurrir con descargas del tipo industrial o de agricultura intensiva sin control.

El resumen de coliformes fecales del monitoreo del año 2019 mostró valores promedios superiores a 1×10^7 UFC/100 ml para todos los ríos, a excepción del río San Lucas con una concentración promedio de 1.4×10^5 UFC/100 ml. Estos valores son semejantes a las aguas residuales crudas y presentan un riesgo para la salud humana.

En la cuenca norte formada por las subcuencas Las Vacas y Plátanos la situación no es mejor que la cuenca sur, y causan contaminación en el río Motagua.

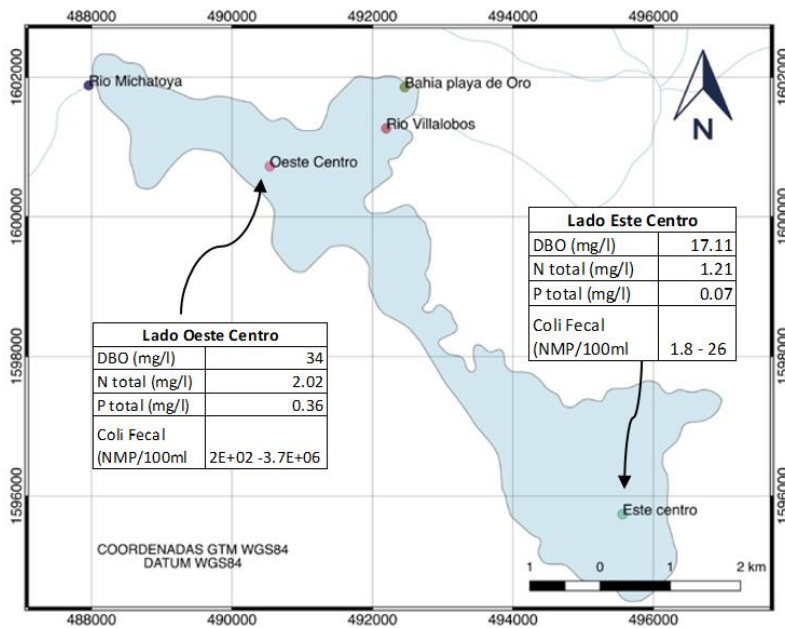
2.5 Diagnóstico de la Calidad del Lago Amatitlán

Uno de los objetivos primordiales del saneamiento de la región de la MGCS es la recuperación del Lago Amatitlán.

El lago de Amatitlán tiene un área superficial de 15 Km² y una profundidad media de 18 m. Su principal afluente natural y fuente de contaminación es el Río Villalobos.

AMSA realiza el monitoreo del Lago Amatitlán desde el año 2004. La siguiente ilustración muestra los puntos de muestreo y el promedio de DBO, nitrógeno total y fósforo total en las dos zonas del lago.

Ilustración 1 Puntos de Muestreo y estado de contaminación Lago Amatitlán



A pesar de las bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo, estas son suficientes para inducir superproducción de plancton incluyendo algas. El informe de monitoreo del año 2019 de AMSA, clasifica al lago en el rango de supereutrófico a hipereutrófico según el índice de Carlson modificado, el informe también reporta la presencia de Cianotoxinas (microsistinas) en el orden de 5 a 10 ppb. Estas concentraciones son mayores al límite máximo de 1 ppb recomendado por la OMS y representan un peligro por su toxicidad.

2.6 Diagnóstico de Alcantarillado Sanitario y Tratamiento

Según el Censo el 2018, el 83 % de la población de la MGCS está conectado a algún tipo de alcantarillado, la mayoría del cual es del tipo combinado, es decir que conduce tanto las aguas de origen doméstico y comercial como las aguas pluviales; sin embargo solamente entre el 5 y el 15% de las aguas residuales domésticas e industriales producidas son tratadas, el resto descarga cruda o semi-tratadas a las quebradas y cuerpos de agua lo que produce que todos los ríos que atraviesan dicho territorio estén con índices de calidad pésimos.

La caracterización de aguas residuales crudas generadas en las zonas urbanas de la MGCS las clasifica como de contextura media a fuerte con un DBO y DQO promedios de 343 y 505 mg/l respectivamente, para una relación DQO/DBO de 2.1. Las concentraciones promedias de nitrógeno y fósforo fueron de 8.2 y 39 mg/l respectivamente típicas de aguas residuales. La carga bacteriológica promedio es de 6.62E+07. No se encontraron concentraciones elevadas de metales pesados.

Se hace notorio la excesiva cantidad de PTARs con aproximadamente 1,066 con diferentes tamaños y tecnologías, apenas 28 de ellas son operadas por las Municipalidades, el resto es manejado por entidades privadas. Adicionalmente, se estiman que más de 1,400 puntos de desfogue existen solamente para la cuenca del río Villalobos, de los cuales 1,131 corresponde al municipio de Guatemala y 315 corresponde al resto de municipios. En la cuenca norte se han identificado 197 descargas del alcantarillado sanitario a la cuenca del río Las Vacas. La base de datos que lleva AMSA, identifica a más de 2700 entes generadores de aguas residuales en la cuenca sur, de los cuales 413 son industrias.

La gran cantidad de plantas de tratamiento, de desfuegos de aguas residuales crudas a las quebradas y ríos, hace muy difícil el control de las aguas residuales en la zona del proyecto.

Se puede resumir que la recolección y el tratamiento de las aguas residuales de los centros urbanos del área metropolitana de la Ciudad de Guatemala, ha sido el último servicio en ser atendido ante la demanda de los otros servicios. La consecuencia de esta displicencia ha sido un aumento en la contaminación de los sitios de recepción de las aguas residuales que consisten en quebradas, ríos y lagos.

2.7 Planes y Proyectos Regionales que se han propuesto

La situación de saneamiento no ha sido ignorada y en las últimas décadas se han hecho propuestas de soluciones regionales como de soluciones locales, algunas de ellas rescatables y todavía vigentes, otras han sido mejoradas.

Algunos de los estudios realizados son:

- *Estudio del mejoramiento del Manejo de las Aguas Residuales en el Área Metropolitana de Guatemala, Nihon Suide Consultants, 1996. (Plan Maestro 1996)*
- *Plan Marco de Manejo de Aguas Residuales EMPAGUA 2003*
- *Plan de Control del Lago Amatitlán y el Río Villalobos, INCLAN, Agosto 2014*
- *Base para la Estructuración de Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala; Luna, Triana, Feb, 2014*
- *Formulación de Propuesta para el Tratamiento de Aguas Residuales MGCS, Nov. 2019*
- *Plan Maestro de Saneamiento; EMPAGUA, 2019.*

Las soluciones propuestas de estos estudios se han orientado en dos enfoques, uno hacia la construcción de pequeños sistemas que ha sido la tendencia que se ha seguido hasta la fecha, y un segundo enfoque que apuesta por soluciones regionales o más integrales.

Todas las propuestas reconocen que se requiere:

- Definir un modelo de gestión
- Adaptar el marco regulatorio al nuevo modelo de gestión
- Fortalecer las capacidades municipales
- Establecer acuerdos entre las municipalidades involucradas
- Crear mecanismos sostenibles para la operación y mantenimiento de los sistemas

En resumen, el diagnóstico confirma lo que se ha encontrado en otros estudios poniendo de manifiesto el alto grado de contaminación de ríos y lagos y la urgente necesidad de formular y realizar acciones que lleven al saneamiento de la región.

3 Objetivo del Informe

El objetivo de este informe es la presentación de los aspectos técnicos y económicos para la intercepción de las aguas residuales generadas en la MGCS, así como el tratamiento de los trenes

líquidos y sólidos, para contribuir al saneamiento y recuperación de los cuerpos de agua, ríos y lagos de la zona de influencia del proyecto.

El estudio se desarrolla a un nivel de perfil avanzado, de manera que sirva de base para los siguientes propósitos:

- A. Definir la prefactibilidad técnica de soluciones regionales de saneamiento
 - Explorar la disponibilidad de cobertura de saneamiento mediante un sistema de intercepción de las aguas residuales que cubra toda el área del proyecto; lo cual se logra con la implantación de un sistema de interceptores que conduzcan las aguas residuales a los sitios de tratamiento.
 - Definir el número de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en base a las cuencas de drenaje naturales existentes en el área del proyecto.
 - Estudiar la disponibilidad de terrenos para la implantación de las PTARs en cada cuenca de drenaje.
 - Definir las metas de tratamiento para cumplir con los objetivos ambientales, los cuales son: saneamiento de los ríos y sus riberas, recuperación de la calidad del lago Amatitlán y reducción de los riesgos de salud de la población en el área de influencia del proyecto
 - Seleccionar a nivel preliminar las tecnologías de tratamiento que cumplan con las metas de calidad y que además sean de fácil operación y mantenimiento, de bajo costos de inversión, confiables y probadas.
 - Desarrollo de los sistemas de intercepción y de tratamiento

- B. Estimación de los costos de CAPEX y OPEX de las soluciones
 - Desarrollo de costos unitarios de CAPEX (construcción y puesta en marcha) y OPEX (operación y mantenimiento) de sistemas de intercepción en zanja abierta y túnel, incluyendo obras adicional como estaciones de bombeo, cámaras, excavación en roca dura, control de agua, manejo de interferencias y reemplazo de asfalto.
 - Desarrollo de costos unitarios de CAPEX (construcción y puesta en marcha) y OPEX (operación y mantenimiento) de plantas de tratamiento por etapa de tratamiento: preliminar, primario, secundario, desinfección y manejo de lodos.
 - Estimación de costos de inversión (CAPEX) basado en los diseños y los costos unitarios.
 - Estimación de costos de operación y mantenimiento (OPEX) basado en los diseños y los costos unitarios.

- C. Propuesta de una Hoja de Ruta inicial de Implementación del Proyecto
 - Discusión de las prioridades
 - Definición de las fases de implementación de las obras de intercepción y tratamiento: La Hoja de Ruta.
 - Estimación de costos en cada fase constructiva

Se hace la aclaración que las soluciones desarrolladas en el presente estudio, tienen un nivel de perfil avanzado y son propuestas que pueden ser modificadas, mejoradas o incluso reemplazadas

por otras tecnologías, lo que se definirá en los estudios de factibilidad. Esto no invalida el desarrollo conceptual del proyecto, ni los requerimientos de área, ni las estimaciones de costos ya que cualquier modificación no alterará significativamente estos elementos.

En este sentido, las soluciones propuestas son una base para definir los estudios de campo necesarios para una mejor definición de las tecnologías principalmente de intercepción y para definir en más detalle, los caudales, las características de las aguas residuales domésticas e industriales, la definición de las mejoras a los marcos regulatorios e institucionales, el modelo de gestión más adecuado y principalmente para la estimación de las inversiones requeridas para la implementación del proyecto por fases.

En resumen, la conceptualización y desarrollo posterior de las soluciones técnicas del sistema de intercepción y tratamiento y las estimaciones de costos correspondientes establece las bases para definir el faseado e implementación del proyecto y consecuentemente la definición de las acciones para la elaboración de la hoja de ruta o plan de acción a mediano y corto plazo para el mejoramiento del saneamiento en la MGCS.

4 Metodología Desarrollo de Soluciones de Saneamiento

El análisis y la selección de procesos de los sistemas de intercepción y tratamiento es uno de los aspectos más importantes y difíciles en el diseño de una solución integral de tratamiento y requiere de varias actividades antes y durante el proceso de conceptualización de posibles soluciones, para después continuar con el desarrollo de las mismas.

Debido a que el estudio tiene un alcance de perfil avanzado, y no incluyó estudios de campo, se utilizó la información disponible existentes consistente en: estudios, planes de saneamiento, informes de calidad de agua y caudales, levantamientos georeferenciados, mapas topográficos, mapas de cuencas y microcuencas, estudios de población, censos de población y vivienda e información proveída de primera mano por las municipalidades, EMPAGUA, AMSA y otras instituciones.

La metodología para la conceptualización y desarrollo de las soluciones de saneamiento se realizó siguiendo las actividades descritas a continuación:

- Recolección de los estudios existentes relacionados con soluciones de saneamiento que incluyó aspectos regulatorios e institucionales, cobertura y manejo de los servicios de saneamiento, planes maestros, registros de monitoreo de caudales y de calidad de las aguas residuales y de los cuerpos de agua e información de datos georeferenciados, geográficos y topográficos del área del proyecto.
- Realización de un diagnóstico de agua y saneamiento que abarcó los aspectos regulatorios, institucionales, calidad de los cuerpos de agua, cobertura de los servicios, evaluación de su calidad y eficiencia e identificación de retos
- Una vez realizado el diagnóstico, definición de las metas de recolección y tratamiento fundamentado en los objetivos ambientales
- Conceptualización de soluciones de tratamiento y definición procesos para lograr metas escalonadas de calidad a implementarse por etapas.
- Selección de posibles sitios de tratamiento y determinación en coordinación con la MGCS de los sitios definitivos o “factibles” de ser utilizados.
- Conceptualización del sistema de intercepción para conducir las aguas residuales hacia los sitios de tratamiento.

- Definición de criterios para el dimensionamiento y diseño de los sistemas de intercepción y tratamiento
- Desarrollo y dimensionamiento tanto de los sistemas de tratamiento como los de intercepción.
- Definición de criterios de costos unitarios tanto de inversión como de operación y mantenimiento.
- Estimación de costos de inversión y mantenimiento.
- Definición de criterios de implementación
- Propuesta de implementación del proyecto por fases.
- Estimación de costos por fases.

La metodología, incluyó reuniones virtuales de presentación de resultados parciales con varios actores, incluyendo a la MGCS, AMSA, EMPAGUA, BID, Cooperación española, alcaldes de la MGCS entre otros. Estas reuniones fueron esenciales para intercambiar puntos de vista, obtener información solicitada de cada municipio de la MGCS y obtener la percepción de los actores interesados.

En las secciones siguientes se enumeran los criterios de selección de tecnologías y criterios de diseño; sin embargo, a continuación, se resume la metodología para la estimación de la población por considerar este parámetro de suma importancia en el desarrollo de las propuestas de solución y también por su complejidad.

Metodología de estimación de población por subcuenca

La población urbana actual y proyectada es quizás el parámetro más importante en la planificación y preparación de un programa de saneamiento ya que es el fundamento para calcular los caudales y dimensionar los interceptores y procesos de tratamiento. Por esta razón se enfatizó esta actividad utilizando todos los recursos disponibles para obtener las mejores proyecciones de población por subcuenca de drenaje.

La población por municipio se obtuvo de la información censal registrada en los Censos de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadísticas (INE); esta entidad realiza a su vez proyecciones de población hasta el año 2035 utilizando una tasa decreciente en sus estimaciones. Esta información fue utilizada para proyectar la población urbana por municipio hasta el año 2047 para el diseño de las PTARs y hasta el año 2070 para el diseño de los interceptores. Como un factor de seguridad, no se proyectó la población con una tasa decreciente, sino que se utilizó la última tasa en forma constante. La excepción fue la ciudad de Guatemala, la cual llega a su saturación en el año 2035.

Además de la información censal, la estimación de la población por subcuenca se realizó utilizando los mapas georeferenciados con la delimitación de las microcuencas de drenaje, y los mapas satelitales de Google Earth tomados en el año 2020.

La metodología para la estimación de población aportante por tramos de tuberías y por PTAR es la siguiente:

- Primeramente, se emplazó en los mapas georeferenciados y de Google Earth, las soluciones de intercepción y de tratamiento.
- Se definieron las subcuencas de drenaje por tramos de interceptores y por PTAR. Esto se realizó superponiendo las delimitaciones de microcuencas georreferenciadas (con información topográfica) con las implantaciones de las soluciones. Se hace la observación que una subcuenca de drenaje puede incluir varias microcuencas y a su vez una

microcuenca puede incluir zonas de varios municipios.

- Se calcula las áreas urbanas por municipio de cada subcuenca de drenaje y se calcula el porcentaje urbano aportante de cada municipio en cada subcuenca.
- Se utiliza la información proyectada Censal del INE hasta el año 2035 por municipio y se proyecta a los años 2037, 2047 y 2070.
- Se obtiene la población en cada subcuenca y en cada período con una de las siguientes relaciones para cada horizonte de planeación:
Población = \sum (% área de municipio en subcuenca) x (población urbana de municipio)
Población = \sum (área de municipio en subcuenca) x (densidad urbana de municipio)

5 Plantas de Tratamiento MGCS

5.1 Conceptualización Sistemas de Tratamiento

El sistema de tratamiento propuesto es del tipo regional, e intermunicipal. Considera toda el área del proyecto tratando de minimizar el número de plantas de tratamiento, siempre que el sistema de interceptación puede conducir la mayor parte de las aguas residuales por gravedad.

La implantación de los sistemas de tratamiento se realizó por cuenca de drenaje, evitando de esta forma bombeo excesivos o trasvase de aguas residuales entre cuencas. El área de influencia se divide en cuatro cuencas de drenaje naturales bien definidas:

Cuenca Central Norte que abarca:

1. Zona central de Guatemala en la cuenca del río Las Vacas
2. Zona norte de Mixco, en la misma cuenca del río Las Vacas
3. Zona noroeste de Santa Catarina Pinula

Cuenca Este de Guatemala que abarca:

1. Zona este de Guatemala que descarga a la cuenca del río Plátanos

Cuenca Sur que abarca:

1. Zona sur de Mixco
2. Zona sur de Guatemala
3. Los municipios de Villanueva y San miguel Petapa
4. Zonas del lado este de Santa Catarina Pinula y de Villa Canales

Todas las zonas de la cuenca sur descargan a la cuenca del río Villalobos

Cuenca de Amatitlán que abarca:

1. Municipio de Amatitlán que descarga a la cuenca del río Michatoya

Para la selección de los sitios de tratamiento se tomó en cuenta lo siguiente:

- Cobertura de toda el área de influencia del proyecto, es decir la zona urbana de los 7 municipios de la MGCS
- Disponibilidad de terrenos (que pueden ser adquiridos), revisados por la MGCS y que sean fácilmente accesibles

- Disponibilidad de suficiente área para ubicar las etapas futuras
- Ubicación en zonas no inundables y en el sentido agua abajo de los interceptores y colectoras
- Topografía de terrenos suficientemente planos para permitir la implantación de las obras con pendientes favorables
- Eliminación en lo posible estaciones de bombeo en el sistema de colección e intercepción

5.2 Tecnologías de Tratamiento

Las tecnologías de tratamiento se seleccionaron para cumplir con las metas ambientales, las cuales se definen en los criterios de diseño en la siguiente sección.

Las metas ambientales persiguen lo siguiente:

- Saneamiento de los ríos mediante remoción en las aguas residuales de sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas (AyG), carga orgánica medida como DBO₅ y fósforo total (Pt).
- Recuperación del lago Amatitlán mediante la remoción en las aguas residuales de todos los contaminantes mencionados en los ríos, agregando la remoción de nitrógeno total (Nt).
- Protección a la población que pueda estar en contacto con las aguas residuales, mediante la remoción de bacterias patógenas de las mismas.

Para cumplir con estas metas se propone:

- Para todas las cuencas, en una primera etapa, reducción de SST, AyG, DBO₅, Pt y coliformes fecales. Esto se logra mediante tratamiento primario químicamente asistido (TPQA o CEPT por sus siglas en inglés). Por tanto, todas las PTAR tendrán este tipo de tratamiento como primera etapa.
- En una segunda etapa, se agrega el tratamiento secundario.
 - Para la cuenca sur del río Villalobos se propone además de remoción de los contaminantes mencionados en la primera etapa, remoción de nitrógeno en la segunda etapa. Esto se logra con la tecnología de lodos activados modificados para remoción de nitrógeno o lodos activados en configuración de BNR (Biological Nutrient Removal).
 - Para el resto de cuencas se propone solamente reducción de SST, AyG, DBO₅, Pt y coliformes fecales en la primera etapa y mayores niveles de remoción de SST y DBO₅ en la segunda fase. Esto se logra con la tecnología de filtros percoladores.
- En ambos casos se tratarán las aguas de primer lavado en los eventos de lluvia con TPQA y desinfección con cloración. En la segunda etapa que incluye el proceso biológico, el exceso de agua de lluvia, previamente tratado con TPQA, se derivará con una estructura de alivio que dirigirá las aguas de exceso al sistema de desinfección, dejando pasar el caudal medio húmedo definido como el caudal medio seco más infiltración e influjo, hasta el tratamiento secundario.

En resumen, se consideran los siguientes procesos por etapa:

- Etapa 1: Tratamiento primario químicamente asistido (TPQA), desinfección y tratamiento y disposición de lodos para todos los sistemas
- Etapa 2: Adición de tratamiento secundario sin remoción de nutrientes para las PTARs Norte, Este y Amatitlán
- Etapa 2: Adición de tratamiento secundario con remoción de nutrientes para las PTARs en la cuenca del río Villalobos

Se busca proveer sistemas de soluciones sencillas de operar y de poco consumo de energía.

En las siguientes figuras se presentan los esquemas utilizados para el tratamiento; a continuación, se listan los procesos principales por etapa:

Etapa 1:

Tren líquido

- Estación de Bombeo de aumento de carga donde se requiera
- Pretratamiento estándar consistente en rejillas gruesas y finas, desarenador/desengrasador y medición de flujo
- Tratamiento Primario Químicamente Asistido (TPQA o CEPT por sus siglas en inglés) con unidades de mezcla rápida, floculador y sedimentación primaria
- Desinfección con cloración antes de su descarga²

Tren sólido

- Espesadores por gravedad tipo circular
- Digestores anaerobios mesofílicos³ de una sola fase (pueden ser calentados)
- Deshidratación con filtro de presión de banda o con centrífugas (25 -30 % ST)
- Naves de secado solar mecanizado (80 – 90 % ST)
- Disposición externa de lodos ya sea para uso agrícola o en relleno sanitario

Tren gaseoso (biogás)

- Almacenamiento de gas en gasómetros de doble membrana
- Utilización de biogás con microturbinas y generación de energía eléctrica para autoconsumo
- Uso de calor residual de microturbina para calentamiento de digestores o de naves de secado solar
- Quema de exceso de gas con tea o quemador

Etapa 2 sin remoción de nitrógeno:

Se agrega tratamiento secundario que consiste en:

- Filtros percoladores circulares con media de plástico ($125 \text{ m}^2/\text{m}^3$) de flujo cruzado
- Sedimentadores secundarios circulares o rectangulares
- Se integra los lodos generados en el tratamiento secundario al sistema de tratamiento y disposición de lodos

Etapa 2 con remoción de nitrógeno:

Se agrega tratamiento secundario que consiste en:

- Lodos activados configuración BNR
- Sedimentadores secundarios rectangulares o circulares⁴

² En caso se decida usar desinfección UV habría que agregar microtamizado antes del sistema UV

³ En caso sea necesario se puede agregar hidrólisis térmica antes del proceso de digestión

⁴ Preferiblemente sedimentadores circulares para efluente secundarios de lodos activados, a menos que haya limitaciones de terreno

- Se integra los lodos generados en el tratamiento secundario al sistema de tratamiento y disposición de lodos

Ilustración 2 Tecnologías consideradas para las PTAR Central Norte y Este

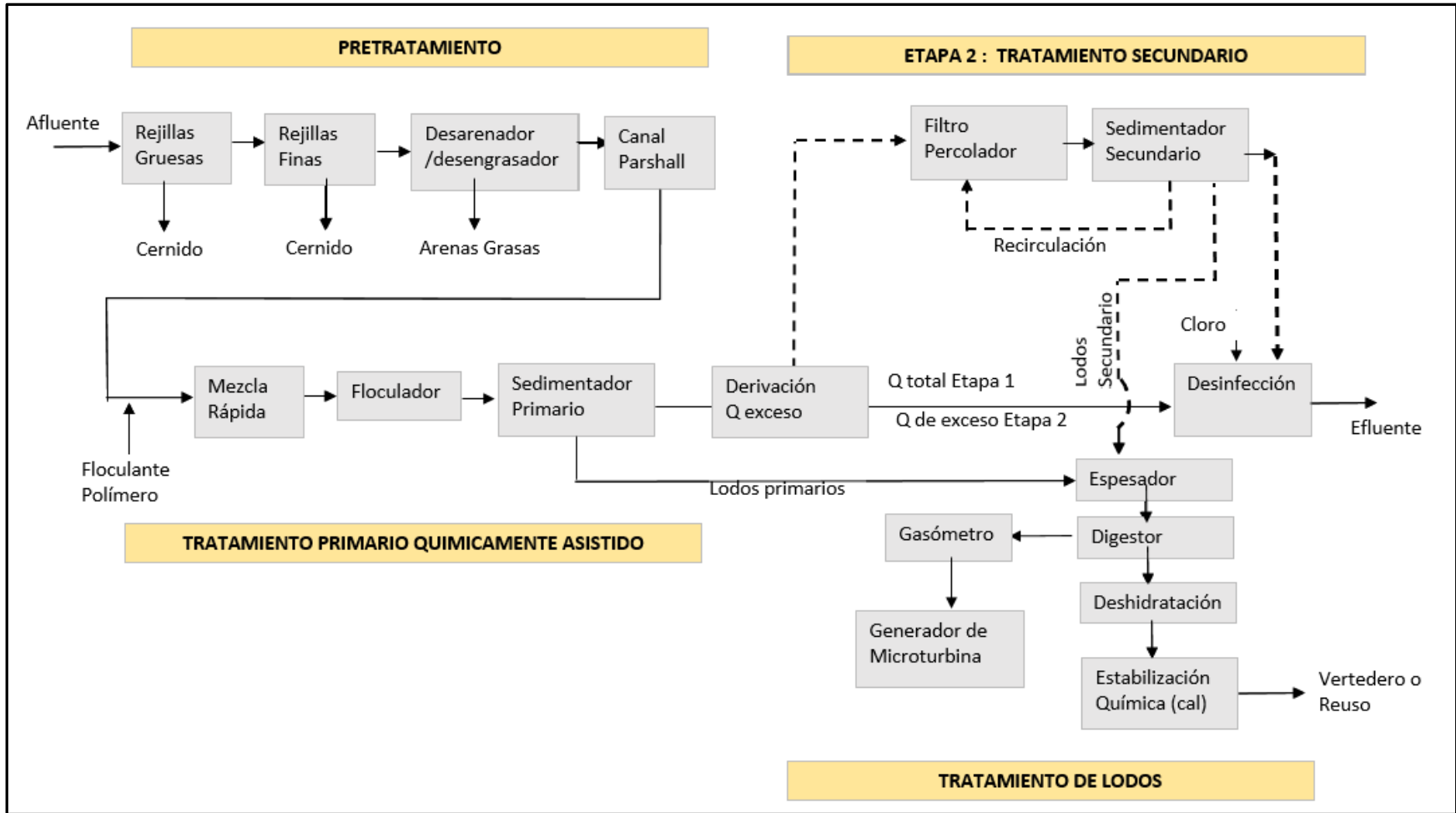


Ilustración 3 Tecnologías consideradas para PTAR cuenca del río Villalobos

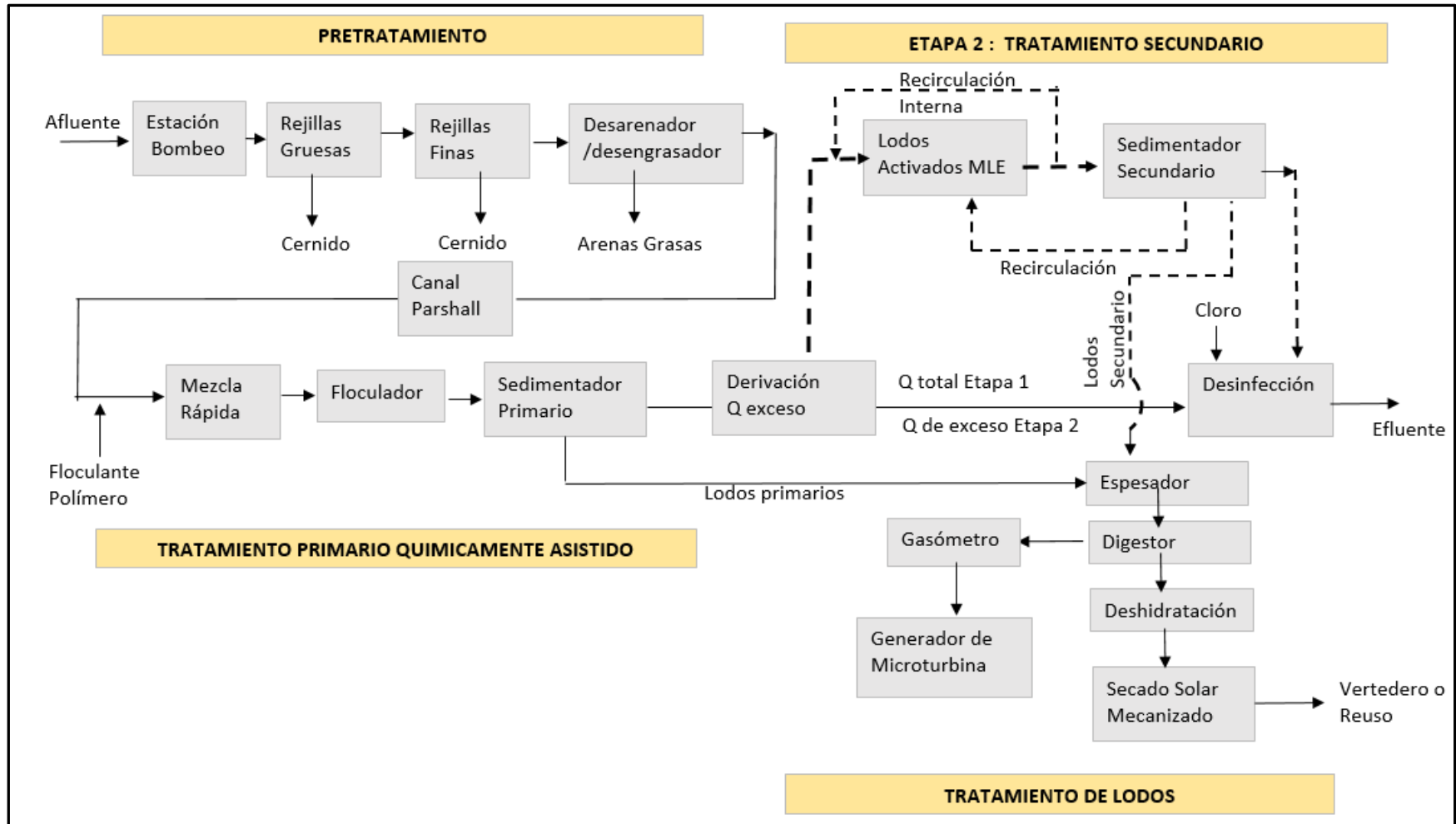
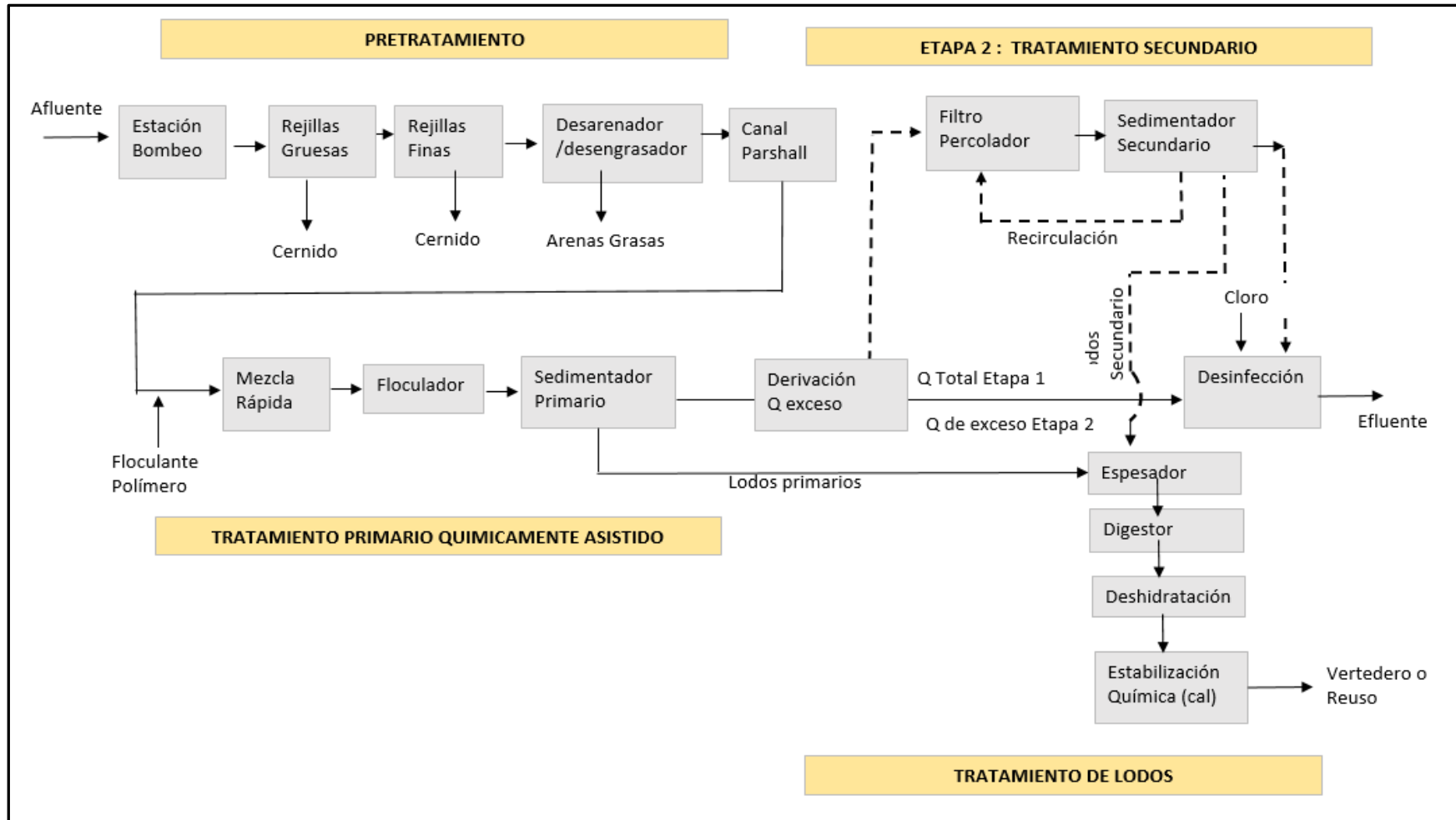


Ilustración 4 Tecnologías consideradas para PTAR Amatitlán



5.3 Criterios de diseño PTAR

Horizontes de planeación:

- Primera fase constructiva: Año 2037
- Segunda fase constructiva: Año 2047

Estos se establecieron, estimando que las obras constructivas de la primera etapa finalizarán a mediados del año 2026, de manera que el diseño comprenda al menos 10 años de operación. De igual forma la construcción de la segunda etapa cubrirá 10 años más.

Metas de Calidad de Tratamiento Secundario

Los límites promedios de descarga para las PTAR se establecieron para cumplir con las metas ambientales definidas anteriormente y que además cumpliera con el Decreto 236-2006, modificado con el Decreto 254-2019. Como se explicó anteriormente existen dos tecnologías de tratamiento y por tanto dos metas de calidad que se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 3 Metas de Calidad de tratamiento de aguas residuales con filtro percolador

Parámetro	Unidad	Etapas 1	Etapas 2
DBO5	mg/l	<150	30
SST	mg/l	100	30
A&G	mg/l	<10	<5
Nitrógeno total	mg/l		<50
Fósforo Total	mg/l	<5	<5
Coliformes Fecales	NMP/100ml	<2000	<2000

Tabla 4 Metas de Calidad de tratamiento con Lodos activados con remoción de nitrógeno

Parámetro	Unidad	Etapas 1	Etapas 2
DBO5	mg/l	<150	30
SST	mg/l	100	30
A&G	mg/l	<10	<5
Nitrógeno total	mg/l		<10
Fósforo Total	mg/l	<5	<5
Coliformes Fecales	NMP/100ml	<2000	<2000

Eficiencia de Sistemas de Tratamiento

Las remociones esperadas de los sistemas de tratamiento para las tecnologías de TPQA en la Etapa 1 y de procesos biológicos de filtros percoladores y lodos activados para la Etapa 2 se visualizan en la tabla siguiente. Se observa que las remociones de los contaminantes considerados son significantes desde la primera etapa con valores entre 60 y 90%. Cuando se agrega la etapa 2 la remoción de DBO, SST y GyA aumenta a valores entre 80 y 90%. Para el caso de la tecnología de lodos activados, la remoción de nitrógeno se estima entre 70 y 80%.

Tabla 5 Eficiencia por Etapa de Tratamiento

Porcentaje de Remoción por Etapa							
Etapa	Línea Líquida	% de remoción					Coli fecales NMP/100ml
	Tecnología	DBO	SST	GyA	Nt	Pt	
Etapa 1	TPQA	60	70	90		70	< 2000
Etapa 2	Filtros percoladores	80	80	90		80	< 2000
	Lodos Activados MLE + sed. Sec	90	90	90	70-80	80	< 2000

Población

La tabla siguiente presenta el estimado de población para los horizontes de planeación basado en las proyecciones de población del INE hasta el 2035 y extensión hasta el 2047.

Tabla 6 Proyección de Población Urbana MGCS

Municipio	Población Urbana Total				
	2020	2027	2037	2042	2047
Guatemala	1,195,727	1,247,703	1,266,244	1,266,244	1,266,244
Santa Catarina Pinula	76,261	78,290	79,402	79,684	79,966
Mixco	494,053	566,050	670,612	723,145	775,677
Amatitlán	124,774	136,114	150,541	157,455	164,370
Villa Nueva	458,936	518,396	608,995	655,516	702,036
Villa Canales	133,037	137,818	141,585	142,989	144,393
San Miguel Petapa	139,052	152,997	168,693	176,101	183,508
Total	2,621,840	2,837,367	3,086,073	3,201,133	3,316,194

Calidad de las Aguas Residuales Crudas

Las concentraciones de los contaminantes de las aguas residuales crudas se obtuvieron del estudio de diagnóstico para cada municipio y se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 7 Concentración de Aguas Residuales Crudas MGCS (sin Guatemala)

Parámetro	Unidad	Santa Catalina Pinula	San Miguel Metapa	Villa Canales	Amatitlan	Villa Nueva	Mixco	Promedio
DBO	mg/l	287	272	379	286	441	391	343
DQO	mg/l	657	567	754	484	0	572	505
Fósforo total	mg/l	7.0	9.0	8.0	6.9	8.4	10.0	8.2
Nitrógeno Total	mg/l	37.5	46.5	46.6	27.6	37.5	41.0	39
SST	mg/L	231.0	433.5	282.5	99.8	301.3	189.5	256
Aceites y grasas	mg/L	46.5	19.5	29.2	29.5	39.5	23.0	31
Coliforme fecal	NMP/100mL	1.90E+09	3.40E+07	2.84E+07	1.85E+07	3.76E+07		6.62E+07

Tabla 8 Concentración de Aguas Residuales Crudas Municipio de Guatemala

Parámetro	Cuenca Nor Occidental	Cuenca Suroriental	Colector oriental y Poniente	Cuenca Sur	Promedio total
DBO5	276	229	324	213	261
DQO	752	379	520	360	503
Sólidos en suspensión	308	121	149	114	173
Aceites y grasas	12	37	26	13	22
Nitrógeno total	54	33	51	32	43
Fósforo total	8.7	15.1	5.7	2.9	8.1
Coliforme fecal	8.53E+04	3.30E+06	8.45E+06	3.30E+06	3.78E+06

Estimación de caudales y cargas contaminantes

Críterios para el cálculo de caudales

- Se utiliza la población por subcuenca determina como se explica en la metodología
- Dotación de agua potable: 180 lppd
- Contribución industrial y comercial: 33%
- Porcentaje de retorno 80 %
- Cobertura y conectividad 90 %
- Infiltración: 15 % del caudal medio seco
- Factor de máximo hora: Factor de Harmón sobre población contribuyente
- Factor de derivación de caudal de lluvia: tres a cuatro veces el caudal promedio seco (doméstico + industrial-comercial + infiltración)

Estimación de cargas contaminantes

- Se tiene la información de caracterización de las aguas residuales por municipio
- Se tiene la información de los caudales
- Se obtiene la carga: (concentración) x (caudal aportante por PTAR)

5.4 Soluciones Propuestas

Se definieron dos opciones:

Opción 1:

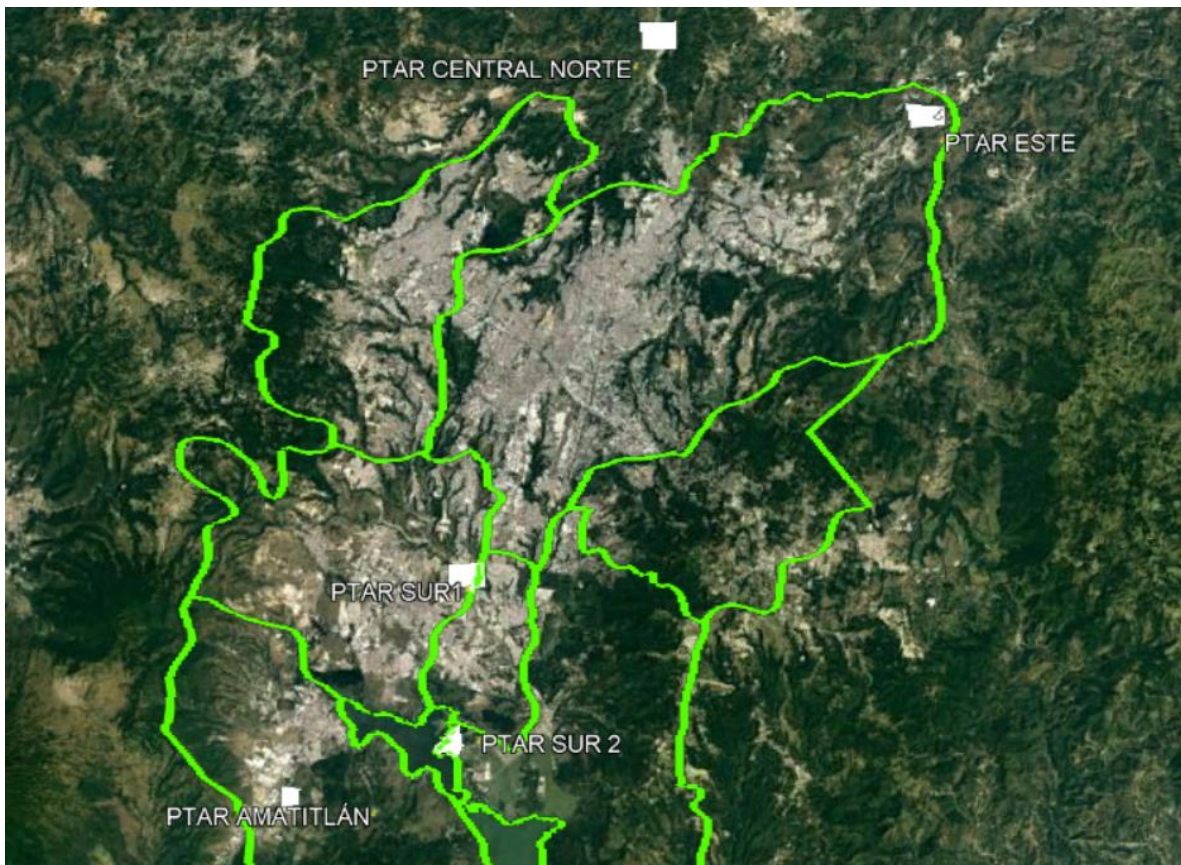
- Una PTAR en zona central norte. Cuenca río Las Vacas: **PTAR Central Norte**
- Una PTAR en zona este Guatemala. Cuenca río Plátanos: **PTAR Este**
- Una PTAR en zona sur. Cuenca río Villalobos: **PTAR Sur**
- Una PTAR en zona de Amatitlán. Cuenca río Michatoya: **PTAR Amatitlán**

Opción 2:

- Una PTAR zona central norte: Igual a opción 1: **PTAR Central Norte**
- Una PTAR en zona este Guatemala: Igual a Opción 1: **PTAR Este**
- Una PTAR en zona de Amatitlán: Igual a Opción 1: **PTAR Amatitlán**
- Dos PTARs en zona sur: En esta opción se consideraron dos plantas de tratamiento para la cuenca del río Villalobos: **PTAR Sur 1 Y PTAR Sur 2**

La siguiente ilustración muestra los sitios propuestos de tratamiento

Ilustración 5 Ubicación de PTARs de MGCS



Las siguientes tablas resumen las poblaciones, caudales y cargas contaminantes afluentes a las PTAR de las dos opciones:

Tabla 9 Población, caudales y cargas afluentes a PTAR de Opción 1

PTAR	Población Aportante 2047	Q promedio seco	Qprom. húmedo	Q max humedo	4 Q promedio Seco +Inif	Carga DBO	Carga SST	Carga Nt	Carga Pt
	Hab	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d		Kg/d	Kg/d	Kg/d	Kg/d
2037									
PTAR Central Norte	784,861	155,578	175,870	200,058	622,310	42,934	47,958	8,462	1,358
PTAR Este	278,503	61,340	69,340	87,344	245,359	19,875	15,335	3,124	350
PTAR Sur 2	1,654,179	327,897	370,666	395,084	1,311,587	108,355	84,783	13,166	2,778
PTAR Amatitlán	135,487	29,841	33,733	46,629	119,363	8,546	7,460	822	206
2047									
PTAR Central Norte	824,006	163,337	156,235	201,949	568,129	45,075	50,350	8,884	1,426
PTAR Este	278,503	61,340	69,340	87,344	245,359	19,875	15,335	3,124	350
PTAR Sur 2	1,830,292	362,806	410,129	433,793	1,451,225	119,891	93,810	14,568	3,073
PTAR Amatitlán	147,933	32,582	36,832	50,312	130,328	9,331	8,145	897	225

Tabla 10 Población, caudales y cargas afluentes a PTAR de Opción 2

PTAR	Población Aportante 2047	Q promedio seco	Q promedio húmedo	Q max humedo	4 Q promedio Seco +Inif	Carga DBO	Carga SST	Carga Nt	Carga Pt
	Hab	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	Kg/d	Kg/d	Kg/d	Kg/d
2037									
PTAR Central Norte	784,861	155,578	175,870	200,058	622,310	42,934	47,958	8,462	1,358
PTAR Este	278,503	61,340	69,340	87,344	245,359	19,875	15,335	3,124	350
PTAR Sur 1	771,624	152,954	172,904	197,010	611,815	53,310	38,238	5,638	1,407
PTAR Sur 2	882,555	174,943	197,762	222,448	699,772	58,257	43,736	6,040	1,476
PTAR Amatitlán	135,487	29,841	33,733	46,629	119,363	8,546	7,460	822	206
2047									
PTAR Central Norte	824,006	163,337	156,235	201,949	568,129	45,075	50,350	8,884	1,426
PTAR Este	278,503	61,340	69,340	87,344	245,359	19,875	15,335	3,124	350
PTAR Sur 1	871,602	172,772	195,307	219,947	691,087	60,218	43,193	6,368	1,589
PTAR Sur 2	958,689	190,034	214,822	239,786	760,138	63,282	47,509	6,561	1,604
PTAR Amatitlán	147,933	32,582	36,832	50,312	130,328	9,331	8,145	897	225

5.5 Resultados de Aplicación de Criterios y Desarrollo de Soluciones

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de los criterios mencionados.

5.5.1 PTAR Norte

La planta de tratamiento Norte se ubica al norte de la ciudad de Guatemala, en el lado oeste de la ribera del río las Vacas en las coordenadas 770097 E y 162989 N con una altitud en el rango de 1145 m a 1187 m. El área del sitio identificado es de 16.3 hectáreas. En la siguiente ilustración se muestra además un terreno al este del río que podría ser utilizado en el futuro si fuera necesario. Existe un camino de acceso al sitio de tratamiento.

Ilustración 6 Ubicación: Norte de Guatemala, ribera del río Las Vacas

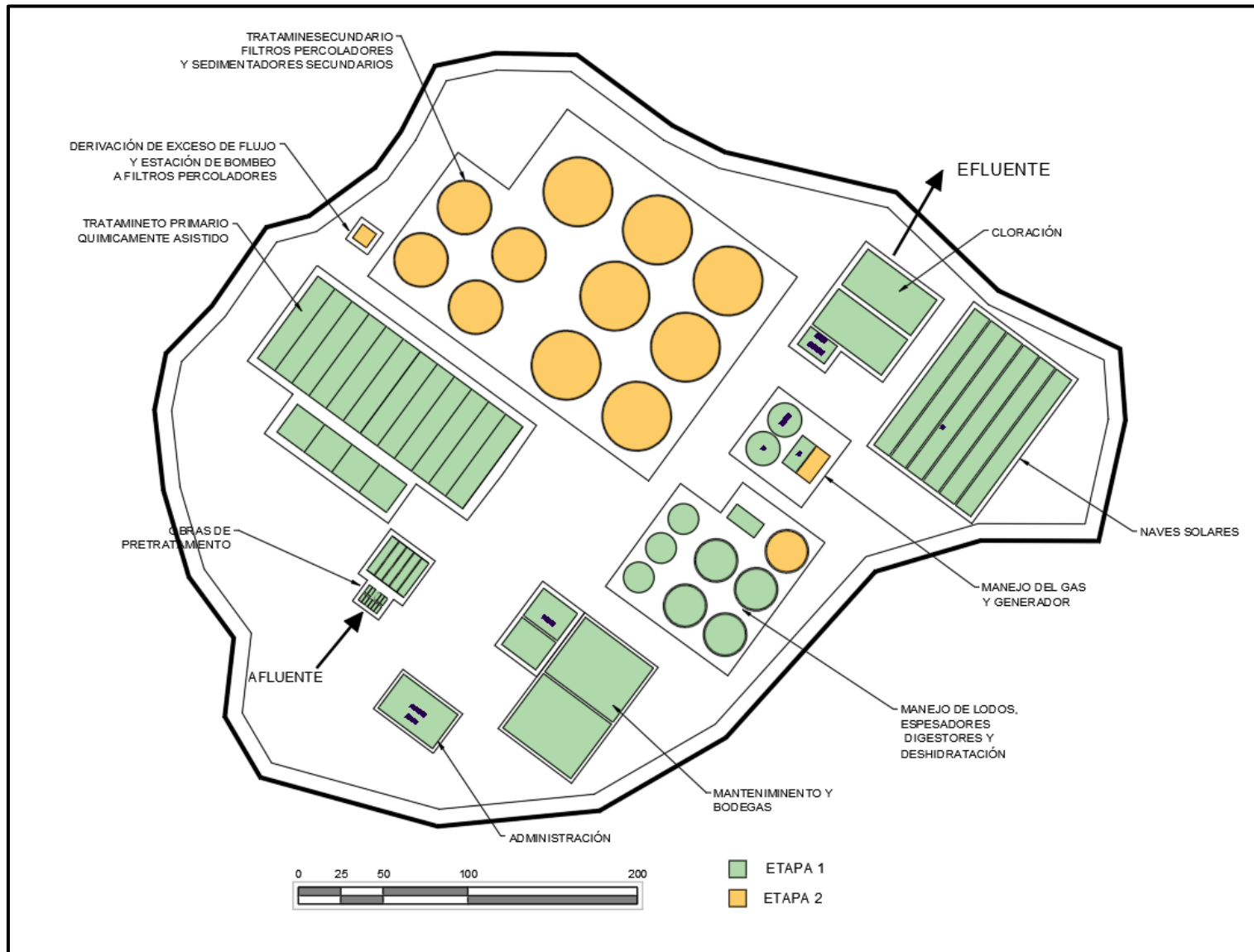


El dimensionamiento de la PTAR se presenta en el Anexo 1 y la implantación de las unidades en el terreno se exhibe en la ilustración abajo. La siguiente tabla es un resumen de los procesos seleccionados, y el número de unidades. Se requiere un área de 9.94 Ha., que es menor al área del terreno identificado.

Tabla 11 Resumen de Procesos Principales PTAR Norte

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Norte, Guatemala					
Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total
Obras Entrada	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.5 m	5	0	5
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	6		6
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	5	0	5
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	2		2
	Canal Parshall	Canal de 10 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	4		4
	Sedimentadores Primarios	Tipo circular	12		12
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Filtro percolador	Media crossflow tipo panel de abeja (125 m2/m3)		4	4
Sed. Secund.	Sedimentador tipo circular	Mecaismo de rotación central		7	7
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	3		3
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecaismo de rotación central	3		3
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	4	1	5
	Gasómetros	Doble membrana	2		2
	No de Turbinas de generación de 100	Microtubinas múltiples acoplads de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	1	1	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	1	3
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar mecanizados	6	0	6

Ilustración 7 Planta de Tratamiento Norte (Dibujo a escala)



5.5.2 PTAR Este

La planta de tratamiento Este se ubica al este de la ciudad de Guatemala sobre la carretera CA9 en dirección hacia el lago Izabal, en las coordenadas 781411 E y 1626808 N con una altitud en el rango de 1125 m a 1171 m. El área del sitio identificado es de 9.35 hectáreas.

Ilustración 8 Ubicación: Este de municipio de Guatemala

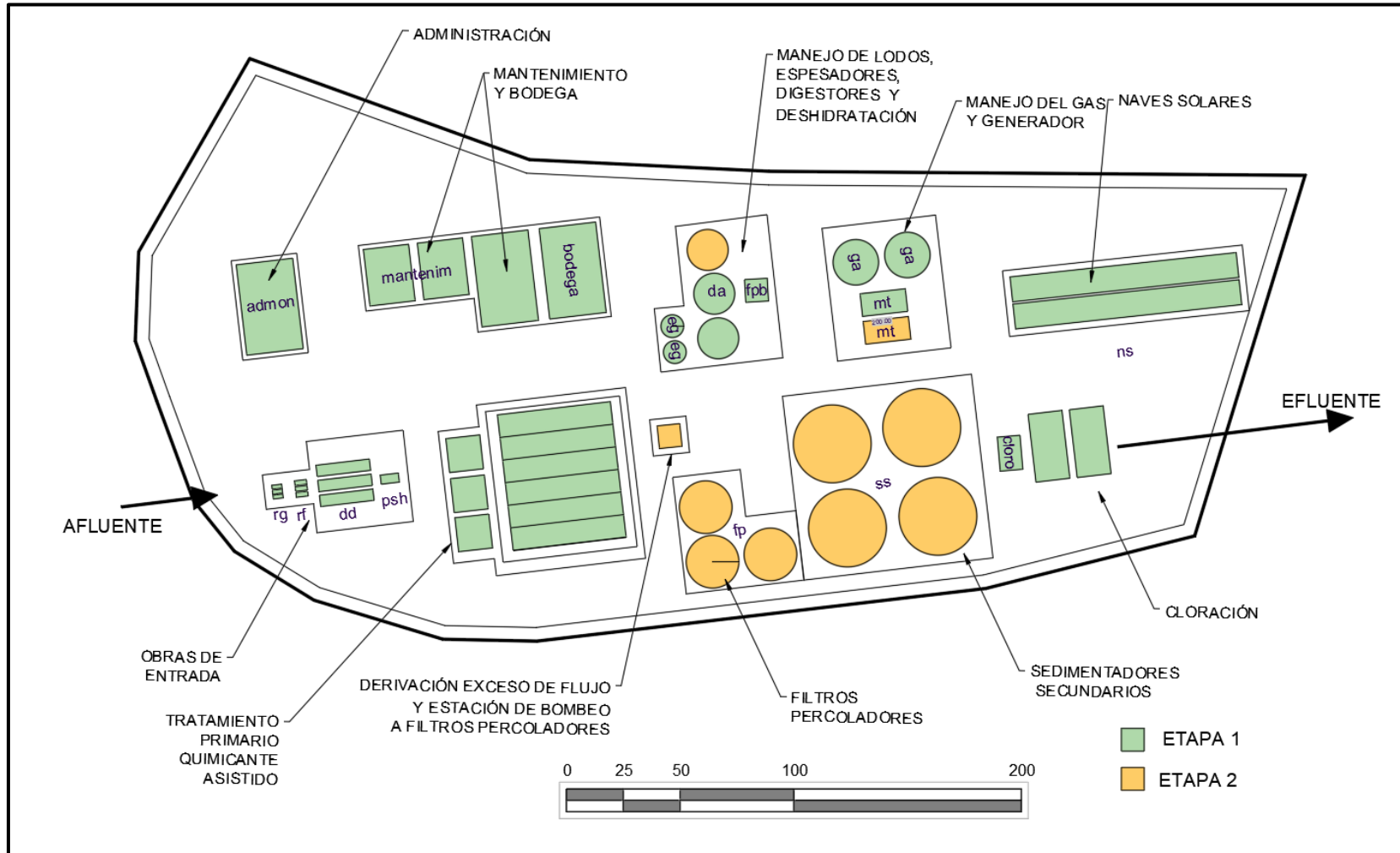


El dimensionamiento de la PTAR se presenta en el Anexo 1 y la implantación de las unidades en el terreno se exhibe en la ilustración abajo. La siguiente tabla es un resumen de los procesos seleccionados, y su el número de unidades. Se requiere un área de 4.98 Ha., que es menor al área del terreno identificado.

Tabla 12 Resumen de Procesos Principales PTAR Este

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Este, Guatemala					
Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total Unidades
Obras Entrada	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.0 m	3		3
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	3		3
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	3		3
	Aireadores de desarenadores	Tipo embolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	1		1
	Canal Parshall	Canal de 5 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	3		3
	Sedimentadores Primarios	<i>Tipo circular</i>	4		4
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Filtro percolador	Media crossflow tipo panel de abeja (125 m2/m3)		3	3
Sed. Secund.	Sedimentador tipo circular	Mecaismo de rotación central		4	4
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	2		2
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecaismo de rotación central	2		2
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	2	1	3
	Gasómetros	Doble membrana	1		1
	No de Turbinas de generación de 1000kW	Microtubinas múltiples acoplads de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	2	0	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	0	2
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar mecanizados	2	0	2

Ilustración 9 Planta de Tratamiento Este (Dibujo a escala)



5.5.3 PTAR Amatitlán

La planta de tratamiento Este se ubica en la ribera oeste del río Michatoya en las coordenadas 755411 E y 1599279 N con una altitud en el rango de 1184 m a 1190 m. El área del sitio identificado es de 7.61 hectáreas.

Ilustración 10 Ubicación: Ciudad de Amatitlán en ribera de río Michatoya

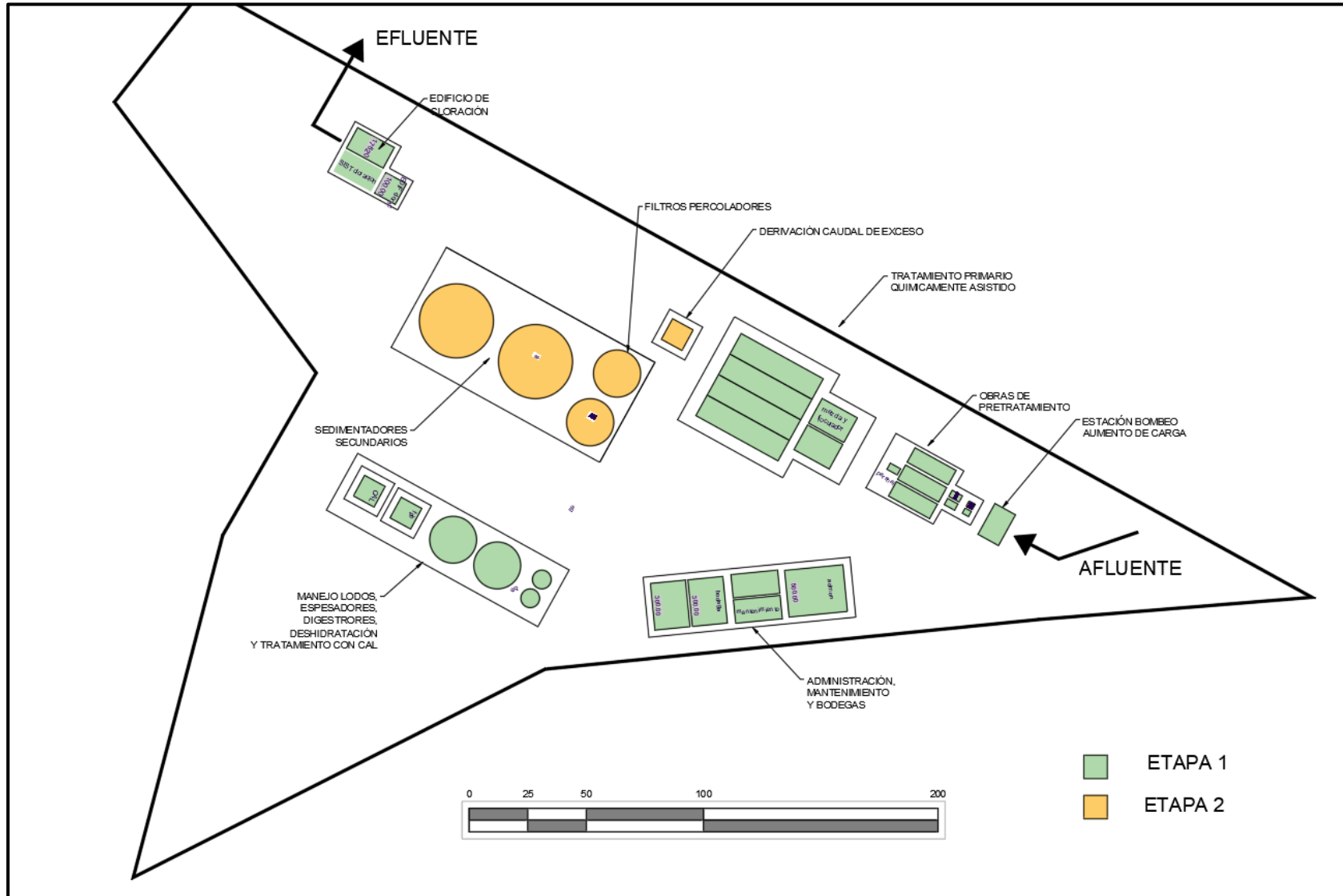


El dimensionamiento de la PTAR se presenta en el Anexo 1 y la implantación de las unidades en el terreno se exhibe en la ilustración abajo. La siguiente tabla es un resumen de los procesos seleccionados, y su el número de unidades. Se requiere un área de 2.1 Ha., que es menor al área del terreno identificado.

Tabla 13 Resumen de Procesos Principales PTAR Amatitlán

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Amatitlán, Guatemala					
Sistema	Proceso	Descripción	Etapas 1	Etapas 2	Total
Obras Entrada	Bombas Estación de bombeo	Bombas de alta carga entrada PTAR	3	0	3
	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.0 m	2		2
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	2		2
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	3		3
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	1		1
	Canal Parshall	Canal de 5 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	2		2
	Sedimentadores Primarios	<i>Tipo rectangular</i>	4		4
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Filtro percolador	Media crossflow tipo panel de abeja (125 m2/m3)		2	2
Sed. Secund.	Sedimentador tipo circular	Mecanismo de rotación central		2	2
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	2		2
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecanismo de rotación central	2		2
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	2	0	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	0	2
Tratamiento químico lodos	Adición de cal	Tratamiento con cal	1		1

Ilustración 11 Planta de Tratamiento Amatitlán (Dibujo a escala)



5.5.4 PTAR Sur Opción 1: Una sola PTAR en cuenca Villa lobos

La planta de tratamiento Sur de la Opción 1 se ubica en la ribera oeste del lago Amatitlán en las coordenadas 762030 E y 1601399 N con una altitud en el rango de 1192 m a 1201 m. En la zona existen dos terrenos con un área total de 51.3 hectáreas, sin embargo, solo se utilizará el terreno ubicado al sur con un área de 34.3 hectáreas.

Ilustración 12 Ubicación: En ribera de Lago Amatitlán

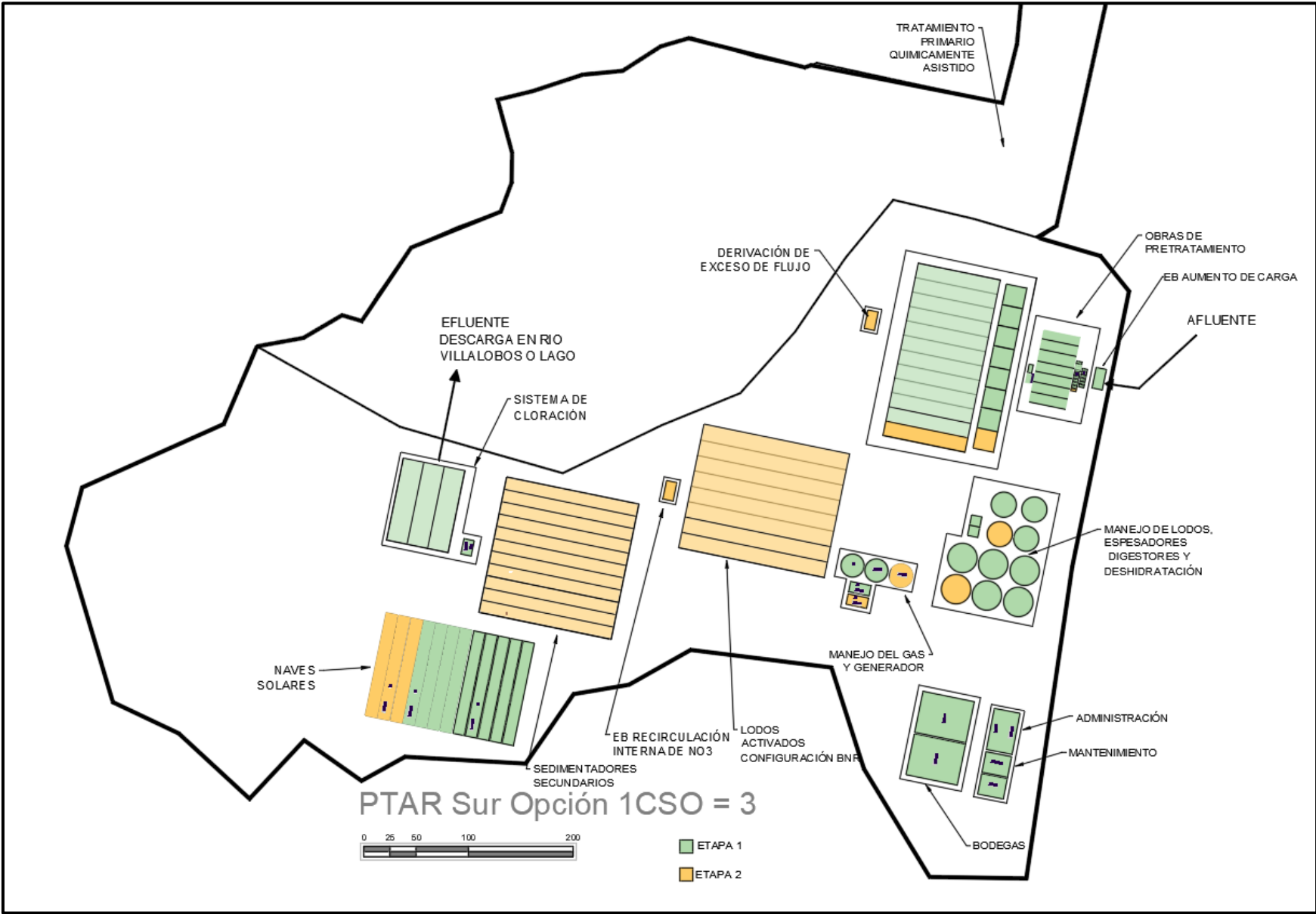


El dimensionamiento de la PTAR se presenta en el Anexo 1 y la implantación de las unidades en el terreno se exhibe en la ilustración abajo. La siguiente tabla es un resumen de los procesos seleccionados, y su el número de unidades. Se requiere un área de 20.47 Ha., que es menor al área del terreno identificado.

Tabla 14 Resumen de Procesos Principales PTAR Sur Opción 1

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Cuenca Sur Opción 1, MGCS					
Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total
Obras Entrada	Bombas Estación de bombeo	Bombas de alta carga entrada PTAR	8	1	9
	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.5 m	6	0	6
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	9	1	10
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	7	0	7
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	3	1	4
	Canal Parshall	Canal de 12 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	7		7
	Sedimentadores Primarios	Tipo rectangular	11	1	12
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Lodos activados MLE	Lodos activados modificados para remover nutrígeno		8	8
Sed. Secund.	Sedimentador tipo rectangular	Mecanismo de cadena con rastra de lodos		11	11
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	3	0	3
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecanismo de rotación central	3	1	4
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	5	3	8
	Gasómetros	Doble membrana	2		2
	No de Turbinas de generación de 1000kW	Microtubinas múltiples acoplads de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	2	1	3
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	3	2	5
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar mecanizados	9	3	12

Ilustración 13 Planta de Tratamiento Sur Opción 1. CSO = 3 (Dibujo a escala)



5.5.5 PTAR Sur 2-1 Opción 2: PTAR Intermedia en cuenca Villa lobos

La planta de tratamiento Sur de la Opción 2, identificada como Sur 2-1, se ubica en la confluencia de los ríos Villalobos y quebrada el Frutal en las coordenadas 762763 E y 1607883 N con una altitud en el rango de 1242 m a 1267 m. El terreno tiene un área de 15.6 hectáreas.

Ilustración 14 Ubicación: Confluencia de Quebrada El Frutal con Villalobos

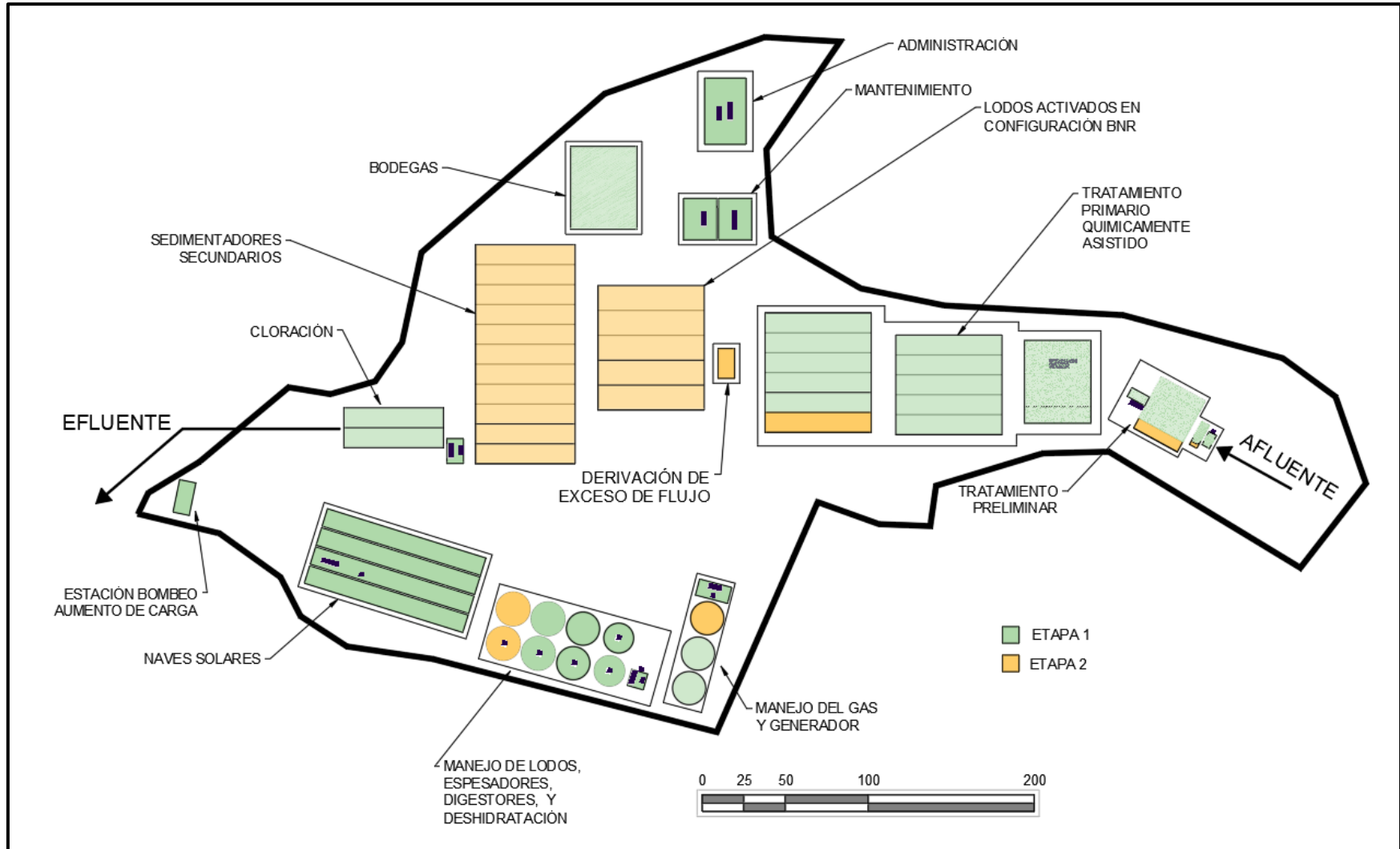


El dimensionamiento de la PTAR se presenta en el Anexo 1 y la implantación de las unidades en el terreno se exhibe en la ilustración abajo. La siguiente tabla es un resumen de los procesos seleccionados, y su el número de unidades. Se requiere un área de 11.2 Ha., si se asume un 20 % adicional por terreno no útil (quebrada), el área total requerida sería de 13.5 hectáreas que es menor al área del terreno identificado.

Tabla 15 Resumen de Procesos Principales PTAR Sur 2-1 Opción 2

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Cuenca Sur Opción 2-1 PTAR No. 1, MGCS					
Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total Unidades
Obras Entrada	Bombas Estación de bombeo	Bombas de alta carga entrada PTAR	7	1	8
	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.5 m	4	0	4
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	6	0	6
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	4	-1	3
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2	0	2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	2		2
	Canal Parshall	Canal de 10 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	5		5
	Sedimentadores Primarios	Tipo circular	10	1	11
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Lodos Activados MLE	Lodos act. Mofificados para remover nitrógeno		5	5
Sed. Secund.	Sedimentador tipo rectangular	Rectangular con rastra de lodos		11	11
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	3		3
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecaismo de rotación central	2		2
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	4	2	6
	Gasómetros	Doble membrana	2		2
	No de Turbinas de generación de 1000kW	Microtubinas múltiples acoplads de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	1	1	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	1	3
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar meca	4	0	4

Ilustración 15 Planta de Tratamiento Sur 2-1 Opción 2 (Dibujo a escala)



5.5.6 PTAR SUR 2.2 Opción 2

La planta de tratamiento Sur 2-2 de la Opción 2 se ubica en la ribera oeste del lago Amatitlán en la misma ubicación de la PTAR Sur de la opción 1 y por tanto tiene las mismas coordenadas de 762030 E y 1601399 N con una altitud en el rango de 1192 m a 1201 m. En la zona existen dos terrenos con un área total de 51.3 hectáreas, sin embargo, solo se utilizará el terreno ubicado al sur con un área de 34.3 hectáreas.

Ilustración 16 Ubicación: En ribera de Lago Amatitlán

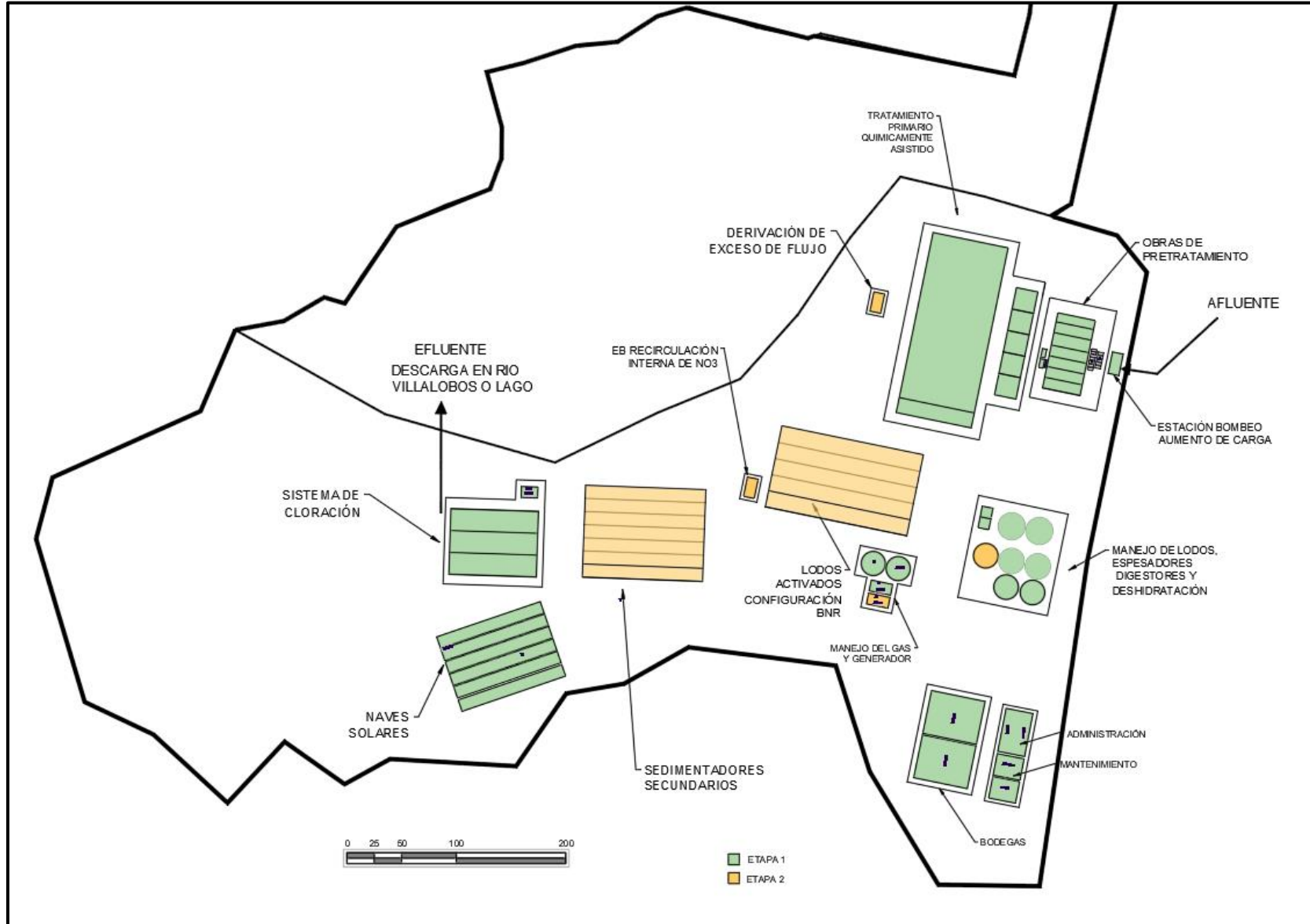


El dimensionamiento de la PTAR se presenta en el Anexo 1 y la implantación de las unidades en el terreno se exhibe en la ilustración abajo. La siguiente tabla es un resumen de los procesos seleccionados, y su el número de unidades. Se requiere un área de 12.5 Ha., que es menor al área del terreno identificado.

Tabla 16 Resumen de Procesos Principales PTAR Sur 2-2 Opción 2

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Cuenca Sur Opción 2-2 PTAR No. 2, MGCS					
Sistema	Proceso	Descripción	Etapas 1	Etapas 2	Total
Obras Entrada	Bombas Estación de bombeo	Bombas de alta carga entrada PTAR	7	1	8
	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.5 m	4	0	4
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	7	0	7
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	4	-1	3
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	2		2
	Canal Parshall	Canal de 10 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	5		5
	Sedimentadores Primarios	Tipo circular	12	0	12
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Lodos Activados	Lodos Act. Modificados para remover nitrógeno		5	5
Sed. Secund.	Sedimentador tipo rectangular	Mecanismo de cadena con rastra de lodos		7	7
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	3		3
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecanismo de rotación central	2		2
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede calentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	4	1	5
	Gasómetros	Doble membrana	3		3
	No de Turbinas de generación de 1000kW	Microtubinas múltiples acopladas de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	1	1	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	1	3
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar mecanizados	6	0	6

Ilustración 17 Planta de Tratamiento Sur 2-1 Opción 2 (Dibujo a escala)



6 Sistema de Intercepción MGCS

El sistema de intercepción tiene como objetivo proveer las líneas principales de conducción de las aguas residuales a las plantas de tratamiento de aguas residuales, de manera que las colectoras actuales y futuras se puedan conectar a dicho sistema.

6.1 Conceptualización de sistema de intercepción

Como se describe en la metodología, la implantación de los interceptores se realizó con la mejor información geográfica, topográfica y georeferencia disponible, la cual se considera precisa. Adicionalmente, se utilizó las últimas imágenes satelitales de Google Earth y otras fuentes como modelos DEM (modelos digitalizados de elevación) proveídos por la MGCS. De manera que se dispuso de información confiable de la conformación topográfica del terreno.

Cada PTAR tiene un sistema de recolección y conducción de aguas residuales por medio de interceptores, los cuales se diseñaron para coleccionar la mayor área tributaria urbana de cada cuenca. Se definieron cuatro sistemas principales de intercepción, una por cada cuenca de drenaje:

- Sistema Central Norte que conduce las aguas a la PTAR Norte
- Sistema Este que conduce las aguas residuales a la PTAR Este
- Sistema Amatitlán que conduce las aguas residuales a la PTAR de Amatitlán
- Sistema Sur, el cual tiene dos opciones. En la Opción 1, los interceptores conducen el agua residual a una sola PTAR ubicada en la ribera del lago Amatitlán. En la Opción 2, la cuenca Sur se divide en dos subcuencas y por tanto se proponen dos sistemas de intercepción, uno para cada PTAR.

Debido a que parte del sistema de alcantarillado existentes es combinado, parte de las aguas de primer lavado, durante eventos lluviosos, es desviado a los ríos y quebradas existentes. El factor de derivación varía entre 3 y 4 veces el caudal promedio doméstico más infiltración.

Existe un rango de tecnologías de excavación y emplazamiento de interceptores en zonas densamente urbanizadas. La selección final del método constructivo de los interceptores, se definirá hasta que se realicen los estudios de campo en la fase de factibilidad, cuando se determine las alineaciones más favorables, los que a su vez dependen de los estudios geológicos, del trazado urbano y de la geomorfología y relieve del terreno. Finalmente, la ubicación y orientación de los colectores existentes y los planes de expansión en ejecución o planificados a corto plazo de los mismos, son otros factores que ayudaran a definir la alineación final y el método constructivo por tramos de los interceptores.

Para fines de este estudio, se realizó una implantación que minimizara las longitudes de tuberías y que cubre al mismo tiempo la mayor área posible dentro de la cuenca o subcuenca considerada. Asimismo, se trató de utilizar dentro de lo posible los márgenes o riberas de los ríos para emplazar los interceptores, esto por tres razones, primero los ríos y quebradas son las zonas más bajas y por tanto más adecuadas para recibir las aguas por gravedad, segundo, hay mayor disponibilidad de terreno y tercero se evitan cruce transversal de quebradas.

Para zonas muy urbanizadas y ubicadas en zonas detríticas con alta presencia de quebradas, se prefirió utilizar algún tipo de tunelación, siempre evitando en lo posible estaciones de bombeo.

Finalmente, se propone utilizar algunas estaciones de bombeo en aquellos sitios donde es prácticamente imposible trasladar las aguas residuales por gravedad hacia el interceptor.

También se aclara, que el sistema de interceptores propuesto no considera la expansión de cobertura de redes de alcantarillado secundarias, ni tampoco los colectores necesarios para conducir las aguas

residuales hasta los interceptores. Estas obras tienen que ser implementadas con programas graduales en cada municipio.

Cada colector que descarga hacia el interceptor debe estar equipado con una obra de derivación del caudal de exceso (estructura CSO) y línea de descarga de los alivios, según el criterio mencionado anteriormente y enfatizado en la siguiente sección.

6.2 Premisas y Criterios de diseño

El Anexo 2 de este informe presenta en detalle los cálculos del dimensionamiento de los interceptores y estaciones de bombeo, en esta sección se hace un resumen.

Criterios para el cálculo de caudales

- Población diseño: 2070 (70 años a partir del año 2020)
- Dotación de agua potable: 180 lppd
- Contribución industrial y comercial: 33%
- Porcentaje de retorno 80 %
- Cobertura y conectividad 90 %
- Infiltración: 15 % del caudal medio seco
- Factor de máximo hora: Factor de Harmón sobre población contribuyente
- Factor de derivación de caudal de lluvia Opción 2: $4Q_{prom}$ (donde Q_{prom} = caudal en tiempo seco)
- Factor de derivación de caudal de lluvia Opción 1: para la opción 1, el Q pico de lluvia es igual a $4Q_{prom}$ para los interceptores secundarios y $3Q_{prom}$ para el Interceptor Villalobos. En otras palabras, el factor de derivación de caudal de lluvia es 3 Q promedio seco solamente en los sitios de conjunción de los Interceptores secundarios con el Interceptor Villalobos

Trazado de interceptores y Colectores

- Cuando sea factible utilizar excavación a zanja abierta. En este caso se priorizará el uso de terrenos públicos
- Se maximiza la cobertura de área por gravedad ya sea con tunelación, microtunelación o zanja abierta
- Se considera los interceptores necesarios que maximicen el área de cobertura desde un inicio

Criterios de Dimensionamiento Tuberías por Gravedad

El dimensionamiento de los interceptores por gravedad se realizó basado en los siguientes criterios

- Para definir el diámetro de las tuberías se usa la fórmula de Manning con un coeficiente conservador n de 0.013.
- El material de tubería depende del método constructivo. Se consideró GRP, aunque si se construye concreto en Guatemala, también se podría usar o si se usan métodos manuales de construcción de túneles con rozadoras, armado in situ y llenado de concreto.
- Se diseña para caudal sub-crítico con un número de Froude lo más cercano a la unidad.
- La velocidad entre 0.6 m/s y 3 m/s.
- Razón de tirante de agua (d/D) igual a 0.6 para tuberías menores a 1600 mm.
- Para tuberías de 1600 mm o mayores la razón de tirante (d/D) es de 0.8, con un diámetro mínimo de 1400 mm.
- Se utilizan diámetros comerciales
- Cada interceptor se seccionó en tramos separados por dos puntos de control (similar a pozos de visita) los cuales fueron seleccionados en los sitios de conjunción de interceptores y también

en puntos donde que reciben un caudal considerable. Para cada tramo de interceptor se estimó y se calculó el diámetro correspondiente.

Criterios de Dimensionamiento Tuberías de Impulsión

El dimensionamiento de las tuberías a presión de las estaciones de bombeo se realizó basado en los siguientes criterios

- Se usa la fórmula de Hazen Williams con un coeficiente conservador C: 110
- Pérdidas menores 20% de pérdidas de fricción
- Material GRP; HDPE, HD, PVC según el diámetro

Tecnologías de Excavación

- Excavación a zanja abierta
- Microtunelación y/o tunelación
- Túnel con métodos manuales
- Estructuras especiales para caídas libres o pendientes pronunciadas
- Combinación de todos los anteriores

6.3 Sistemas de Intercepción propuesto

6.3.1 Sistema de intercepción cuenca sur

Este sistema cubre la cuenca del río Villalobos y se inicia en el parte aguas de la gran división continental hasta llegar al lago Amatitlán.

El sistema consta de los siguientes interceptores:

- Interceptor Villalobos que corre sobre la ribera del río Villalobos
- Interceptor Pinula que corre sobre la ribera del río Pinula
- Interceptor Platanitos que corre sobre la ribera del río Platanitos
- Sistema de interceptores de forma detrítica para recolectar las aguas residuales de la zona de Mixco y parte de la cuenca sur del municipio de Guatemala.

Las siguientes ilustraciones muestra el sistema de intercepción de la cuenca sur en imagen satelital y en forma esquemática con los tramos separados por los puntos de control mostrados.

Ilustración 18 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción cuenca Sur

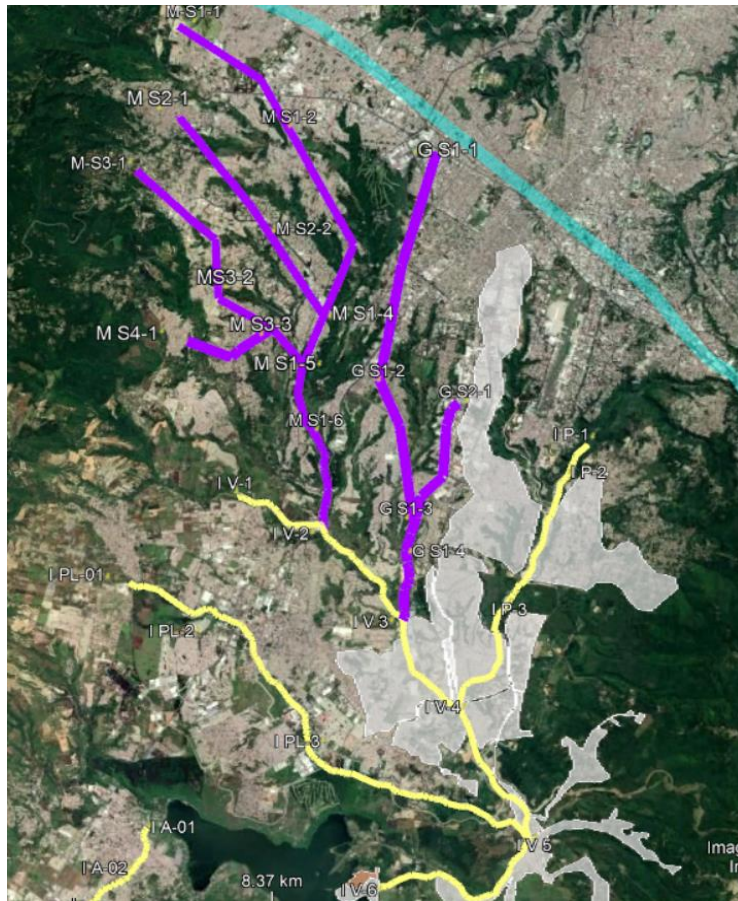
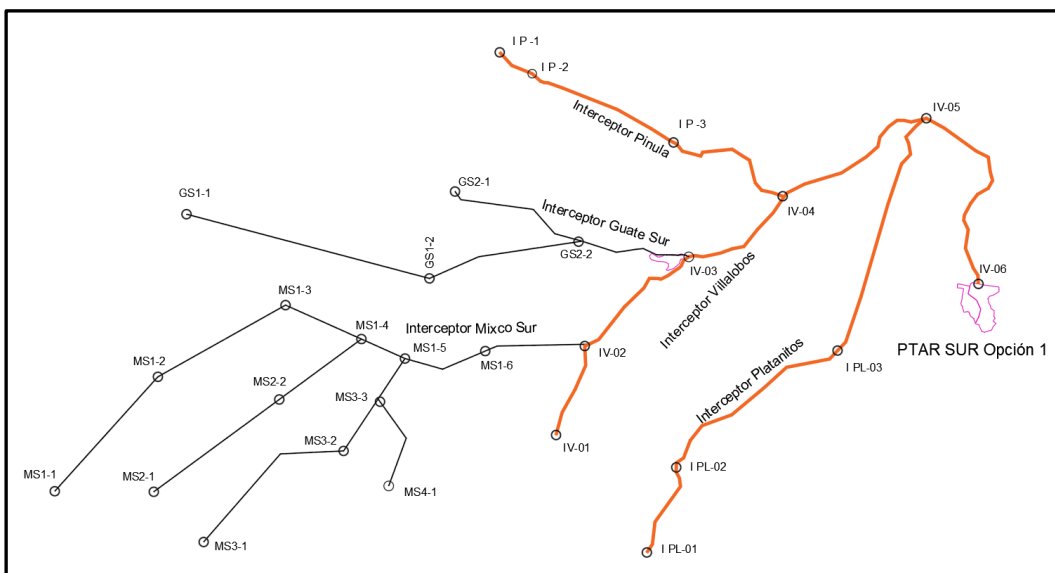


Ilustración 19 Puntos de control Sistema Sur



El dimensionamiento de las tuberías se realizó siguiendo los criterios mencionados. Un resumen de los diámetros calculados, así como el tipo de excavación de tuberías se exhibe en la siguiente tabla:

Tabla 17 Resumen Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Sur Opc. 1

Tramo		Excavación	Diámetro (mm)								
De	A		600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2400
Interceptor MixcoSur											
M-S1-1	IV-2	Túnel			3.63	4.31	1.02	1.56			
		Caída libre				0.39		0.20			
		Zanja abierta						2.49			
M-S2-1	M-S1-4	Túnel		3.10	2.05						
		Caída libre		0.45							
		Zanja abierta									
M-S3-1	M-S1-5	Túnel		3.36	2.67						
		Caída libre									
M-S4-1	M-S3-3	Túnel	2.04								
		Caída libre	0.16								
Interceptor Guate Sur											
G-S1-1	G-S1-2	Túnel		5.12	3.32						
		Caída libre		0.20							
		Zanja abierta									
G-S2-1	IV-3	Túnel		3.03		0.47					
		Caída libre				0.21					
		Zanja abierta				2.16					
Interceptor Pinula											
		Túnel		0.27	1.93						
		Zanja abierta		0.62	4.51						
Interceptor Platanitos											
		Túnel			0.55	1.434	1.62				
		Caída libre									
		Zanja abierta				1.27	3.346	3.78			
Interceptor Villalobos											
		Túnel				0.67		0.86	0.77	2.44	
		Zanja abierta				1.56		2.02	1.79	5.69	
Total			2.2	3.03	13.12	11.67	18.03	5.80	12.53	2.56	8.13

6.3.2 Sistema de intercepción cuenca norte

Este sistema cubre parte de la cuenca del río Las Vacas y se inicia en la parte norte del parte aguas de la gran división continental.

Se propone lo siguiente:

- Un Interceptor Norte 1 similar a los propuestos en estudios anteriores
- Una extensión del Interceptor Norte similar los propuestos en estudios anteriores
- Un Interceptor central que es similar a la propuesta original del Plan Maestro del año 1996
- Dos Interceptores para la zona de Mixco
- Bombeo de un pequeño sector de la población entre Guatemala y Mixco

Las siguientes ilustraciones muestra el sistema de intercepción de la cuenca norte Las Vacas en imagen satelital y en forma esquemática con los tramos separados por los puntos de control mostrados.

Ilustración 20 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción cuenca Norte Las Vacas

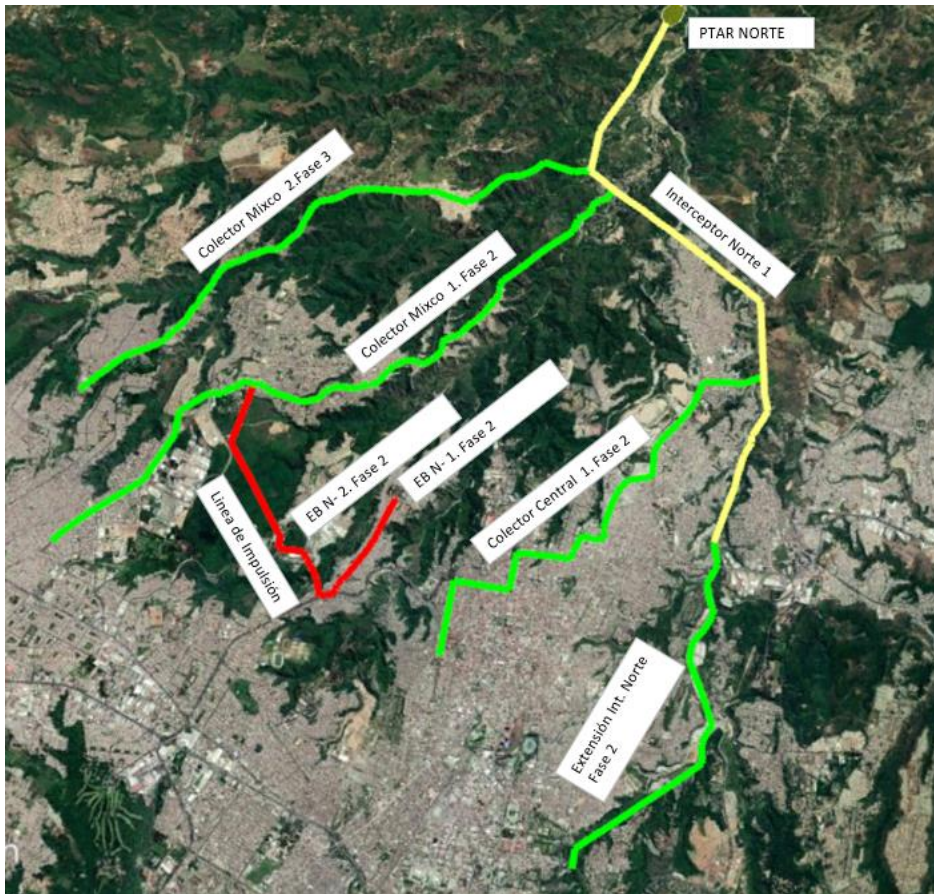
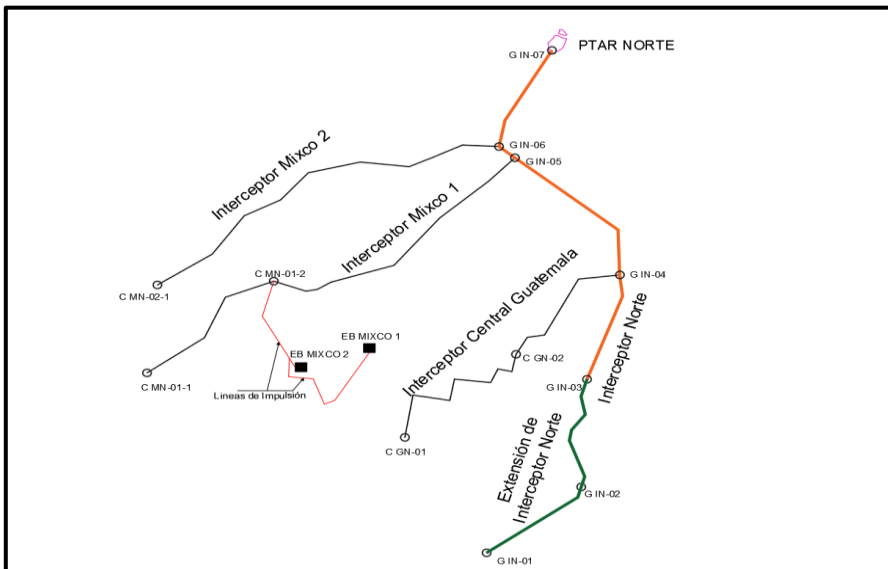


Ilustración 21 Puntos de control Sistema Norte



Un resumen de los diámetros calculados, así como el tipo de excavación de tuberías se exhibe en la siguiente tabla:

Tabla 18 Resumen Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Norte

Tramo	Excavación	Diámetro (mm)			
		600	1000	1400	1800
Interceptor Central Guate	Túnel		3.489		
	Zanja abierta		4.511		
Interceptor Mixco Norte 1	Túnel			4.75	
	Caída libre			2.20	
	Zanja abierta	2.00		2.25	
Interceptor Mixco Norte 2	Túnel		3.37		
	Caída libre		1.26		
	Zanja abierta		3.37		
Interceptor Norte	Túnel			16.25	18.40
Total		2.00	16.00	25.45	18.4

6.3.3 Sistema de intercepción cuenca este

Este sistema cubre parte de la cuenca del río Plátanos y se inicia en el parteaguas entre los ríos Las Vacas y Plátanos.

Se propone lo siguiente:

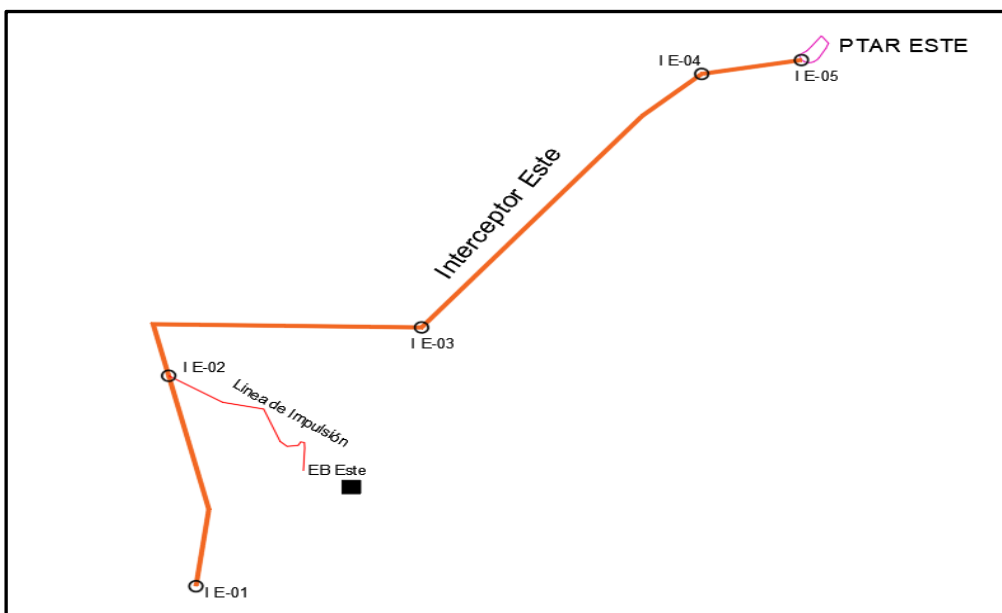
- Un interceptor que cubre desde la línea del parteaguas entre el río Las Vacas y el río Plátanos hasta el extremo este de la Ciudad donde se ubicará una planta de tratamiento.
- Bombeo de un pequeño sector de la población

La siguiente ilustración muestra el sistema de intercepción de la cuenca este Plátanos

Ilustración 22 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción Cuenca Este Plátanos



Ilustración 23 Puntos de control Sistema Este



Un resumen de los diámetros calculados, así como el tipo de excavación de tuberías se exhibe en la siguiente tabla:

Tabla 19 Resumen de Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Este

Tramo	Excavación	Diámetro (mm)		
		600	1200	1400
Interceptor Este	Túnel	4.86	3.91	6.15
	Zanja abierta			1.48
Total		4.86	3.91	7.63

6.3.4 Sistema de intercepción cuenca de Amatitlán

El sistema de Amatitlán consiste en un interceptor que inicia en las cercanías del Lago del mismo nombre y recorre la ribera del río Michatoya hasta llegar a la PTAR de Amatitlán.

Las aguas residuales de la zona sur de la ciudad se recolectan en una estación de bombeo y se envían a la PTAR por una línea de impulsión.

La siguiente ilustración muestra el sistema de intercepción de la cuenca este Plátanos

Ilustración 24 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción Zona Amatitlán

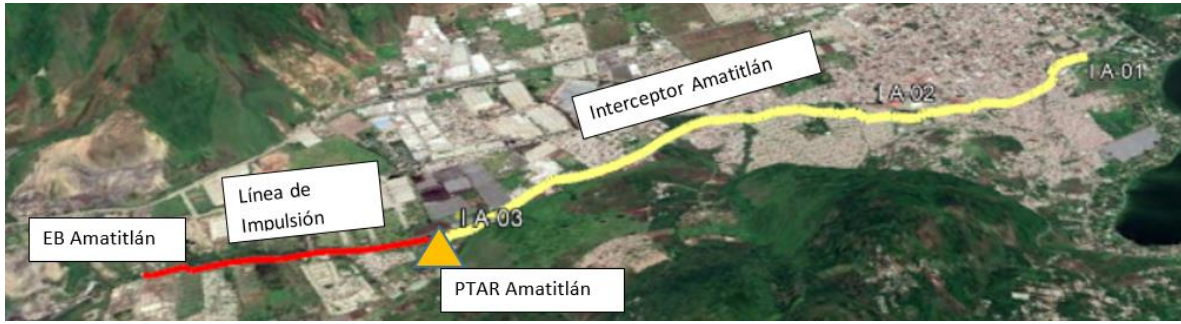
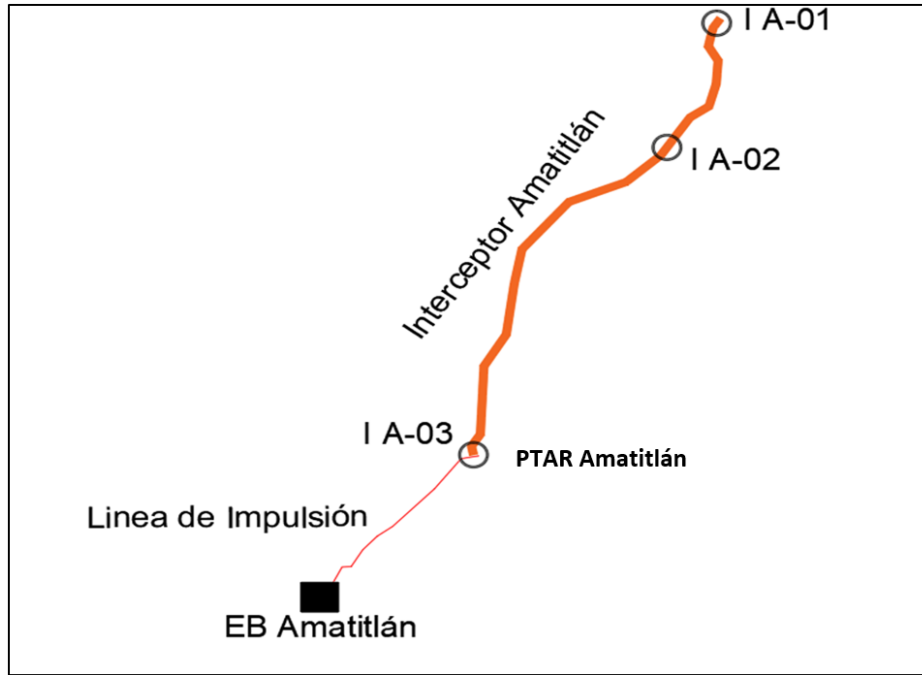


Ilustración 25 Puntos de control Sistema Amatitlán



Un resumen de los diámetros calculados, así como el tipo de excavación de tuberías se exhibe en la siguiente tabla:

Tabla 20 Resumen de Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Este

Tramo	Excavación	Diámetro (mm)		
		600	800	1400
Interceptor Amatitlán	Zanja abierta	0.59	0.59	3.12
Total		0.59	0.59	3.12

6.3.5 Resumen de Tuberías Opción 1

La propuesta del sistema de intercepción de la opción 1, requiere 107.4 Km de tuberías instaladas con algún método de tunelación y/o microtunelación, 47.15 Km de tuberías instaladas en zanjas abiertas y aproximadamente 5 Km de transición de tuberías en zonas de pendientes pronunciadas identificadas en la siguiente tabla como de caída libre. En total se necesitan 160 Km de tuberías de diferentes diámetros como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21 Resumen de tuberías y sistemas de excavación Opción 1

Totales	Diámetro (mm)								
	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2400
Total Túnel	6.90	3.03	18.71	15.58	35.08	2.45	22.44	0.77	2.44
Total Caída Libre	0.16	-	1.91	-	2.80	-	0.20	-	-
Total Zanja Abierta	2.59	0.59	8.50	-	16.36	3.35	8.29	1.79	5.69
Total	9.65	3.62	29.117	15.58	54.23	5.80	30.93	2.56	8.13

6.3.6 Sistema de intercepción cuenca Sur Opción 2

La Opción 2, es similar a la Opción 1 con la diferencia que se consideran dos plantas de tratamiento en la cuenca sur. Los sistemas de intercepción norte, este y Amatitlán son iguales a la opción 1.

La distribución de población contribuyente y de caudales es aproximadamente igual para las dos PTARs que conforman la Opción 2; los sistemas de intercepción siguen el mismo alineamiento como en la Opción 1 pero el interceptor de Villalobos de la PTAR 2-2 conduce menor caudal de aguas residuales.

6.3.6.1 Sistema de intercepción cuenca Sur 2-1 Opción 2

Este sistema cubre la cuenca del río Villalobos y se inicia en el parte aguas de la gran división continental hasta llegar a la confluencia de la Quebrada El Frutal con el río Villalobos, donde se ubica la PTAR Sur 2-1.

El sistema consta de los siguientes interceptores:

- Tramo del Interceptor Villalobos desde su inicio hasta la confluencia con la quebrada el Frutal
- Sistema de interceptores de forma detrítica para recolectar las aguas residuales de la zona de Mixco y parte de la cuenca sur del municipio de Guatemala.

Las siguientes ilustraciones muestra el sistema de intercepción de la cuenca sur en imagen satelital y en forma esquemática con los tramos separados por los puntos de control mostrados.

Ilustración 26 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción Sistema Sur 2-1

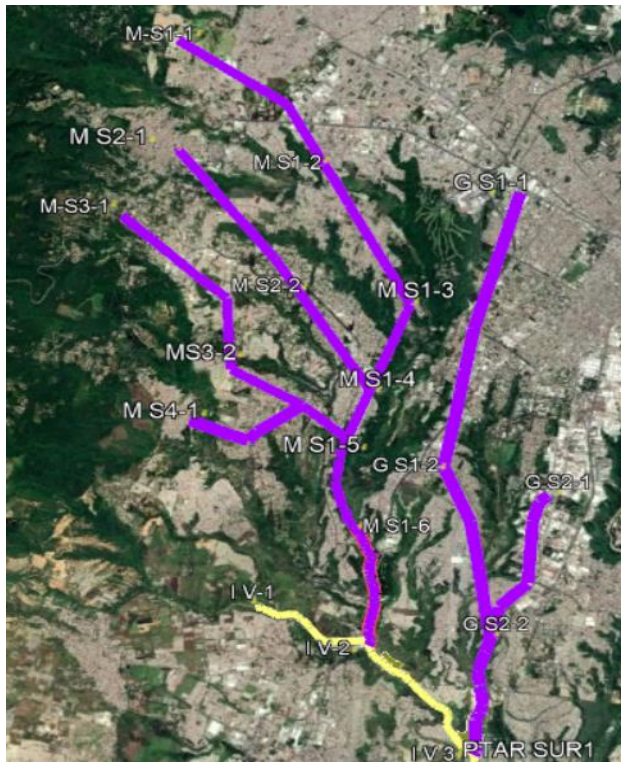
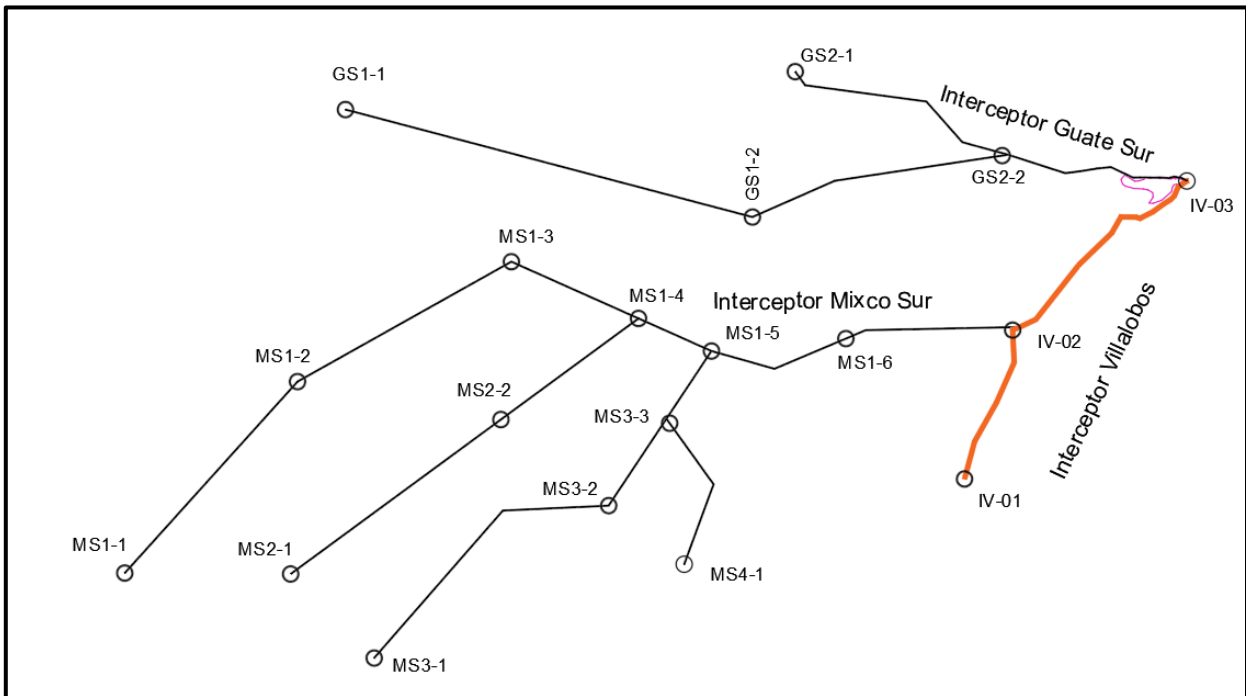


Ilustración 27 Puntos de control Sistema Sur 2-1



Un resumen de los diámetros calculados, así como el tipo de excavación de tuberías se exhibe en la siguiente tabla:

Tabla 22 Resumen de Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Sur 2-1

Tramo		Excavación	Diámetro (mm)							
De	A		600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Interceptor MixcoSur										
M-S1-1	IV-2	Túnel				3.63	4.31	1.02	1.56	
		Caída libre					0.39		0.20	
		Zanja abierta							2.49	
M-S2-1	M-S1-4	Túnel			3.10	2.05				
		Caída libre			0.45					
M-S3-1	M-S1-5	Túnel			3.36	2.67				
M-S4-1	M-S3-3	Túnel	2.04							
		Caída libre	0.16							
Interceptor Guate Sur										
G-S1-1	G-S1-2	Túnel			5.12	3.32				
		Caída libre			0.20					
G-S2-1	IV-3	Túnel		3.03			0.47			
		Caída libre					0.21			
		Zanja abierta					2.16			
Interceptor Villalobos										
		Túnel					0.67			0.864
		Zanja abierta					1.56			2.016
Total			2.2	3.03	12.23	11.67	9.77	1.02	4.25	2.88

6.3.6.2 Sistema de intercepción cuenca Sur 2-2 Opción 2

Este sistema cubre la cuenca del río Villalobos y se inicia en la confluencia de la Quebrada El Frutal con el río Villalobos y finaliza en la ribera del lago Amatitlán, donde se ubica la PTAR Sur 2-2.

El sistema consta de los siguientes interceptores:

- Tramo del Interceptor Villalobos desde su inicio en la confluencia con la quebrada el Frutal hasta la PTAR Sur 2-2 en la ribera del lago Amatitlán
- Interceptor Pinula
- Interceptor Platanitos

Las siguientes ilustraciones muestra el sistema de intercepción de la cuenca sur en imagen satelital y en forma esquemática con los tramos separados por los puntos de control mostrados.

Ilustración 28 Sistema Propuesta Sistema de Intercepción Sur 2-2

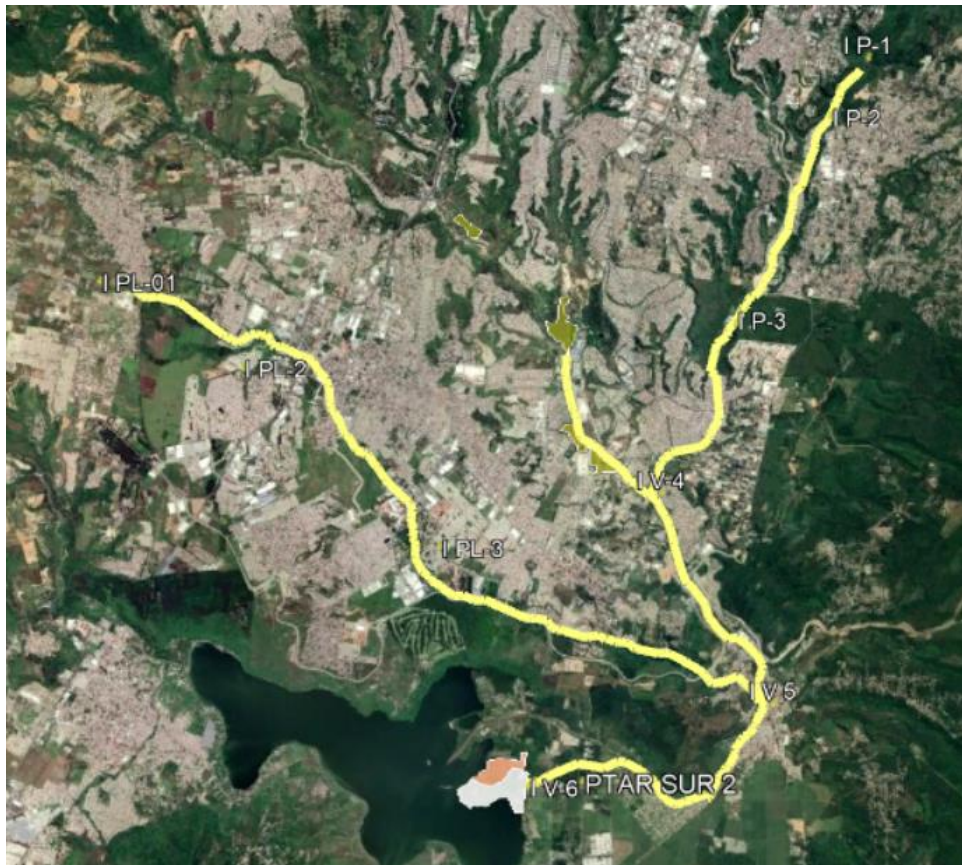
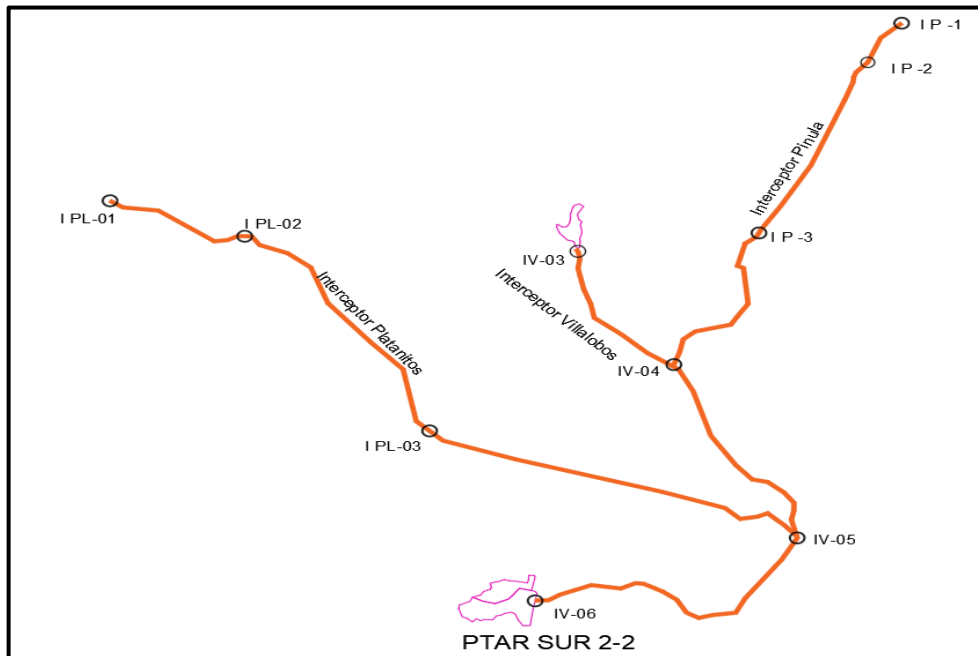


Ilustración 29 Puntos de control Sistema Sur 2-2



Un resumen de los diámetros calculados, así como el tipo de excavación de tuberías se exhibe en la siguiente tabla:

Tabla 23 Resumen de Longitudes de Tuberías por tramo (Kilómetros) Sistema Sur 2-2

Tramo		Excavación	Diámetro (mm)					
De	A		800	1000	1400	1600	1800	2000
Interceptor Pinula		Túnel		0.27	1.93			
		Zanja abierta		0.62	4.51			
Interceptor Platanitos		Túnel			0.55	1.434	1.62	
		Caída libre						
		Zanja abierta			1.27	3.346	3.78	
Interceptor Villalobos		Túnel	0.77		1.06			1.38
		Zanja abierta	1.79		2.47			3.22
Total			2.56	0.89	11.79	4.78	5.40	4.60

6.3.7 Resumen de Tuberías Opción 2

La propuesta del sistema de intercepción de la opción 2, requiere 105.9 Km de tuberías instaladas con algún método de tunelación y/o microtunelación, 43.6 Km de tuberías instaladas en zanjas abiertas y aproximadamente 5 Km de transición de tuberías en zonas de pendientes pronunciadas identificadas en la siguiente tabla como de caída libre. En total se necesitan 155 Km de tuberías de diferentes diámetros como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 24 Resumen de tuberías y sistemas de excavación Opción 2

Totales	Diámetro (mm)							
	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Total Túnel	6.90	3.80	18.71	15.58	35.47	2.45	21.58	1.38
Total Caída Libre	0.16	-	1.91	-	2.80	-	0.20	-
Total Zanja Abierta	2.59	2.38	8.50	-	17.27	3.35	6.27	3.22
Total	9.65	6.18	29.117	15.58	57.76	5.80	28.05	7.48

6.3.7.1 Estaciones de Bombeo

Las estaciones de bombeo detalladas en las siguientes tablas colectan las aguas residuales de sitios aislados en valles rodeados de quebradas que hace imposible conducir el agua por gravedad hacia el sistema de intercepción.

Tabla 25 Resumen de Estaciones de Bombeo en sistema de intercepción

Estación	Diámetro (mm) HD			No bombas	Potencia	
	400	600	800	Unid	Kw/bomba	Kw total
EB Este Sistema Este			2.62	5	145	725.24
EB Mixco1 Sistema norte		3.2		3	57	171.90
EB Mixco 2 Sistema norte		3		5	121	604.28
EB Amatitlán Sistema Amatitlán	1.52			3	6.1	18.35

7 Estimación de Costos

7.1 Introducción

El desarrollo de las estimaciones de costos para el Programa tiene dos etapas:

- Preparación de costos unitarios (CPEX y OPEX)
- Aplicación de los costos unitarios a los componentes del Programa:
 - Sistemas de intercepción
 - Estaciones de bombeo y líneas de impulsión
 - Plantas de tratamiento

Los costos están presentados por cuenca:

- Norte
- Este
- Sur (Opción 1 y Opción 2)
- Amatitlán

7.2 Costos Unitarios

7.2.1 *Interceptores*

Los costos unitarios de CAPEX se han desarrollado mediante la revisión de 7 fuentes de datos de América y Europa:

- Colombia: un proyecto de interceptores en diámetros entre 600 y 1800 mm, en etapa de diseño
- Quito: un proyecto de interceptor de 3700 mm diámetro en etapa de diseño
- Costa Rica: un proyecto de interceptores en diámetros entre 1800 y 2500 mm, como construido
- Estados Unidos:
 - una base de datos en Sacramento de interceptores en diámetros entre 800 y 1600 mm
 - un “rule of thumb” de interceptores por túnel en diámetros entre 1000 y 2500 mm
- Canadá: una base de datos nacional de interceptores por micro-túnel en diámetros entre 800 y 1100 mm
- Reino Unido: una base de datos nacional de interceptores por túnel en diámetros entre 1000 y 2500 mm

Los costos unitarios de estas fuentes generalmente son para la construcción e incluyen costos indirectos (gastos generales) y ganancias. Todos se actualizaron desde su fecha de preparación a los niveles de precios de 2020 utilizando una tasa de inflación del 5% anual.

Se consideraron cuatro categorías de costos unitarios:

- Zanja abierta hasta 4m de profundidad, diámetros 600 hasta 2400mm
- Pipe Jack, diámetros 600 hasta 1000mm

- Jack and Bore, diámetros 1200 hasta 1800mm
- Túnel convencional, diámetros 2000 hasta 3400mm

Estos costos unitarios son generalmente solo para la construcción de la tubería o túnel, por lo que se desarrollaron una serie de elementos de costos adicionales, utilizando datos de las mismas fuentes donde estaban disponibles:

- Caída libre
- Cámaras de acceso
- Cámaras de lanza/recepción
- Excavación en roca dura
- Control de agua (napa alta)
- Interferencias
- Reemplazo de asfalto

Sólo se encontró una fuente de datos sobre los costos típicos de OPEX, de la USEPA de 1999, la cual se utilizó para calcular OPEX basado en el valor de CAPEX. La cifra resultante del 1,5% está dentro de un rango del 1% al 3% que a veces se utiliza en la ingeniería civil.

Los costos resultantes de CAPEX y OPEX para interceptores se presentan a continuación en la Tabla 26.

Tabla 26 Costos unitarios - Sistemas de Intercepción

Costos Unitarios Interceptores	CAPEX		US\$/m									
	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2400	2800	3000	3400
Zanja hasta 4 m	361	515	721	791	918	1067	1173	1291	1420			
Pipe jack	1273	1818	2452									
Jack and Bore				3210	3370	3539	3716					
Túnel convencional								5280	6600	7920	9504	11405
Adiciones:												
Caída libre	50 % del costo unitario de túnel											
Cámaras de acceso zanja abierta:	5600	c/u	@	200	m							
Cámaras de lanza/recepción pipe jack	70000	c/u	@	400	m							
Cámaras de lanza/recepción túnel conv	84000	c/u	@	1000	m							
Excavación en roca dura	20	% adición al costo unitario en áreas donde roca puede estar presente										
Control de agua - napa alta	10	% adición al costo unitario en áreas donde roca puede estar presente										
Interferencias mayores zanja abierta	525	c/u	@	100	m							
Reemplazar asfalto zanja abierta	154	por m										
Costos Unitarios Interceptores OPEX	1.5% % del costo CAPEX											

7.2.2 Plantas de Tratamiento (PTAR)

Los costos unitarios de CAPEX de plantas de tratamiento se han desarrollado mediante la revisión de 9 fuentes de datos de América Latina y Europa:

- Colombia: un proyecto de PE 540,000, tratamiento primario, en etapa de diseño
- Ecuador:
 - Quito: proyecto de PE 3,200,000, tratamiento secundario, en etapa de diseño
 - Guayaquil:
 - un proyecto de PE 1,360,000, tratamiento primario, en etapa de diseño
 - un proyecto de PE 1,440,000, tratamiento primario, en etapa de diseño
- Nicaragua (Managua): proyecto de PE 1,490,000, tratamiento secundario, en etapa de diseño
- Panamá: un proyecto de PE 600,000, tratamiento secundario, en etapa de oferta firme
- Europa: una base de datos regional de PE > 1,000,000, tratamiento preliminar, primario y secundario, como construido
- México: un proyecto de PE 185,000, tratamiento secundario, en etapa de diseño
- Costa Rica: un proyecto de PE 1,080,000, tratamiento primario, como construido

Los costos unitarios de estas fuentes generalmente son para la construcción e incluyen costos indirectos (gastos generales) y ganancias. Todos los costos se actualizaron desde su fecha de preparación a los niveles de precios de 2020 utilizando una tasa de inflación del 5% anual.

Aunque el nivel de detalle de estas 9 fuentes varía ampliamente, se usaron para desarrollar costos unitarios para cada etapa del tratamiento:

- Preliminar (Pre)
- Primario asistido químicamente (CEPT=TPQA)
- Lodos activados incluyendo remoción de N (LA-N)
- Filtros percoladores (FP)
- Tratamiento de lodos (AD)
- Desinfección (D)

Después de inspeccionar y comparar los costos unitarios resultantes por PE, las tres fuentes preferidas son las estimaciones de costos para las PTAR de Quito, Managua y Guayaquil. Los costos de las PTAR en Europa son aproximadamente un 100% más que los costos unitarios de estos tres PTAR. Otras fuentes latinoamericanas mostraron alguna variación con respecto a estos tres PTAR: Costa Rica 10% menos, Colombia 35% más y Panamá 70% más.

Los siguientes datos en la tabla 27 son los costos unitarios recomendados para cada proceso. Estos costos unitarios incluyen obras en el sitio, interconexión de tuberías, edificios de operaciones, paisajismo, equipamiento, obras eléctricas e ICA, gastos generales y ganancias. La Población Equivalente (PE) es la población domestica conectada más el equivalente del caudal industrial.

Tabla 27 Costos unitarios CAPEX por proceso

Proceso	Base	US\$/PE
Pre	Quito	5.9
CEPT	Guayaquil	17.8
LA+N	Quito	65.4
FP	Managua	28.8
AD	Managua	42.1
D	Guayaquil	6.5

Estos costos unitarios han sido aplicados a las PTAR propuestas como se muestra en las tablas 28 y 29. Las obras se muestran en dos etapas simples en las cuales la Etapa 1 incluye el 90% de los costos de todos los procesos excepto el secundario. La Etapa 2 incluye el 10% de los costos restantes y el 100% de los costos del tratamiento secundario. Estos supuestos de escalonamiento se revisan con más detalle al considerar las prioridades y un ejemplo de hoja de ruta.

Tabla 28 Costos unitarios - CAPEX PTAR(s) Sur

PTAR Sur CAPEX						
Procesos: Pre, CEPT, LA+N, AD, D						
Desglose:	% del total	US\$/PE	Etapa 1		Etapa 2	
			%	US\$/PE	%	US\$/PE
Pre	4.3	5.9	90.0	5.3	10.0	0.6
CEPT	12.9	17.8	90.0	16.0	10.0	1.8
LA+N	47.5	65.4	0	0.0	100.0	65.4
AD	30.6	42.1	90.0	37.9	10.0	4.2
D	4.8	6.5	90.0	5.9	10.0	0.7
	100	138		65		73

Tabla 29 Costos unitarios - CAPEX PTAR Norte, Este, Amatitlán

PTAR Norte, Este, Amatitlan CAPEX						
Procesos: Pre, CEPT, FP, AD, D						
Desglose:	% de total	US\$/PE	Etapa 1		Etapa 2	
			%	US\$/PE	%	US\$/PE
Pre	5.8	5.9	90.0	5.3	10.0	0.6
CEPT	17.6	17.8	90.0	16.0	10.0	1.8
FP	28.5	28.8	0	0.0	100.0	28.8
AD	41.7	42.1	90.0	37.9	10.0	4.2
D	6.5	6.5	90.0	5.9	10.0	0.7
	100	101		65		36

Los costos unitarios de OPEX se han desarrollado mediante la revisión de 2 fuentes de datos de Panamá y Europa, incluidas las actualizaciones a los niveles de precios de 2020.

Dado que los costos unitarios de CAPEX en Panamá y Europa son de un 70% a un 100% más que en otros ejemplos latinoamericanos, los costos unitarios de OPEX se han tomado al 50% de los niveles europeos.

Los costos unitarios de sistemas de tratamiento secundario asumen un ahorro de US\$1/PE para reconocer cogeneración de energía en el sistema de tratamiento de lodos, salvo en caso de PTAR Amatitlán donde el tamaño de la PTAR es mucho menor y no incluye cogeneración.

Los costos resultantes de CAPEX y OPEX de PTAR se presentan a continuación en las Tablas 30, 31 y 32.

Tabla 30 Costos unitarios - OPEX PTAR(s) Sur

PTAR Sur OPEX					
Procesos: Pre, CEPT, LA+N+P, AD, D					
	Etapa 1			Etapa 2	
Desglose:	US\$/PE.y	%	US\$/PE.y	%	US\$/PE.y
Pre	0.3	90.0	0.2	10.0	0.0
CEPT	3.1	90.0	2.8	10.0	0.3
LA+N+P	3.4	0.0	0.0	100.0	3.4
AD	1.3	90.0	1.1	10.0	0.1
D	0.5	90.0	0.5	10.0	0.1
	8		5		4

Tabla 31 Costos unitarios - OPEX PTAR Norte y Este

PTAR Norte, Este OPEX					
Procesos: Pre, CEPT, FP, AD, D					
	Etapa 1			Etapa 2	
Desglose:	US\$/PE.y	%	US\$/PE.y	%	US\$/PE.y
Pre	0.3	90.0	0.2	10.0	0.0
CEPT	3.1	90.0	2.8	10.0	0.3
FP+P	0.7	0	0.0	100.0	0.7
AD	1.3	90.0	1.1	10.0	0.1
D	0.5	90.0	0.5	10.0	0.1
	6		5		1

Tabla 32 Costos unitarios - OPEX PTAR Amatitlán

PTAR Amatitlan OPEX					
Procesos: Pre, CEPT, FP, AD, D					
	Etapa 1			Etapa 2	
Desglose:	US\$/PE.y	%	US\$/PE.y	%	US\$/PE.y
Pre	0.3	90.0	0.2	10.0	0.0
CEPT	3.1	90.0	2.8	10.0	0.3
FP+P	1.7	0	0.0	100.0	1.7
AD	1.3	90.0	1.1	10.0	0.1
D	0.5	90.0	0.5	10.0	0.1
	7		5		2

7.2.3 Estaciones de Bombeo

Los costos unitarios de CAPEX de estaciones de bombeo se han desarrollado mediante la revisión de 2 fuentes de datos de EEUU y Portugal:

- Estados Unidos: base de datos de la Ciudad de Alexandria
- Portugal: "Statistical modelling of wastewater pumping stations costs" Cabral et al, 2018

Los costos de Portugal son adecuados para las EB pequeñas. Los costos de Alexandria son aplicables para grandes EB, pero se aplicaron factores para reflejar menores costos de construcción en Guatemala.

Todos se actualizaron desde su fecha de preparación a los niveles de precios de 2020 utilizando una tasa de inflación del 5% anual.

Los costos unitarios de OPEX serán desarrollado en base de caudales, kW y tarifa de electricidad.

Los costos unitarios de impulsión están basados en costos de impulsión de una de las fuentes de costos de interceptores.

Los costos resultantes de CAPEX y OPEX de las EB y las líneas de impulsión se presentan a continuación en Tabla 33.

Tabla 33 Costos unitarios de Estaciones de Bombeo y líneas de impulsión

Estaciones de bombeo		CAPEX	
Qmax	m ³ /s		US\$ m per m ³ /s
0.2 hasta 1.0	m/s	4.4	
1.0 hasta 5.0	m ³ /s	3.5	
> 5.0	m ³ /s	2.8	
Impulsiones		CAPEX	
hasta 400	mm	347	US\$/m
600	mm	685	US\$/m
800	mm	822	US\$/m
Estaciones de bombeo		OPEX	
Qpromedio	EB		
kW	EB		
Tarifa		0.16	US\$/KWh
Costo de energia			calcular
Costo O&M % de energia		50	%

7.3 Costos Estimados de los componentes del Programa

Utilizando los costos unitarios y el diseño de los componentes del sistema desarrollado, se han calculado las estimaciones de costos totales por cuenca (sistema) y por componente, CAPEX y OPEX.

7.3.1 Sistema Norte

La Tabla 34 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de los interceptores para el Sistema Norte.

Tabla 34 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Norte

Interceptores			CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Interceptor Central Guate	Túnel	8,555,475		
	Caída libre	0		
	Zanja abierta	3,253,836		
	Camaras acceso	126,308		
	Camaras túnel	610,575		
	Excavación roca	472,372		
	Control de agua	236,186		
	Intererencias mayores	23,683		
	Reemplazar asfalto	347,347	13,625,781	201,540
Interceptor Mixco Norte 1	Túnel	16,008,917		
	Caída libre	3,707,328		
	Zanja abierta	2,787,505		
	Camaras acceso	119,000		
	Camaras túnel	831,250		
	Excavación roca	900,150		
	Control de agua	450,075		
	Intererencias mayores	22,313		
	Reemplazar asfalto	327,250	25,153,788	372,051
Interceptor Mixco Norte 2	Túnel	8,263,671		
	Caída libre	908,852		
	Zanja abierta	2,430,819		
	Camaras acceso	94,360		
	Camaras túnel	589,750		
	Excavación roca	464,134		
	Control de agua	232,067		
	Intererencias mayores	17,693		
	Reemplazar asfalto	259,490	13,260,836	196,142
Interceptor Norte	Túnel	123,137,222		
	Caída libre	0		
	Zanja abierta	0		
	Camaras acceso	0		
	Camaras túnel	6,063,750		
	Excavación roca	4,925,489		
	Control de agua	2,462,744		
	Intererencias mayores	0		
	Reemplazar asfalto	0	136,589,206	2,020,300
Total			188,629,611	2,790,033

La Tabla 35 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de las EB y líneas de impulsión para el Sistema Norte.

Tabla 35 Costos estimados CAPEX y OPEX EB e impulsiones de Sistema Norte

Estaciones de Bombeo e Impulsiones			
EB Mixco 1		CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Caudal	0.3 m ³ /s	1,226,744	energía 80,312
Potencia	72 kW		personal/otro 40,156
			total 120,468
Impulsión		2,190,935	
sub-total		3,417,679	120,468
EB Mixco 2		CAPEX	OPEX
Caudal	0.5 m ³ /s	2,013,008	energía 282,321
Potencia	604 kW		personal/otro 141,161
			total 423,482
Impulsión		2,054,002	
sub-total		4,067,010	423,482
Total		7,484,689	543,950

Un resumen de los costos estimados de CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Norte se presenta a continuación.

Tabla 36 Costos estimados CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Norte

Plantas de Tratamiento				
PTAR Norte PE		964,087 domestica e Industrial		
Procesos	Costos Unitarios		Costos	
	CAPEX US\$	OPEX US\$/a	CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Preliminar	5.9	0.25	5,650,060	241,022
CEPT	17.8	3.1	17,129,501	2,988,668
Filtros Percoladores	28.8	0.7	27,732,207	674,861
Manejo de lodos	42.1	1.25	40,620,922	1,205,108
Desinfección	6.5	0.5	6,308,806	482,043
Total			97,441,495	5,591,702

7.3.2 Sistema Este

La Tabla 37 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de los interceptores para el Sistema Este.

Tabla 37 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Este

Interceptores			CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Interceptor Este	Túnel	39,455,564		
	Caída libre	0		
	Zanja abierta	1,361,392		
	Camaras acceso	41,510		
	Camaras túnel	2,610,563		
	Excavación en roca	1,632,678		
	Control de agua	816,339		
	Intererencias mayores	7,783		
	Reemplazar asfalto	114,153	46,039,982	680,981
Total			46,039,982	680,981

La Tabla 38 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de las EB y líneas de impulsión para el Sistema Este.

Tabla 38 Costos estimados CAPEX y OPEX EB e impulsiones de Sistema Este

Estaciones de Bombeo e Impulsiones				
EB Este		CAPEX US\$	OPEX US\$/a	
Caudal	0.4 m ³ /s	1,685,309	energía	338,830
Potencia	25 kW		personal/otro	169,415
			total	508,245
Impulsión		2,152,594		
Total		3,837,903		508,245

La Tabla 39 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Este.

Tabla 39 Costos estimados CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Este

Plantas de Tratamiento				
PTAR Este PE		362,053 domestica + Industrial		
Procesos	Costos Unitarios		Costos	
	CAPEX US\$	OPEX US\$/a	CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Preliminar	5.9	0.25	2,121,821	90,513
CEPT	17.8	3.1	6,432,805	1,122,363
Filtros Percoladores	28.8	0.7	10,414,540	253,437
Manejo de lodos	42.1	1.25	15,254,762	452,566
Desinfeccion	6.5	0.5	2,369,206	181,026
Total			36,593,134	2,099,905

7.3.3 Sistema Sur (Opción 1)

La Tabla 40 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de los interceptores para el Sistema Sur de la Opción 1.

Tabla 40 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Sur (Opción 1)

Interceptores				CAPEX(US\$)	OPEX(US\$/a)
Interceptor Mixco Sur					
M-S1-1	IV-2	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	35,583,755 1,028,784 2,922,002 69,720 1,841,000 1,581,382 790,691 13,073 191,730	44,022,135	651,134
M-S2-1	M-S1-4	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	14,181,703 551,729 0 0 901,250 589,337 294,669 0 0	16,518,688	244,329
M-S3-1	M-S1-5	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	16,809,337 0 0 0 1,055,250 672,373 336,187 0 0	18,873,148	279,154
M-S4-1	M-S3-3	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	2,596,721 101,832 0 0 357,000 107,942 53,971 0 0	3,217,466	47,590
Interceptor Guate Sur					
G-S1-1	G-S1-2	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	23,211,458 245,213 0 0 1,477,000 938,267 469,133 0 0	26,341,071	389,613
G-S2-1	IV-3	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	7,093,889 353,881 1,983,546 60,480 612,500 377,253 188,626 11,340 166,320	10,847,835	160,451
Interceptor Pinula					
		Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	7,166,961 0 4,589,524 143,668 384,825 470,259 235,130 26,938 395,087	13,412,392	198,384
Interceptor Platanitos					
		Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	12,934,363 0 9,175,293 235,200 630,000 884,386 442,193 44,100 646,800	24,992,335	369,663
Interceptor Villalobos					
		Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras túnel Excavación en tóca Control de agua Interferencias mayores Reemplazar asfalto	25,617,581 0 14,193,252 309,680 537,663 1,592,433 796,217 58,065 851,620	43,956,511	650,164
		Total		202,181,580	2,990,482

La Tabla 41 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de las EB y líneas de impulsión para el Sistema Sur de la opción 1.

Tabla 41 Costos estimados CAPEX y OPEX EB de Sistema Sur de la Opción 1

Estaciones de Bombeo				
PTAR Sur		CAPEX US\$	OPEX US\$/a	
Caudal	12.6 m ³ /s	35,810,966	energía	924,098
Potencia	7,978 kW		personal/otro	462,049
			total	1,386,147

La Tabla 42 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Sur de la opción 1.

Tabla 42 Costos estimados CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Sur de la Opción 1

Plantas de Tratamiento					
PTAR Sur		2,141,442 domestica Industrial			
Procesos		Costos Unitarios		Costos	
		CAPEX US\$	OPEX US\$/a	CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Preliminar		5.9	0.25	12,549,988	535,360
CEPT		17.8	3.1	38,048,277	6,638,470
Lodos Activados (NAP)		65.4	3.35	139,946,964	7,173,830
Manejo de Lodos		42.1	1.25	90,227,739	2,676,802
Desinfeccion		6.5	0.5	14,013,204	1,070,721
		Total		294,786,172	18,095,184

7.3.4 Sistema Sur (Opción 2)

La Tabla 43 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de los interceptores para el Sistema Sur de la Opción 2.

Tabla 43 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Sur (Opción 2)

Interceptores			CAPEX (US\$)	OPEX (US\$/a)
Interceptor Mixco Sur				
M-S1-1	IV-2	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	35,583,755 1,028,784 2,922,002 69,720 1,841,000 1,581,382 790,691 13,073 191,730	44,022,135 651,134
M-S2-1	M-S1-4	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	14,181,703 551,729 0 0 901,250 589,337 294,669 0 0	16,518,688 244,329
M-S3-1	M-S1-5	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	16,809,337 0 0 0 1,055,250 672,373 336,187 0 0	18,873,148 279,154
M-S4-1	M-S3-3	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	2,596,721 101,832 0 0 357,000 107,942 53,971 0 0	3,217,466 47,590
Interceptor Guate Sur				
G-S1-1	G-S1-2	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	23,211,458 245,213 0 0 1,477,000 938,267 469,133 0 0	26,341,071 389,613
G-S2-1	IV-3	Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	7,093,889 353,881 1,983,546 60,480 612,500 377,253 188,626 11,340 166,320	10,847,835 160,451
Interceptor Villalobos				
		Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	6,816,650 0 4,035,821 100,156 189,651 434,099 217,049 18,779 275,429	12,087,634 178,789
Sistema Sur (PTAR Cercanía Lago Amatitlán)				
Interceptor Pinula				
		Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	7,166,961 0 4,589,524 143,668 384,825 470,259 235,130 26,938 395,087	13,412,392 198,384
Interceptor Platanitos				
		Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	12,934,363 0 9,175,293 235,200 630,000 884,386 442,193 44,100 646,800	24,992,335 369,663
Interceptor Villalobos				
		Túnel Caída libre Zanja abierta Camaras acceso Camaras tunel Excavación en roca Control de agua Intererencias mayores Reemplazar asfalto	12,252,102 0 7,348,937 209,524 435,645 784,042 392,021 39,286 576,191	22,037,746 325,962
Total			192,350,450	2,845,069

La Tabla 44 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de las EB y líneas de impulsión para el Sistema Sur de la opción 2.

Tabla 44 Costos estimados CAPEX y OPEX EB de Sistema Sur de la Opción 2

Estaciones de Bombeo				
PTAR Sur 1 Opc 2		CAPEX US\$	OPEX US\$/a	
Caudal	8.0 m3/s	22,733,408	energía	1,173,369
Potencia	7,511 kW		personal/otro	586,685
			total	1,760,054
PTAR Sur 2 Opc 2		CAPEX US\$	OPEX US\$/a	
Caudal	8.8 m3/s	25,004,845	energía	645,840
Potencia	7,382 kW		personal/otro	322,920
			total	968,759
Total		47,738,253	2,728,813	

La Tabla 45 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de las PTAR de Sistema Sur de la opción 2.

Tabla 45 Costos estimados CAPEX y OPEX de las PTAR de Sistema Sur de la Opción 2

Plantas de Tratamiento				
PTAR Sur 1 Opc 2		PE 1,019,775 domestica Industrial		
Procesos	Costos Unitarios		Costos	
	CAPEX US\$	OPEX US\$/a	CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Preliminar	5.9	0.25	5,976,421	254,944
CEPT	17.8	3.1	18,118,944	3,161,301
Lodos Activados (N/A/P)	65.4	3.35	66,644,049	3,416,245
Manejo de lodos	42.1	1.25	42,967,290	1,274,718
Desinfección	6.5	0.5	6,673,218	509,887
Total			140,379,924	8,617,095
PTAR Sur 2 Opc 2		PE 1,121,667 domestica Industrial		
Procesos	Costos Unitarios		Costos	
	CAPEX US\$	OPEX US\$/a	CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Preliminar	5.9	0.25	6,573,567	280,417
CEPT	17.8	3.1	19,929,333	3,477,169
Lodos Activados (N/A/P)	65.4	3.35	73,302,915	3,757,585
Manejo de lodos	42.1	1.25	47,260,448	1,402,084
Desinfección	6.5	0.5	7,339,986	560,834
Total			154,406,248	9,478,089
Total			294,786,172	18,095,184

7.3.5 Sistema Amatitlán

La Tabla 46 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de los interceptores para el Sistema Amatitlán.

Tabla 46 Costos estimados CAPEX y OPEX Interceptores de Sistema Amatitlán

Interceptores		CAPEX US\$	OPEX US\$/a
Interceptor Amatitlán	Túnel	0	
	Caída libre	0	
	Zanja abierta	3,381,890	
	Camaras acceso	120,400	
	Camaras túnel	0	
	Excavación en roca	135,276	
	Control de agua	67,638	
	Intererencias mayores	22,575	
	Reemplazar asfalto	331,100	
		Total	4,058,878

La Tabla 47 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de las EB y líneas de impulsión para el Sistema Amatitlán.

Tabla 47 Costos estimados CAPEX y OPEX EB e impulsiones de Sistema Amatitlán

Estaciones de Bombeo e Impulsiones				
EB Amatitlán		CAPEX US\$	OPEX US\$/a	
Caudal	0.14 m ³ /s	601,900	energía	8,575
Potencia	18 kW		personal/otro	4,287
			total	12,862
Impulsión		527,676		
sub-total		1,129,576		12,862
PTAR Amatitlán		CAPEX US\$	OPEX US\$/a	
Caudal	1.5 m ³ /s	5,215,606	energía	91,757
Potencia	96 kW		personal/otro	45,879
			total	137,636
sub-total		5,215,606		137,636
Total		6,345,182		150,498

La Tabla 48 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Amatitlán.

Tabla 48 Costos estimados CAPEX y OPEX de la PTAR de Sistema Amatitlán

Plantas de Tratamiento					
PTAR Amatitlán		PE		192,312	domestica e Industrial
Procesos	Costos Unitarios		Costos		
	CAPEX US\$	OPEX US\$/a	CAPEX US\$	OPEX US\$/a	
Preliminar	5.9	0.25	1,127,048	48,078	
CEPT	17.8	3.1	3,416,915	596,166	
Filtros percoladores	28.8	1.7	5,531,895	326,930	
Manejo de lodos	42.1	1.25	8,102,877	240,390	
Desinfección	6.5	0.5	1,258,452	96,156	
Total			19,437,187	1,307,719	

7.3.6 Resumen de costos

La Tabla 49 resume los costos estimados de CAPEX y OPEX por componentes y sistemas de interceptación, impulsión y tratamiento.

Tabla 49 Costos estimados por sistema y componente

Sistema	Componente	Opcion 1		Opcion 2	
		CAPEX US\$ m	OPEX US\$ m/ano	CAPEX US\$ m	OPEX US\$ m/ano
Norte	Interceptores	188.6	2.79	188.6	2.79
	EB y impulsiones	7.5	0.54	7.5	0.54
	Plantas de f.tto	97.4	5.59	97.4	5.59
	Total	293.6	8.93	293.6	8.93
Este	Interceptores	46.0	0.68	46.0	0.68
	EB y impulsiones	3.8	0.51	3.8	0.51
	Plantas de f.tto	36.6	2.10	36.6	2.10
	Total	86.5	3.29	86.5	3.29
Sur	Interceptores	202.2	2.99	192.4	2.85
	EB y impulsiones	35.8	1.39	47.7	2.73
	Plantas de f.tto	294.8	18.10	294.8	18.10
	Total	532.8	22.47	534.9	23.67
Amatitlan	Interceptores	4.1	0.06	4.1	0.06
	EB y impulsiones	6.3	0.15	6.3	0.15
	Plantas de f.tto	19.4	1.31	19.4	1.31
	Total	29.8	1.52	29.8	1.52
MGCS TOTAL		942.6	36.2	944.7	37.4

Es importante entender que estos costos están costos de construcción y de operación, estimado basado en un diseño al nivel de pre-factibilidad y en costos unitarios al nivel de "benchmark". El nivel de certeza de estos costos debe considerarse +/- 25% en esta etapa.

7.3.7 Análisis preliminar de los costos

Los costos globales se comparten aproximadamente por igual entre la interceptación y el tratamiento de las aguas residuales, como se muestra en la Tabla 50.

Tabla 50 Costos totales por componente

Componente	Opcion 1		Opcion 2	
	CAPEX US\$ m	OPEX US\$ m/ano	CAPEX US\$ m	OPEX US\$ m/ano
Interceptores	440.9	6.5	431.1	6.4
EB y impulsiones	53.5	2.6	65.4	3.9
Plantas de f.tto	448.3	27.1	448.3	27.1
Total	942.6	36.2	944.7	37.4

Cabe esperar proporciones iguales de interceptación y tratamiento en una situación en la que ha habido una falta de inversión en saneamiento. Sin embargo, cada uno de estos componentes tiene un perfil de riesgo diferente. El tratamiento es un componente de riesgo relativamente bajo, debido a que los PTAR se construirán en sitios nuevos y utilizarán tecnología conocida. Existe cierta incertidumbre en torno a los flujos y cargas, y la geotecnia, pero las variaciones en estos no tendrán un gran impacto en los

costos. Por otro lado, los 160 km de sistemas interceptores tienen un alto grado de riesgo de costos relacionado con alcance, flujos, geotecnia, interferencias y disrupción social y empresarial.

Existe una pequeña diferencia en los costos estimados de CAPEX y OPEX entre las Opciones 1 y 2. Los costos menores de los interceptores en la Opción 2 se contrarrestan por la necesidad de un EB adicional en la entrada de PTAR Sur 1.

Si observamos las proporciones de interceptores a tratamiento para todas las sub-cuencas, podemos ver una amplia variación, como se muestra en la Tabla 51.

Tabla 51 Proporciones de costos por componente y sub-cuenca

Componente	Ratio/Total por Sistema							
	Norte	Este	Sur completo	Sur 1	Sur 2	Amatitlan	Total Opcion 1	Total Opcion 2
Interceptores	64.3%	53.2%	37.9%	44.7%	25.2%	13.6%	46.8%	45.6%
EB y Impulsiones	2.5%	4.4%	6.7%	7.7%	10.4%	21.3%	5.7%	6.9%
Plantas de fto	33.2%	42.3%	55.3%	47.6%	64.4%	65.1%	47.6%	47.4%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Estas comparaciones muestran que el Sistema Norte tiene una proporción relativamente alto de costo de interceptores para llevar todos los caudales a la PTAR. De las principales sub-cuencas, la sub-cuenca Sur 2 de la Opción 2 tiene la proporción más baja.

7.4 Otros costos

Además, hay una serie de otros costos que deben considerarse, por ejemplo:

- Estudios geológicos
- Estudio de caudales en los sistemas de alcantarillado existentes
- Contratación de una firma internacional como Program Manager
- Estudio de factibilidad confirmatorio
- EIA inicial
- Contratación de firmas consultores para preparar diseños
- Adquisición de tierra
- Conexión de electricidad a los sitios de EB y PTAR

La tabla 52 resume los costos estimados de cada uno de estos rubros.

Tabla 52 Costos estimados de otros rubros

OTROS COSTOS	Unido	Numero	Costo Unitario US\$	Costo Estimado US\$
Estudios geológicas	suma	1	500,000	500,000
Estudio de caudales en los sistemas de alcantarillado existentes	suma	1	300,000	300,000
Contratación de una firma internacional como Program Manager	mes	120	100,000	12,000,000
Estudio de factibilidad confirmatorio	suma	1	500,000	500,000
EIA inicial	suma	1	200,000	200,000
Contratación de firmas consultores para preparar diseños	suma	1	18,000,000	18,000,000
Adquisición de tierra EB y PTAR	hectarea	27.5	1,000,000	27,500,000
Conexión de electricidad a los sitios de EB y PTAR	sitio	7	300,000	2,100,000
			Total	61,100,000

7.5 Conclusiones

Se estima el costo del Programa de interceptores y tratamiento para el área de MGCS, en unos US\$ 1 mil millones, con un costo operativo de unos US\$ 40 millones por año.

En términos globales, los costos estimados del Programa son:

- CAPEX US\$ 300/PE
- OPEX US\$ 10/PE por año

Dado que el PIB per cápita es de alrededor de 4500 dólares estadounidenses por año y el ingreso medio del hogar alrededor de 3000 dólares estadounidenses por año, este programa debería ser asequible.

8 Hoja de Ruta Inicial

8.1 Priorización de inversión

Las inversiones estimadas representan una gran inversión para la nación y los 7 municipios. Su implementación deberá ser escalonada de acuerdo con la capacidad nacional para reembolsar la financiación de la deuda. Por lo tanto, el escalonamiento deberá considerar cuál de los problemas ambientales y sociales (salud pública) actuales debe solucionarse primero.

Las áreas de mayor prioridad que se identificaron en el diagnóstico son:

- Contaminación del Río Molino/Panzalic, donde los niveles de contaminantes representan una alta amenaza para la salud pública.
- Contaminación del lago Amatitlán que ha resultado en la hiper-eutrofización y la ruina de un bien natural nacional y una amenaza para la salud pública.

Eso no quiere decir que la contaminación del río Las Vacas en el norte sea aceptable, solo que probablemente sea de menor prioridad. En los casos de los sistemas Norte y Este, la prioridad puede ser implementar los sistemas interceptores para alejar la contaminación del área urbana.

Otro desafío es la cantidad de trabajo de construcción que se puede realizar en el entorno urbano en el sistema interceptor. Incluso si gran parte del sistema se construyera con túneles, será necesario escalonar la construcción para limitar la interrupción de las cuidanos, las empresas y el transporte.

Esto sugiere que en las áreas con grandes sistemas de interceptores (Norte y Sur), la implementación debe escalarse. Por lo anterior, las PTAR asociados con esos sistemas también deben escalarse, no solo en la implementación sucesiva de las etapas de tratamiento, sino también en el tamaño de la PTAR.

8.2 Una hoja de ruta inicial como ejemplo

Esta lógica conduce a un posible enfoque por **fases** del Programa y **etapas** de componentes.

La primera fase debería centrarse en los dos peligros para la salud pública más urgentes en el Río Molino/Panzalic y el lago Amatitlán. Esto implica que una gran proporción de los interceptores en Mixco y Sur de Guatemala deben ser construidos; asimismo la reducción de la carga que fluye al lago Amatitlán debe ser iniciado. En este caso, la Opción preferida será la Opción 2, con la construcción de la primera etapa de PTAR Sur 1.

Al mismo tiempo, es importante comenzar a desplazar la contaminación urbana en los sistemas Norte y Este lejos de las áreas densamente pobladas, construyendo parte de los sistemas interceptores.

Tabla 53 Costos Estimados Fase 1

FASE	Etapa	Sistemas	Tramo	Parcial	Tratamiento	Parcial	Costo CAPEX US\$
Interceptores Sur	Etapa 1	Mixco Sur	M-S1-1	IV-2			44,022,135
			M-S2-1	M-S1-4			16,518,688
		Guate Sur	Completo			37,188,906	
		Villalobos (arriba)	Completo			12,087,634	
Interceptores Norte	Etapa 1	Interceptor Norte		50%			68,294,603
		Colector Central	Completo			13,625,781	
		Colector Mixco	Completo			25,153,788	
		EB Mixco	Completo			7,484,689	
Interceptores Este	Completo					46,039,982	
PTAR Sur	Etapa 1				EB	75%	17,050,056
					Preliminar	75%	4,482,316
					Primario	75%	13,589,208
					Lodos	75%	32,225,468
						Total Construcción	337,763,255
						Otros	50% 30,550,000
						Total Fase 1	368,313,255

Luego, la **segunda fase** debe continuar abordando la contaminación urbana y comenzar a tratar las aguas residuales en los sistemas Norte y Este.

Tabla 54 Costos Estimados Fase 2

FASE	Etapa	Sistemas	Tramo	Parcial	Tratamiento	Parcial	Costo CAPEX US\$
Interceptores Sur	Etapa 2	Mixco Sur	M-S3-1	M-S1-5			18,873,148
			M-S4-1	M-S3-3			3,217,466
		Villalobos (abajo)	Completo			22,037,746	
		Pinula	Completo			13,412,392	
		Platanitos	50%			12,496,167	
PTAR Sur	Etapa 2				EB	25%	5,683,352
					Preliminar	25%	1,494,105
					Primario	25%	4,529,736
					Lodos	25%	10,741,823
					Secundario	100%	66,644,049
			Desinfeccion	100%	6,673,218		
PTAR Sur	Etapa 1				EB	90%	22,504,361
					Preliminar	90%	5,916,210
					Primario	90%	17,936,400
					Lodos	90%	42,534,403
PTAR Norte	Etapa 1				Preliminar	75%	4,237,545
					Primario	75%	12,847,125
					Lodos	75%	30,465,692
PTAR Este	Etapa 1				Preliminar	75%	1,591,366
					Primario	75%	4,824,604
					Lodos	75%	11,441,072
						Total Construcción	320,101,979
						Otros	35% 21,385,000
						Total Fase 2	341,486,979

Una tercera fase traerá un tratamiento secundario a todos los PTAR y completará el gran sistema interceptor en el norte y todo del sistema Amatitlán.

Tabla 55 Costos Estimados Fase 3

FASE	Etapa	Sistemas	Tramo	Parcial	Tratamiento	Parcial	Costo CAPEX US\$
Interceptores Sur	Etapa 3	Platanitos	50%				12,496,167
Interceptores Norte	Etapa 2	Interceptor Norte	50%				68,294,603
		Colector Mixco	Completo				13,260,836
Interceptor Este	Etapa 2	EB	Completo				3,837,903
Interceptor Amatitlan	Etapa 1	Interceptor EB	Completo				4,058,878
							1,129,576
PTAR Sur	Etapa 2				EB	10%	2,500,485
					Preliminar	10%	657,357
					Primario	10%	1,992,933
					Lodos	10%	4,726,045
					Secundario	100%	73,302,915
					Desinfeccion	100%	7,339,986
PTAR Norte	Etapa 2				Preliminar	25%	1,412,515
					Primario	25%	4,282,375
					Lodos	25%	10,155,231
					Secundario	100%	27,732,207
					Desinfeccion	100%	6,308,806
					PTAR Este	Etapa 2	
Primario	25%	1,608,201					
Lodos	25%	3,813,691					
Secundario	100%	10,414,540					
Desinfeccion	100%	2,369,206					
PTAR Amatitlan	Etapa 1						
					Preliminar	100%	1,127,048
					Primario	100%	3,416,915
					Lodos	100%	8,102,877
					Secundario	100%	5,531,895
					Desinfeccion	100%	1,258,452
						Total Construcción	286,877,702
						Otros 15.0%	9,165,000
						Total Fase 3	296,042,702

8.3 Cronograma de implementación

Lo anterior es solo una hoja de ruta posible. Su cronograma de implementación dependerá principalmente del acceso al financiamiento, pero es poco probable que se pueda implementar el Programa en menos de 10 años.



Anexo 1

Diagnóstico

Elaboración de una hoja de ruta para el diseño e implementación de un Programa de Saneamiento ambiental de los municipios que integran la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGSC)

**Informe de Avance
Soluciones de Saneamiento**

Contenido

1	Introducción	12
2	Objetivo del Informe	15
3	Metodología Preparación del Diagnóstico	16
3.1	Recopilación de Información y revisión de literatura	16
3.2	Encuesta con las instituciones relacionadas con el Proyecto	18
3.3	Revisión de Gabinete de Información Recopilada y Preparación de Diagnóstico.....	18
3.3.1	Revisión de Gabinete de Información Recopilada y elaboración del diagnóstico	18
4	Justificación del Estudio de Formulación de hoja de ruta para el saneamiento de la MGCS....	18
5	Contexto del proyecto	21
5.1	Ubicación Geográfica y Política.....	21
5.2	Delimitación del área de estudio	23
5.2.1	Principales cuerpos de agua.....	24
5.3	Desarrollo urbano MGCS.....	25
5.4	Principales actividades socioeconómicas	32
5.4.1	Amatitlán.....	34
5.4.2	Mixco	34
5.4.3	San Miguel Petapa.....	34
5.4.4	Santa Catarina Pinula	35
5.4.5	Villa Nueva.....	35
5.4.6	Guatemala	36
5.4.7	Villa Canales	36
5.5	Hidrografía	37
5.6	Topografía.....	40
5.7	Geología.....	48
5.8	Clima	49
5.9	Suelos.....	51
5.10	Situación General de los Desechos Sólidos en el Área Metropolitana de Guatemala.	55
5.10.1	Gestión de residuos sólidos.....	56
6	Aspectos regulatorios.....	58
6.1	Desarrollo Histórico del Sector	58
6.2	Marco Legal e Institucional Actual del Sector de Agua y Saneamiento	59
6.2.1	Prestación y Administración de los Servicios	59
6.2.2	Políticas Sanitarias y Normativa.....	60
6.2.3	Conclusiones y Retos de Aspectos Regulatorios	65
7	Prestación del servicio.....	66

7.1	Aspectos Generales de la Prestación del Servicio.....	66
7.2	Santa Catarina Pinula	68
7.2.1	Aspectos Institucionales.....	68
7.2.2	Aspectos Tarifarios	70
7.3	San Miguel Petapa	70
7.3.1	Aspectos Institucionales.....	70
7.3.2	Aspectos Tarifarios	72
7.4	Villa Canales	73
7.4.1	Aspectos Institucionales.....	73
7.4.2	Aspectos Tarifarios	76
7.5	Amatitlán.....	76
7.5.1	Aspectos Institucionales.....	76
7.5.2	Aspectos Tarifarios	78
7.6	Villa Nueva	78
7.6.1	Aspectos Institucionales.....	78
7.6.2	Aspectos Tarifarios	80
7.7	Mixco	81
7.7.1	Aspectos Institucionales.....	81
7.7.2	Aspectos Tarifarios	82
7.8	Balance regional de operación anual MGCS agua potable	83
7.9	Análisis de la prestación de los servicios	84
7.10	Retos Identificados.....	86
8	Informe de Diagnóstico de Ríos	86
8.1	Diagnóstico Ríos de la zona de influencia.....	86
8.1.1	Cuenca Sur.....	86
8.1.2	Cuenca Norte.....	108
8.1.3	Conclusiones.....	110
8.2	Retos	111
9	Diagnóstico del Lago Amatitlán.	111
9.1	Calidad de Agua en el Período 2008-2014.....	112
9.2	Clasificación de Calidad del lago.....	115
9.2.1	Clasificación basada en el Índice de Eutrofización.....	115
9.2.2	Clasificación basada en el índice ICA.....	117
9.3	Calidad de Agua en el Período 2017-2019.....	118
9.4	Características del Lago Amatitlán en Monitoreo del año 2019	121
10	Agua Potable	126
10.1	Santa Catarina Pinula.....	126
10.2	San Miguel Petapa	126

10.3	Villa Canales	127
10.4	Amatitlán	127
10.5	Villa Nueva.....	128
10.6	Mixco.....	128
10.7	Municipio de Guatemala.....	130
10.8	Revisión de Impactos y uso a nivel regional	133
10.8.1	Impactos sobre el recurso hídrico	133
10.8.2	Identificación de Retos.....	134
11	Alcantarillado Sanitario y Tratamiento	134
11.1	Municipalidad de Santa Catarina Pinula	135
11.2	Municipalidad de San Miguel Petapa	139
11.3	Villa Canales	142
11.4	Amatitlán	145
11.5	Villa Nueva.....	148
11.6	Mixco.....	153
11.7	Alcantarillado y Saneamiento Guatemala.....	156
11.8	Visión Global y Retos	166
11.9	Problemas identificados y retos	172
11.10	Retos Identificados.....	173
12	Proyectos y Planes Maestros Propuestos.....	174
12.1	Análisis y Retos	189
13	Conclusiones y Resumen de Retos	191
	Bibliografía	194
	ANEXO 1. Información Solicitada a Municipalidades.....	197
	ANEXO 2. Análisis Realizado por Triana	201

Tablas

Tabla 1	Población, Superficie y Densidad de Municipios de la MGCS.....	13
Tabla 2	Objetivo No 6 de Desarrollo Sostenible PNUD	19
Tabla 3	Impactos relacionados con la Falta de Saneamiento	20
Tabla 4	Población departamento de Guatemala año 2020	22
Tabla 5	Extensión territorial de la MGCS	24
Tabla 6	Área de estudio por cuenca, por municipio.....	24
Tabla 7	Proyección de la población en un período de 100 años	27
Tabla 8	Población del Municipio de Guatemala y de la MGCS 2015 - 2035.....	28
Tabla 9	Cobertura vegetal y uso de la tierra en el departamento de Guatemala	51
Tabla 10	Información de los Vertederos del Área Metropolitana de Guatemala	56

Tabla 11. Cantidad de desechos sólidos urbanos depositados diariamente en el vertedero de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala.....	56
Tabla 12. Cantidad de desechos sólidos urbanos depositados diariamente en el vertedero del km 22 CA-09 Sur.....	57
Tabla 13 Límites Máximos Permisibles de Descargas a Cuerpos Receptores para Aguas Residuales Municipales.....	64
Tabla 14 Matriz de Ingresos/Egresos por distribución de agua Potable Municipio de Santa Catalina Pinula, 2015.....	70
Tabla 15 Matriz de Ingresos Municipalidad de Villa Nueva, 2015	80
Tabla 16 Matriz de Egresos Municipalidad de Villa Nueva, 2015.....	80
Tabla 17 Integración de pago por m3 de agua suministrada al vecino	83
Tabla 18 Balance de ingresos y egresos de operación anual MGCS	83
Tabla 19 Puntos de muestreo mensuales cuenca Lago Amatitlán.....	89
Tabla 20 Concentración promedio de metales pesados río Pinula	93
Tabla 21 Concentración promedio de metales pesados río Platanitos.....	95
Tabla 22 Concentración promedio de metales pesados río Pansalic.....	99
Tabla 23 Concentración promedio de metales pesados río Villalobos	101
Tabla 24 Resumen de caudales medios aportantes al río Villalobos	102
Tabla 25 Resumen de las concentraciones de DBO y DQO de ríos de la cuenca del lago Amatitlán... ..	103
Tabla 26 Resumen de las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo de ríos de la cuenca del lago Amatitlán	104
Tabla 27 Resumen de cargas orgánicas y de nutrientes río Villalobos	107
Tabla 28 Porcentaje aportante de cargas orgánicas y de nutrientes ríos tributarios.....	107
Tabla 29 Calidad Físico-Química del río Las Vacas	109
Tabla 30 Clasificación ISQA.....	109
Tabla 31 Datos Físico-químicos Estación Punto Este Lago Amatitlán (2008-2014)	113
Tabla 32 Datos Físico-químicos Estación Punto Oeste Lago Amatitlán (2008-2014).....	113
Tabla 33 Datos Físico-químicos Estación Descarga Río Villalobos (2008-2014)	114
Tabla 34 Valores de Clasificación de índice de Carlson.....	116
Tabla 35 Estado de Eutrofización Estación Oeste Centro Período 2008-2013.....	116
Tabla 36 Estado de Eutrofización Estación Este Centro Período 2008-2013	117
Tabla 37 Clasificación calidad del agua Método ICA.....	117
Tabla 38 Clasificación Calidad de Agua Índice ICA Lago Amatitlán (2008-2014).....	118
Tabla 39 Valores de Clasificación de índice de Carlson Modificado Lamparelli, 1977	118
Tabla 40 Contaminantes encontrados en pozos de suministro de agua para consumo humano, Municipio Mixco, Guatemala	129
Tabla 41 Resultados monitoreo de arsénico en.....	130

Tabla 42 Producción de agua por sistema de captación y planta de tratamiento de EMPAGUA (2016).	131
Tabla 43 Consumo promedio por usuario y persona al mes de agua potable en la ciudad de Guatemala	132
Tabla 44 Ubicación de PTAR Santa Catalina Pinula	136
Tabla 45 Calidad del agua residual de las plantas de tratamiento en operación del municipio de Santa Catarina Pinula	136
Tabla 46 Calidad del agua residual de las plantas de tratamiento sin operación del municipio de Santa Catarina Pinula	137
Tabla 47 Cumplimiento de plantas fuera de operación con AG 236-2006	137
Tabla 48 Características de las Aguas Residuales Crudas de Entrada a las PTAR, Santa Catalina Pinula	138
Tabla 49 Carga de Demanda Bioquímica de Oxígenos en desfogue de las plantas de tratamiento municipales.....	138
Tabla 50 Caracterización de descargas de aguas residuales a cuerpos de agua, San Miguel Petapa.	140
Tabla 51 Características de las Aguas Residuales San Miguel Petapa	142
Tabla 52 Características del Afluente PTAR's de Villa Canales, 2017	143
Tabla 53 Caracterización afluente PTAR's Villa Canales, 2019 y 2020	143
Tabla 54 Características de las aguas residuales crudas, Villa Canales	144
Tabla 55 Características de los desfogues no controlados identificados, Villa Canales	144
Tabla 56 Caracterización de desfogues sin control.	146
Tabla 57 Metales pesados detectables en muestras de puntos de descarga	147
Tabla 58 Carga de DBO5.....	147
Tabla 59 Plantas de tratamiento Municipio de Villa Nueva.....	148
Tabla 60 Cobertura por tipo de operador	149
Tabla 61 Inventario de Desfogues a Zanjones y fosas, Villa Nueva.....	149
Tabla 62 Ubicación de desfogues a 8 PTAR's, Villa Nueva	149
Tabla 63 Caracterización del Afluente en Grupos controlados.....	150
Tabla 64 Caracterización del Afluente en Grupos no controlados.....	151
Tabla 65 Caracterización de aguas residuales Villa Nueva.....	152
Tabla 66 Monitoreo AMSA de 5 PTAR en Villa Nueva, 2019 - 2020.....	152
Tabla 67 Eficiencia de Plantas de Tratamiento muestreadas.....	153
Tabla 68 Resultados de muestreo de desfogues directos a ríos y quebradas, Municipio de Mixco, 2017.	154
Tabla 69 Concentraciones de Arsénico en muestreo para Informe Técnico de Municipio de Mixco, 2015	154
Tabla 70 Características del afluente de PTAR's Municipio de Guatemala	158
Tabla 71 Porcentaje de áreas municipales en cuencas de los ríos en el área del proyecto	160

Tabla 72 Plantas de Tratamiento Privadas Municipio de Guatemala	161
Tabla 73 Estimación de Consumo Promedio de Agua y Generación de Aguas Residuales por Zona, 2016	162
Tabla 74 Descargas por cuenca de drenaje	165
Tabla 75 Plantas de Tratamiento MGCS	166
Tabla 76 Características de las Aguas Residuales Crudas de las Municipalidades de la MGCS	166
Tabla 77 Número de muestra por municipio	167
Tabla 78 Resultados del monitoreo de 103 muestras de desfogues de aguas residuales en la MGCAS	167
Tabla 79 Valores promedios de concentración de parámetros de aguas residuales crudas, MGCS	167
Tabla 80 Desfogues de aguas residuales en quebradas y cuerpos de agua Cuenca Sur	168
Tabla 81 Entes generadores de aguas residuales Cuenca Sur MGCS	168
Tabla 82 Estimado del porcentaje de tratamiento de aguas residuales MGCS	170
Tabla 83 Estimación de cargas totales de DBO5, MGCS	171
Tabla 84 Costos de Manejo de Aguas Residuales, Plan Maestro 1996 actualizado a 1998	177
Tabla 85 Colectoras de la Ciudad de Guatemala que se sitúan en la cuenca sur	180
Tabla 86 Proyectos considerados PLANDEAMAT y Plan de Control del Lago Amatitlán y el Río Villalobos	180
Tabla 87 Colectores Interceptores de Aguas Residuales	184
Tabla 88 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuestas	184
Tabla 89 Inversión Anual Préstamo e Ingresos por tasa municipal (Quetzales)	185
Tabla 90 Propuesta de Plantas de Tratamientos de Agua Residual, MGCS	185

Ilustraciones

Ilustración 1 Municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur	12
Ilustración 2 Principales Causas de Desnutrición Infantil	20
Ilustración 3 Mapa político de Guatemala	22
Ilustración 4 Escudos de las 7 ciudades de la MGCS	23
Ilustración 5 Principales ríos en el área de estudio	25
Ilustración 6 Distribución de viviendas por municipio de la MGCS	26
Ilustración 7 Distribución de los tipos de vivienda existente en la MGCS	26
Ilustración 8 Tasa de crecimiento anual a nivel de la República	28
Ilustración 9 Tasa de crecimiento anual a nivel de la MGCS	29
Ilustración 10 Distribución de la población por área urbana y rural a nivel nacional, censos de 2002 y 2018	29
Ilustración 11 Población Urbana y Rural MGCS Censo 2018	30

Ilustración 12 Evolución de los hogares y promedio de personas por hogar, censos 1981, 1994, 2002 y 2018.....	30
Ilustración 13 Fuente principal de agua para consumo a nivel de la MGCS	31
Ilustración 14 Uso de servicio sanitario en la MGCS	31
Ilustración 15 Forma principal de eliminación de la basura a nivel de la MGCS	32
Ilustración 16 Dependencia de los Grupos Económicos para la Zona 10: Agroindustria y Maquilas.	33
Ilustración 17 Ubicación de Minas en el Departamento de Guatemala	34
Ilustración 18 Tipos de empleo de acuerdo con el empleador para el municipio de Villa Nueva.	36
Ilustración 19 Mapa Hidrográfico del área de Influencia	39
Ilustración 20 Mapa topográfico de MGCS	40
Ilustración 21 Mapa Topográfico Amatitlán	41
Ilustración 22 Mapa Topográfico Mixco	42
Ilustración 23 Mapa Topográfico San Miguel Petapa	43
Ilustración 24 Mapa Topográfico Santa Catalina Pinula	44
Ilustración 25 Mapa Topográfico Villa Nueva.....	45
Ilustración 26 Mapa Topográfico Municipio de Guatemala	46
Ilustración 27 Mapa Topográfico Municipio de Villa Canales	47
Ilustración 28 Mapa geológico superficial y fallas de la región metropolitana	49
Ilustración 29 Promedio de temperatura y precipitación en Guatemala	50
Ilustración 30 Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del departamento de Guatemala, MAGA, 2015	52
Ilustración 31 Mapa de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso departamento de Guatemala	54
Ilustración 32 Ubicación de los Vertederos en el Área Metropolitana de Guatemala.....	55
Ilustración 33 Direcciones de Agua y Saneamiento, de Obras y Servicios Públicos	69
Ilustración 34 Dirección de Servicios Públicos.....	71
Ilustración 35 Direcciones relacionados con los servicios de agua y saneamiento	73
Ilustración 36 Organización del Departamento de Agua y Saneamiento	75
Ilustración 37 Direcciones y Departamentos Asociados a los Servicios de Agua	77
Ilustración 38 Direcciones y Departamentos Asociados a los Servicios de Agua	79
Ilustración 39 Gerencias relacionadas a los servicios de agua y saneamiento de Municipalidad de Mixco	81
Ilustración 40 Dirección de Agua y Drenajes	82
Ilustración 41 Cuenca Sur y Tributarios	87
Ilustración 42 Mapa con ubicación de puntos de muestreo.....	89
Ilustración 43 Caudal mensual río Frutal período enero-noviembre 2019.....	90
Ilustración 44 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Frutal período enero-noviembre 2019 ..	90

Ilustración 45 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Frutal período enero-noviembre 2019.....	91
Ilustración 46 Caudal mensual río Pinula período enero-noviembre 2019.....	92
Ilustración 47 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Pinula período enero-noviembre 2019 .	92
Ilustración 48 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Pinula período enero-noviembre 2019.....	93
Ilustración 49 Caudal mensual río Platanitos período enero-noviembre 2019	94
Ilustración 50 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Platanitos período enero-noviembre 2019	94
Ilustración 51 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Platanitos período enero-noviembre 2019.....	95
Ilustración 52 Caudal mensual río San Lucas período enero-noviembre 2019.....	96
Ilustración 53 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río San Lucas período enero-noviembre 2019	96
Ilustración 54 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Platanitos enero-noviembre 2019.....	97
Ilustración 55Caudal mensual río Pansalic período enero-noviembre 2019	97
Ilustración 56 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Pansalic período enero-noviembre 2019	98
Ilustración 57 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Pansalic período enero-noviembre 2019.....	98
Ilustración 58 Caudal mensual río Villalobos período enero-noviembre 2019	99
Ilustración 59 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Villalobos período enero-noviembre 2019	100
Ilustración 60Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Villalobos enero-noviembre 2019.....	100
Ilustración 61 Caudales promedios, máximos y Mínimos Cuenca Río Villalobos	101
Ilustración 62 Resumen de las concentraciones de oxígeno disuelto de ríos de la cuenca del lago Amatitlán, 2019.....	102
Ilustración 63 Resumen de las concentraciones de oxígeno disuelto promedios de ríos de la cuenca del lago Amatitlán, 2018.....	103
Ilustración 64Concentraciones de DBO y DQO en ríos tributarios del Villalobos, 2018.....	104
Ilustración 65 Metales Pesados ríos cuenca del Lago Amatitlán, 2018.....	105
Ilustración 66 Concentración promedio de metales pesados ríos Cuenca Villalobos, 2019	105
Ilustración 67 Concentraciones de Coliformes Fecales en Millones de UFC/100ml	106
Ilustración 68 Concentraciones de Coliformes Fecales NMP/100 ml, 2018	106
Ilustración 69 Cuenca del Río Motagua INAB, MAGA, IGN 2003	108
Ilustración 70 Estado de contaminación de ríos Cuenca Norte	110
Ilustración 71 Puntos de muestreo del monitoreo de calidad del agua del lago de Amatitlán.	112

Ilustración 72 Registro de la concentración de DBO ₅ Período 2008-2014	114
Ilustración 73 Registro de la concentración de Fósforo Total Período 2008-2014.....	115
Ilustración 74 Registro de la concentración de Nitrógeno total Período 2008-2014.....	115
Ilustración 75 Valores del Índice de Carlson 2017 – 2018 Lago Amatitlán	119
Ilustración 76 Estado trófico Estaciones Este y Oeste Centro Lago Amatitlán 2019	120
Ilustración 77 Concentración de Coliformes Fecales Lago Amatitlán, año 2019	121
Ilustración 78 Cianobacterias en Playa Pública, mayo, 2018	124
Ilustración 79 Valor paisajístico del Lago Amatitlán.....	125
Ilustración 80 Ubicación de las PTAR Municipio Santa Catalina Pinula.....	135
Ilustración 81 Puntos de descarga San Miguel Petapa	141
Ilustración 82 Ubicación de desfogues seleccionados para caracterización de las aguas residuales ...	146
Ilustración 83 Entes generadores, Municipio de Villa Nueva.....	150
Ilustración 84 Localización de las principales industrias en el Municipio de Mixco	155
Ilustración 85 Desfogues en una zona de Ciudad de Mixco.....	156
Ilustración 86 Colector del Oriente y secundarios, Ciudad de Guatemala	157
Ilustración 87 Cuencas del Municipio de Guatemala	159
Ilustración 88 Área directa tributaria en caudales a la Cuenca Sur	160
Ilustración 89 Ubicación de Plantas de Tratamiento Privada, Municipio de Guatemala	161
Ilustración 90 Descargas de Drenaje Ciudad de Guatemala.....	163
Ilustración 91 Inventario de descargas por diámetro de tubería.....	164
Ilustración 92 Sitio de Toma de Muestras 2018.....	165
Ilustración 93 Ubicación de Entes Generadores de Aguas Residuales Cuenca Sur	169
Ilustración 94 Ubicación de Industrias generadoras de Aguas Residuales. Cuenca Sur.....	169
Ilustración 95 Sistema propuesto de manejo de aguas residuales.....	176
Ilustración 96 Área propuesta Actualización y Ampliación del Plan de Manejo de Aguas Residuales ..	178
Ilustración 97 Propuesta de PTAR y cuencas aportantes, MGCS.....	186
Ilustración 98 Ubicación de sitios propuestos de PTAR Cuenca Sur Ciudad de Guatemala	187
Ilustración 99 Ubicación de PTAR en la Cuenca Norte	188
Ilustración 100 Ubicación de sitios propuestos de PTAR Cuenca Sur Ciudad de Guatemala.....	188

Acrónimos

AG	Acuerdo Gubernativo
AMSA	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Amatitlán
ArcGIS	Programa de procesamiento de información georreferenciada
AyG	Aceites y grasas
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CEUR	Centro de Estudios Urbanos y regionales
CLA	Cuenca del Lago Amatitlán
COCODES	Consejo de Comunitarios de Desarrollo
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda química de oxígeno
DQO/DBO	Relación Demanda Bioquímica/Demanda Química de Oxígeno
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala
EPS	Unidad de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la USAC
FUNCAGUA	Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana
GUATECOMPRAS	Método de compras
ICA	Índice de Clasificación de Calidad de lagos y ríos
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
INFOM	Instituto de Fomento de Obras Municipales
IWWM	Integrated Water and Wastewater Management
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Administración
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MARN - DIGARN	Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales del MARN
MARN - DIGCL	Dirección General de Cumplimiento Legal
MARN - DIGCN	Dirección General de Coordinación Nacional
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MGCS	Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
MINFIN	Ministerio de Finanzas Públicas
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
NSF	National Science Foundation
Nt	Nitrógeno total
PCC	Modelo de cambio climático

PCC	Plan de Control de la Contaminación del Lago Amatitlán y el río Villalobos
PLAN MAESTRO 2016	Estudios sobre el mejoramiento del Manejo de Aguas Residuales en el Área Metropolitana de Guatemala, 1996
PLAN MARCO	Plan Marco de Manejo de Aguas Residuales
PLANDEAMAT	Plan Maestro Integrado de la cuenca del Lago Amatitlán
POA	Plan Operativo Anual
POT	Planes de ordenamiento territorial
PRACLA	Programa de Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago Amatitlán
PRENADES	Programa Regional de Desechos Sólidos
Pt	Fósforo total
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia
SIAF	Sistema Integrado de Información Financiera
SICOINGR	Sistema de Inversión de Compras en línea para Transparencia de gasto
SIG o GIS	Sistema de Información Geográfica
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UEEA	Unidad Especial de Ejecución Administrativa para el Control del Agua
USAC	Universidad de San Carlos
WCS	Wildlife Conservation Society

Estos estudios se han financiado con recursos de la Comisión Europea a través de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Las opiniones expresadas en él no reflejan necesariamente la opinión oficial de la Unión Europea ni de la AECID o el BID.

1 Introducción

El Gobierno de Guatemala ha solicitado al BID recursos de cooperación técnica no reembolsable para apoyar en la realización de un Proyecto de Manejo Integrado de las Aguas Residuales de los municipios de Guatemala, Amatitlán, Villanueva, Mixco, Villa Canales, Santa Catarina Pinula y San Miguel Petapa, que comprenden la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGSC).

Los recursos para elaborar estos trabajos proceden de la Facilidad de Inversiones para América Latina (LAIF) de la Unión Europea. En el marco de este instrumento de financiamiento, la Unión Europea firmó con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) un Acuerdo de Delegación para la ejecución del proyecto regional “Promover la adaptación al cambio climático y la gestión integral de los recursos hídricos en el sector de agua y saneamiento en América Latina en el marco del Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS)”, el cual establece que las actividades relacionadas con asistencias técnicas serán ejecutadas a través del BID. El presente documento hace parte de la Cooperación Técnica “Apoyo al desarrollo de estrategias para incentivar un tratamiento óptimo de las aguas residuales”.

Como resultado de esta gestión, el BID ha contratado los servicios de esta consultoría, la cual se ejecuta en dos fases, la primera fase es la preparación de un diagnóstico de la situación de saneamiento de los territorios de la MGCS y los cuerpos de agua receptores o ríos y lagos en el área de influencia.

La siguiente Ilustración, muestra los municipios de la MGCS los cuales son los siguientes:

- Ciudad de Guatemala
- Municipio de Mixco
- Municipio de Villa Nueva
- Municipio de San Miguel Petapa
- Municipio de Santa Catalina Pinula
- Municipio de Villa Canales
- Municipio de Amatitlán

Ilustración 1 Municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur



De acuerdo a sus estatutos la MGCS es una entidad autónoma, que se creó en el año 2012 con 6 municipalidades a las cuales se unió la municipalidad de Guatemala en el año 2019 consolidando toda la zona metropolitana para promover el desarrollo económico y sostenible de la región, fortaleciendo las capacidades de las Municipalidades con el apoyo del sector público, privado, bancos de desarrollo y comunidad local. Para brindar apoyo técnico a las municipalidades, la MGCS

ha conformado las Mesas de Competitividad, de Cultura, de Seguridad, de Agua y Saneamiento, de Ordenamiento Territorial y de Reforestación.

La población de la MGCS, según el Censo de Población y Vivienda del 2018 es de 2,311,061 habitantes que es aproximadamente el 15 % de la población del país. El 97% de la población es urbana y solo el 3% es rural. El área que ocupan los municipios de la MGCS es de aproximadamente 1,102 km² para una densidad promedio de 1,097 Hab/Km², la más alta del país. Ver Tabla 1. En la zona se estima están instaladas el 25 % de las industrias del país.

Tabla 1 Población, Superficie y Densidad de Municipios de la MGCS

Municipio	Población Censo 2018	Area (Km²)	Densidad Poblacional Hab/Km²
Guatemala	923,392	228	4,050
Santa Catarina Pinula	80,582	48	1,679
Mixco	465,773	132	3,529
Amatitlán	116,711	204	572
Villa Nueva	433,734	114	3,805
Villa Canales	155,422	353	440
San Miguel Petapa	135,447	23	5,889
Total	2,311,061	1 102	2,097

La situación de saneamiento se ha agravado en las últimas décadas con el crecimiento acelerado del área metropolitana de Guatemala a nivel poblacional, industrial y agrícola, lo cual ha generado la producción de un volumen considerable de desechos sólidos y líquidos, que a la fecha son incontrolables. En el caso de las aguas residuales municipales e industriales las descargas crudas o semi tratadas han contaminado los ríos, lagos y lagunas existentes con niveles de contaminación elevados. Estos desechos son drenados diariamente por los distintos cauces que fluyen hacia los cuerpos receptores, generando una contaminación masiva de las aguas. El problema ha ido en aumento por la falta de planes de ordenamiento territoriales lo que ha provocado un crecimiento en asentamientos, industrias y actividades agrícolas en el área de influencia sin la toma de las medidas necesarias para evitar el daño al medio ambiente.

Las leyes de Guatemala establecen la obligatoriedad de las municipalidades para distribuir en sus redes agua potable para consumo humano (Norma COGUANOR NTG 29 001, Artículo 79 del Código de Salud Decreto 90-97). Asimismo, las leyes, también establecen la obligatoriedad de las municipalidades de proveer sistemas de tratamiento de las aguas residuales previa descarga a un cuerpo receptor. (AG 236-2006, 110, 2016 y 138-2017) El acuerdo 236-2006 y 138-2017 obliga a las municipalidades a realizar estudios técnicos, así como el control e inventario de todas las redes de alcantarillado sanitario y de todas las descargas sin tratamiento.

El abastecimiento de agua potable proviene mayoritariamente de gran cantidad de pozos mecánicos. La sobreexplotación del acuífero ha bajado el nivel freático, de manera que la profundidad media de los pozos de abastecimiento en algunos municipios se ha incrementado entre 120 a 400 pies¹.

¹ Análisis Piezométrico de Pozos de Agua para los Municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, FuncAgua, Marzo 2019

Según algunos estudios², el servicio del agua para consumo humano es racionado para algunos sectores en los municipios del sur del departamento de Guatemala, y la calidad del agua al menos en algunos pozos de la municipalidad de Mixco, mostró contaminantes con predominio de nitratos.

La hidrología del área metropolitana está dividida en dos cuencas principales con numerosos ríos y quebradas tributarias que hacen difícil la topografía de la región en lo que respecta a soluciones sanitarias.

La cuenca norte se concentra en el río Las Vacas el cual es afluente del río Motagua que desemboca en el Golfo de Honduras, mar Caribe. Esta cuenca recibe las aguas residuales de la mayor parte de la Ciudad de Guatemala.

La cuenca sur se inicia con el río Villalobos, el cual tiene 7 ríos tributarios y varias quebradas que reciben las descargas de aguas pluviales y residuales de los Municipios. El río Villalobos descarga en el Lago Amatitlán, el cual es un lago exorreico, que descarga al río Mitchatoya, el cual a su vez es un afluente del río María Linda que desemboca en el Océano Pacífico.

Situación de las aguas residuales y saneamiento.

De acuerdo al Censo 2018, el 83 % de la población de la MGCS descarga a redes de drenajes sanitarios, sin embargo, se estima que solamente un 10 % de las aguas residuales domésticas e industriales reciben algún tipo de tratamiento, el resto desfoga sin cumplir con la normativa de calidad de aguas de descarga (Acuerdo Gubernamental 236-20016), lo que contribuye a la contaminación de los ríos en el área del proyecto.

Cinco de los seis municipios originales de la MGCS y parte del municipio de Guatemala descargan en la Cuenca del río Villalobos, que finalmente drena directamente a la cuenca del lago de Amatitlán.

Las campañas de monitoreo realizadas por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán AMSA, en los años 2015, 2018 y 2019 han corroborado que la calidad de los ríos tributarios al Villalobos y del Lago Amatitlán presentan altos niveles de contaminación. El Estudio de Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca³, muestra que La mayoría de los ríos presentaron niveles de oxígeno inferior al 50% de saturación, los niveles de nitrógeno y fósforo fueron respectivamente mayores que 20 mg/l y 3 mg/l en seis de los 7 ríos muestreados. Todos los tributarios del río Villalobos a excepción del río Platanitos presentaron altos niveles de contaminación bacteriana con promedios en el orden 7.6×10^7 coliformes fecales. El mismo estudio determinó que el Lago Amatitlán oscilaba entre las categorías de eutrófico e hipertrófico, con concentraciones de nitratos mayores que 2 mg/l en el lado oeste, mientras que las concentraciones de fósforo variaron entre 0.3 y 0.75 mg/l. El lago Amatitlán también presentó rastros de metales pesados, tanto en el espejo de agua como en los sedimentos⁴.

Respecto a los desechos sólidos, actualmente existen dos rellenos sanitarios regionales ubicados en los municipios de Villa Nueva (Km 22) y en el municipio de Guatemala (Zona 3), ambos vertederos están llegando a su límite de recepción de sólidos y se prevén expansiones para alargar su vida útil. Sin embargo, se estima que el 30% de la basura generada se quema o se deposita en un centenar de basureros clandestinos⁵.

² Documento Conceptual para Manejo Integrado de Recursos Hídricos en los Municipios que conforman la Mancomunidad de la Gran Ciudad del Sur, 2015

³ Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Lago Amatitlán, Cano, Manuel, AMSA, 2018

⁴ Ibid.

⁵ Evaluación Final del Programa de Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago Amatitlán, PRACAL, Yon-Siu, Rolando, noviembre 2014

La condición actual de la MGCS es crítica, y los cuerpos receptores, río Las Vacas, río Villalobos, el lago de Amatitlán y el río Motagua tienen una fuerte contaminación. La situación existente de falta de saneamiento representa un riesgo para la salud humana, riesgo de consumir alimentos y agua contaminados por aguas residuales, deterioro de cuerpos de agua, y pérdida de oportunidades de sus usos benéficos, y todo esto redundará en afectaciones económicas para la población. En la actualidad el Lago Amatitlán es usado para deportes acuáticos, pesca artesanal, paseos en lanchas, integración a rutas turísticas de la zona y un poco para irrigación; usos que se ven limitados por la presencia de algas y la contaminación bacteriana.

El problema de la contaminación de aguas ha sido reconocido:

Según el diagnóstico realizado por la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, para efectos del Plan Maestro de Aguas Residuales (Garrido, 2015), los cuerpos receptores se siguen contaminando en tanto no existan las inversiones específicas en sistemas de tratamiento tanto públicas como privadas y no se lleven adecuadamente los controles sobre vertimientos no controlados, ni se realice el monitoreo permanente para garantizar la calidad de aguas⁶.

En el caso de los sistemas de tratamiento de aguas servidas que existen en los municipios que conforman la mancomunidad Gran Ciudad del Sur, se concluye que estos no son suficientes, lo que implica la necesidad de inversiones sostenibles en construcciones nuevas, y hacer más eficientes los sistemas de tratamientos existentes; incluyendo la rehabilitación y/o mejoramiento de los mismos. (Garrido, 2015)⁷.

A los efectos de implementar acciones para reducir los niveles de contaminación de los cuerpos de agua y mejorar la calidad de vida de la población de la MGCS, el gobierno central a través del MARN y las autoridades de los municipios del área entienden necesario diseñar e implementar un programa de saneamiento ambiental en la MGCS. Se han generado planes con propuestas de solución; sin embargo, las medidas que se han tomado para encontrar una solución al problema no han sido suficientes por una serie de razones entre las que destacan la falta de planificación integral y a largo plazo, la falta de recursos financieros y en general la debilidad de las organizaciones encargadas de la provisión de servicios. Los resultados no han sido los esperados. Actualmente, se cuenta con varias instituciones que a lo largo de los años y con colaboración de entidades extranjeras, han realizado una diversidad de estudios que han permitido determinar los niveles de contaminación existentes en algunas áreas, especialmente en el área metropolitana. Dentro de ellas se encuentran EMPAGUA, AMSA, SEGEPLAN Y OTRAS.

Antes de proponer medidas correctivas o planes de acción se reconoce la necesidad de una evaluación de la situación actual y para este efecto, como primer paso, se elaborará, el presente documento o diagnóstico donde se identifica la situación actual no solo de los sistemas físicos de saneamiento en cuanto a cobertura, eficiencia y estado actual, sino también en cuanto a la prestación de los servicios, la capacidad de las municipalidades, el estado de contaminación de ríos y lagos, el sistema regulatorio existentes y los retos en cada uno de estos campos.

2 Objetivo del Informe

El objetivo de este informe es la presentación de un diagnóstico que sirva de soporte para la elaboración de un plan de acción preliminar u hoja de ruta para el diseño e Implementación de un programa de saneamiento ambiental de los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS), que Incluya propuestas de soluciones del tratamiento de las aguas residuales e industriales

⁶ Documento conceptual para Manejo Integrado de Recursos Hídricos en los municipios que conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur

⁷ Ibid.

y la protección de los ríos y del lago Amatitlán, así como de los ríos de la cuenca norte del municipio de Guatemala.

3 Metodología Preparación del Diagnóstico

La realización del diagnóstico se realizó en estrecha colaboración con el Personal Técnico de la MGCS quién proporcionó el apoyo necesario de enlace con las instituciones de Guatemala y que incluye al menos al siguiente personal:

Por las municipalidades

Enlace principal: Coordinador de Agua y Saneamiento de la MGCS

Resto de Directivos de la MGCS

Personal operativo de las Direcciones de Agua y Saneamiento municipal:

- Santa Catarina de Pinula,
- Mixto,
- Villa Canales,
- Vila Nueva,
- Amatitlán y
- San Pedro Petapa

Personal operativo de la Empresa Municipal de la Ciudad de Guatemala. (EMPAGUA)

Por las Instituciones

Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN)

Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán (AMSA)

EMPAGUA

Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Las comunicaciones, solicitudes y reuniones se realizaron a través de teleconferencias y correos electrónicos.

3.1 Recopilación de Información y revisión de literatura

Se recopilaron los estudios de las municipalidades, de planes maestros anteriores y estudios especiales, avances de actividades que se han propuesto, planes futuros, marcos legales e institucionales, gestión de los servicios, así como otra información necesaria para la plena comprensión del estado del Saneamiento de la MGCS en sus diferentes componentes. Así mismo se recopiló información que se utilizará para desarrollar el listado de las actividades y tareas a incluirse en la formulación de la hoja de ruta.

Es importante recalcar que esta actividad es vital, ya que la información colectada es la base de la elaboración del Proyecto. En esta etapa se identificó de la información que se considera importante y que no existe y por tanto deberá ser obtenida con actividades que serán parte de la hoja de ruta. La información existente, además, fue utilizada en la identificación de los retos institucionales, organizativos, legales y técnicos.

La información de información incluyó:

1. Información investigada en sitios de internet relacionados con el Proyecto en las páginas oficiales de los Ministerios e Instituciones relacionadas.
2. Información solicitada y recibida directamente vía digital del personal de apoyo del estudio
3. Entrevistas y reuniones virtuales con el personal de apoyo
4. Preparación de formulario de preguntas y recepción de los mismos de parte de algunas municipalidades (Amatitlán y Mixco).

Se recolectó la siguiente información:

Aspectos Legales

- Información de leyes, normativas y regulaciones aplicables al sector de agua y saneamiento
- Función de los diferentes ministerios, institutos y organizaciones relacionados con el sector

Prestación y Gestión de los servicios de agua y saneamiento

- Actores de la prestación de servicios por municipalidad
- Funciones financieras, técnicas, capacitación y de planificación en las municipalidades
- Balance financiero de los servicios sanitarios (ingresos y egresos)
- Capacidad operativa de los servicios actuales
- Programas de monitoreo y seguimiento
- Función de la MGCS y organismos de apoyo en la gestión de los servicios
- Retos en la gestión de los servicios prestados

Aspectos Organizativos e institucionales

- Iniciativas de programas regionales integrados
- Capacidad actual de personal de regulación y control de las instituciones con dicha responsabilidad
- Percepción de necesidades de reforzamiento institucional en MARN y MSPAS en aspectos de vigilancia seguimiento y control

Aspectos Técnicos

- Infraestructura existente de agua, alcantarillado sanitario y tratamiento del área de estudio.
- Ubicación y descripción de PTAR municipales, tipo de planta y eficiencia de remoción de contaminantes
- Inventario industrial georreferenciado
- Inventario de puntos de descarga (desfogue) georreferenciado de PTAR's municipales y de descargas sin tratamiento.
- Ubicación de rellenos sanitarios y/o puntos de disposición de desechos sólidos
- Consumo estimado per cápita de agua potable
- Planes maestros realizados y/o programas propuestos
- Mapas topográficos del área de influencia del estudio, al menos a escala 1:50000

- Información del Censo de Población y Vivienda 2018 en lo que respecta a población por municipio, coberturas de servicios de agua y saneamiento y proyecciones

Monitoreo y Aspectos Ambientales

- Estudios de calidad y de caudales de los cuerpos de agua superficiales, que incluye los ríos tributarios de las cuencas norte y sur y el Lago Amatitlán
- Resultados de estudios de monitoreo de pozos de agua potable y de acuíferos
- Resultados de estudios de monitoreo de aguas residuales realizados municipales e industriales
- Estudios de recuperación de la calidad del Lago Amatitlán

3.2 Encuesta con las instituciones relacionadas con el Proyecto

A falta de un programa de visita, se realizaron reuniones virtuales con AMSA, Municipalidad de Amatitlán y se participó en dos reuniones de la MGCS.

Además, se preparó un formulario o encuesta a ser llenada por las municipalidades y/o instituciones, el cual se presenta en el ANEXO 1.

3.3 Revisión de Gabinete de Información Recopilada y Preparación de Diagnóstico

3.3.1 Revisión de Gabinete de Información Recopilada y elaboración del diagnóstico

Durante esta actividad se analizó, ordenó y clasificó a nivel de gabinete la información recopilada, para la realización del diagnóstico de la situación encontrada y la identificación de los problemas y retos más importantes relacionados con el saneamiento ambiental del área de la MGCS que incluye los sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales e industriales así como la protección de los cuerpos de agua involucrados; asimismo la identificación de retos para el desarrollo del plan de acción para el saneamiento de la MGCS

Esta actividad priorizó la evaluación de la infraestructura existente y la calidad de los servicios sanitarios, pero también analizó el marco legal existente, la capacidad de gestión de los prestadores de servicio y de la vigilancia, monitoreo y seguimiento de la eficiencia de los sistemas y de las descargas tratadas.

4 Justificación del Estudio de Formulación de hoja de ruta para el saneamiento de la MGCS

La falta de saneamiento crea pérdidas de oportunidad y de competitividad de la zona del proyecto.

En efecto, la contaminación de los ríos y del Lago Amatitlán, produce varios efectos negativos en la zona del proyecto:

- En primer lugar, produce condiciones insalubres en todos los cuerpos de agua, lo que representa un peligro para la salud humana especialmente para los niños menores de 10 años, los cuales están más expuestos al contacto con las aguas. La incidencia de enfermedades diarreicas son una de las consecuencias de la insalubridad, se ha comprobado que existe una relación directa entre el saneamiento y la salud. En el departamento de Guatemala, del total de la morbilidad del año 2019 (592,747 casos)⁸, aproximadamente el 10% se debió a enfermedades diarreicas y parasitarias, y de estas, el 57% ocurrió en niños menores de 10 años. Las enfermedades diarreicas y parasitarias

⁸ 20 Primeras causas de morbilidad general, año 2019, MSPAS

fueron la segunda causa de morbilidad superada únicamente por las enfermedades de origen respiratorio (resfriado común).

- Pero además, la descarga de aguas residuales crudas en el área del proyecto, afecta dos de los ejes transversales de la competitividad⁹ que es la sostenibilidad ambiental y la sostenibilidad social, ya que el primero afecta al segundo. Las condiciones sanitarias adecuadas es uno de los pilares para incentivar el turismo, la plusvalía de la propiedad, el nivel y la calidad de vida de la población y el desarrollo económico.
- En el caso del Lago Amatitlán, la recuperación de dicho cuerpo de agua impulsaría la economía de la región aprovechando su ubicación y las actividades turísticas del entorno montañoso y volcánico. En el 2018, INGUAT registró 836,464 visitantes no residentes para el departamento de Guatemala, de los cuales el 47% lo hicieron por motivos recreacionales, el 24 % por motivos de negocios y el resto por otros motivos. INGUAT estimó un ingreso conservador de US\$ 370 millones en aporte de los visitantes. Se prevé con mejoras de saneamiento en la Zona de la MGCS, esta cifra podría aumentar y competir con otras zonas del país.
- El sector de agua y saneamiento de la región contribuirá a cumplir con los compromisos internacionales contraídos por el Gobierno, y especialmente el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 6 del PNUD:

Tabla 2 Objetivo No 6 de Desarrollo Sostenible PNUD

Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 6 PNUD: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos en el 2030

Meta 6.1	Lograr el acceso al agua potable en condiciones de seguridad y a un precio asequible
Meta 6.2	Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene y poner fin a la defecación al aire libre
Meta 6.3	Mejorar la calidad del agua, el tratamiento de las aguas residuales y su reutilización sin riesgos
Meta 6.4	Aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos y asegurar el abastecimiento de agua dulce
Meta 6.5	Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos
Meta 6.6	Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua
Meta 6.7	Ampliar la cooperación internacional y la creación de capacidad
Meta 6.8	Apoyar la participación de los interesados

- La falta saneamiento además incide en la desnutrición infantil, la cual se estima a nivel de país¹⁰ en 49.3%. Se identifica como una de las tres causas principales la insuficiencia de servicios de agua, saneamiento e instituciones de salud¹¹.

⁹ Política ambiental de sostenibilidad, Instituto Guatemalteco de Turismo

¹⁰ Desnutrición Infantil y Cultura de la Cooperación y el Desarrollo. Una revisión de intervenciones y evidencias en Guatemala; Juárez, Lorenzo et al., 2020

¹¹ Ibid

Ilustración 2 Principales Causas de Desnutrición Infantil



Las consecuencias de la desnutrición infantil son dramáticas en términos de mortalidad y morbilidad. Los efectos pueden atribuirse a vías biológicas interconectadas que implican un desequilibrio de la microflora intestinal, inflamaciones, desregulación fisiológica y alteración del metabolismo de la insulina, entre otras muchas alteraciones. Un niño con desnutrición aguda se expone a un riesgo de muerte nueve veces mayor que uno bien nutrido, mientras que si lo que sufre es desnutrición crónica las posibilidades de morir aumentan hasta cuatro veces.

Un estudio realizado en la Ciudad del Salvador, Bahía, Brasil¹² en niños de edad escolar entre 7 y 14 años, muestra una reducción en enfermedades parasitarias entre 24 a 83%, y hasta 43 % en diarreas.

Algunos de los impactos plenamente identificados por la falta de saneamiento, identificados en el Marco Sectorial de Agua y Saneamiento del BID se presenta en la siguiente Tabla

Tabla 3 Impactos relacionados con la Falta de Saneamiento¹³

Descripción	Impactos
<p>Impacto de los servicios de Agua y Saneamiento</p>	<p>Los costos evitados en salud, la mejora en el desempeño escolar, el incremento de productividad laboral y el crecimiento de industrias que dependen del agua (agrícola, ganadera, recreativa, pesquera, turística, etc.) determinan la rentabilidad socioeconómica de las inversiones en AyS. Según un estudio de la Organización Mundial de la Salud (OMS)³, a nivel mundial los beneficios podrían representar hasta 1,5% del Producto Interno Bruto (PIB), y estima para la región de Latinoamérica y el Caribe (LAC) que por cada dólar invertido en agua la rentabilidad sería de US\$2,40, mientras que esta relación costo-beneficio en el servicio de saneamiento se elevaría a US\$7,30.</p>

¹² Impacto de um Programa de Saneamento Ambiental na Prevalência e na Incidência das Parasitoses Intestinais na População de Idade Escolar de Salvador, Bahía, Mascarine Lucine et al; 2009

¹³ Documento de Marco Sectorial de Agua y Saneamiento; BID, 2017

Descripción	Impactos
	Proporcionar acceso a un abastecimiento continuo de agua, conexión en la vivienda a la red de alcantarillado y tratamiento parcial de las aguas residuales, permitiría conseguir una reducción de episodios de diarrea del 69%
Agua, Saneamiento, y Educación	Investigadores encontraron que mejor acceso a AyS en escuelas tiende a elevar las tasas de asistencia (particularmente de las niñas) y las habilidades de los niños para aprender. Buena salud y nutrición son pre-requisitos esenciales para un aprendizaje efectivo. La alta incidencia de diarrea está asociada con elevados niveles de malnutrición, lo que puede resultar en altos niveles de anemia, bajos niveles de desarrollo cognitivo temprano, psicomotor y de crecimiento en niños, afectando su capacidad de aprendizaje.
Agua, Saneamiento, y productividad laboral	Existe también una relación entre disponibilidad de AyS, productividad e ingresos. La falta de AyS implica una pérdida de productividad de origen laboral como consecuencia del ausentismo por enfermedad o por la necesidad de cuidar a los niños enfermos.
La calidad en el servicio es tan importante como el acceso	En el sector es común encontrar problemas de potabilidad, continuidad, volumen per cápita y presión del agua que se entrega, así como de efectivo funcionamiento del alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales, y de disposición de residuos sólidos en cuerpos de agua, alcantarillados o el suelo. Estos problemas limitan los impactos del acceso a los servicios.

Además, la falta de adecuado tratamiento y/o disposición de las aguas residuales urbanas, antes de verterse en ríos, lagos o el mar, deteriora la calidad del recurso, limita su utilización sostenible, impacta la biodiversidad y pone en riesgo la salubridad de las personas que entran en contacto con las mismas.

Finalmente, otro impacto significativo, es la percepción de la población respecto al saneamiento. Cuando los habitantes perciben cuerpos de agua y en general condiciones ambientales sanas, la percepción positiva es un bien social que contribuye a la preservación de los recursos, al mayor uso de los mismos y a un sentimiento de orgullo y de pertenencia valorado por la comunidad.

5 Contexto del proyecto

5.1 Ubicación Geográfica y Política

El departamento de Guatemala se ubica en el centro del país, limita al norte con el departamento de Baja Verapaz, al este con El Progreso y Jalapa, al sur con Santa Rosa y Escuintla y al oeste con Chimaltenango y Sacatepéquez, se constituye en la cabecera departamental y municipio de Guatemala, ubicada en el altiplano central. Su extensión territorial es de 2.253 km².

Ilustración 3 Mapa político de Guatemala



El departamento de Guatemala está ubicado sobre el altiplano central formado por la Sierra Madre, cadena de montañas que atraviesa el país de oeste a este, decreciendo en altitud paralelamente a la costa del Pacífico. El altiplano se encuentra en una elevación de entre 1500 a 1600 msnm, con algunos terrenos elevados que flanquean el este y oeste y se elevan hasta los 1900 a 2000 msnm. El departamento está compuesto por 17 municipios, siendo uno de ellos Guatemala, donde se ubica la capital. La población proyectada del departamento para el año 2020 asciende a 3,515,775 habitantes¹⁴, equivalente al 21% de la población total del país. Esto obedece a que en este departamento que concentra la mayor oferta de empleo y el mejor índice de desarrollo humano, es donde se ubican las principales sedes políticas, económicas, sociales y se concentran las actividades económicas.

Tabla 4 Población departamento de Guatemala año 2020¹⁵

No.	Municipio	Población total
1	Guatemala	1,195,727
2	Santa Catarina Pinula	86,575
3	San José Pinula	88,345
4	San José del Golfo	8,358
5	Palencia	74,175
6	Chinautla	122,321
7	San Pedro Ayampuc	65,894
8	Mixco	496,992
9	San Pedro Sacatepéquez	54,897
10	San Juan Sacatepéquez	278,200

¹⁴ Estimaciones y proyecciones de la población total a nivel municipal. INE, 2019

¹⁵ Estimaciones y proyecciones de la población total a nivel municipal. INE - 2019

No.	Municipio	Población total
11	San Raymundo	38,575
12	Chuarancho	16,697
13	Fraijanes	62,067
14	Amatitlán	148,330
15	Villa Nueva	466,922
16	Villa Canales	165,839
17	San Miguel Petapa	145,861
Total		3,015,081

5.2 Delimitación del área de estudio

El área de estudio, se basa en el contexto del Proyecto de Manejo Integrado de las Aguas Residuales de los municipios de Guatemala, Amatitlán, Villanueva, Mixco, Villa Canales, Santa Catarina Pinula y San Miguel Petapa, que comprenden la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS).

La MGCS fue creada con el propósito de planificar, organizar y supervisar la prestación de servicios de consultoría, asesoría o participación en la solución de asuntos municipales que las asociadas requieran en materia administrativa, técnica o jurídica. En la siguiente Ilustración, se aprecian los escudos de los siete municipios.

Ilustración 4 Escudos de las 7 ciudades de la MGCS



Con base a la información topográfica e hidrográfica el área de estudio se limita a las cuencas hidrográficas que coinciden con la MGCS y se divide en las cuencas norte y sur. La cuenca norte, es drenada por los ríos Las Vacas y Los Plátanos, que pertenecen a la vertiente hidrográfica del mar Caribe, que nace en los cerros que forman la periferia sudeste de la Ciudad de Guatemala y luego se orienta hacia el noreste donde convergen en el río Motagua que descarga sus aguas precisamente en el mar Caribe.

La cuenca sur drena hacia el lago de Amatitlán a través de siete ríos que cruzan varios municipios y convergen en el río Villalobos que luego descarga en el citado lago. Esta cuenca forma parte de la cuenca hidrográfica María Linda que se encuentra en la vertiente del Pacífico.

La extensión territorial de los siete municipios de la MGCS es de 1,109 km², y su población de acuerdo con datos proyectados del INE para el año 2020 es de 2,706,246 habitantes.

Tabla 5 Extensión territorial de la MGCS¹⁶

No.	Municipio	Población Año 2020	Extensión Territorial (km ²)	Densidad Poblacional (Hab/Km ²)
1	Amatitlán	148,330	204	727
2	Guatemala	1,195,727	228	5,244
3	Mixco	496,992	132	3,765
4	San Miguel Petapa	145,861	30	4,862
5	Santa Catarina Pinula	86,575	48	1,804
6	Villa Canales	165,839	353	470
7	Villa Nueva	466,922	114	4,096
Totales		2,706,246	1,109	2,440

El área de drenaje que abarca la MGSC, dentro del área de estudio, en la cuenca norte es de 261.80 Km², y la cuenca sur de 452.40 Km², para un total de 714.20 Km².

Tabla 6 Área de estudio por cuenca, por municipio.¹⁷

Municipio	Rio Villalobos (Km ²)	Rio Las Vacas (Km ²)	Rio Plátanos (km ²)	Total en Área de Estudio (Km ²)
Guatemala	42.7	82.7	102.6	228
Sta. Catarina Pinula	25.2	8.6	14.2	48
Mixco	45.3	53.7	0	99
Amatitlán	102	0	0	102
Villa Nueva	108.3	0	0	108.3
Villa Canales	105.9	0	0	105.9
Sn. Miguel Petapa	23	0	0	23
TOTALES	452.4	145	116.8	714.2

5.2.1 Principales cuerpos de agua

5.2.1.1.1 Fisiografía

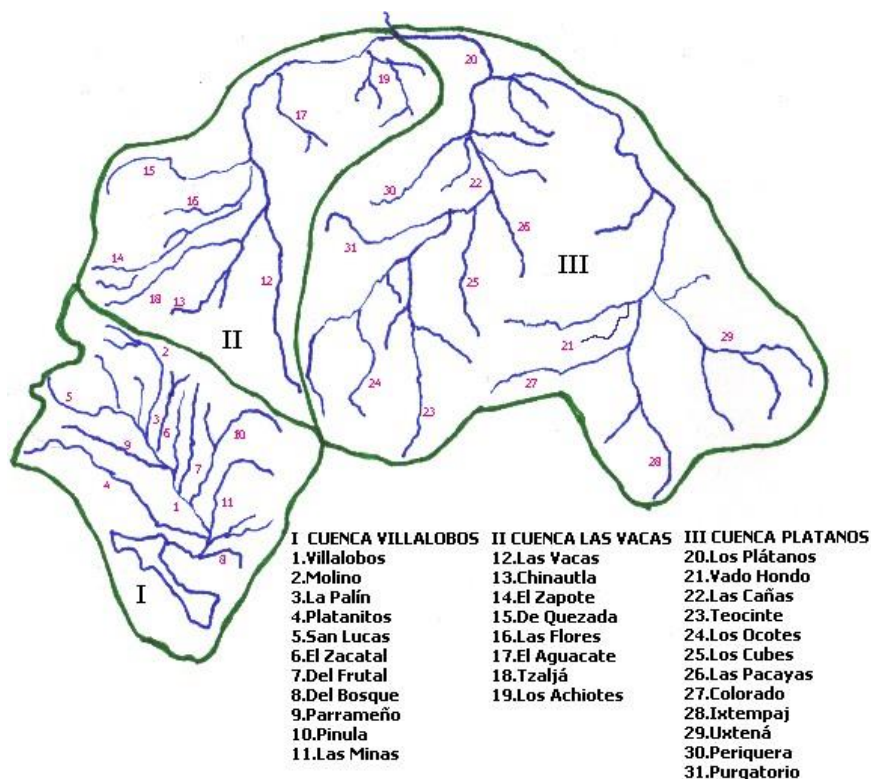
La cuenca está ubicada en la zona de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre. La parte alta de la cuenca del Lago de Amatitlán es escarpada con mesetas planas, ubicadas al suroeste de Mixco y parte sur del municipio de Guatemala. La parte media es mixta es decir con partes escarpadas y ondulaciones marcadas, parte norte de Villa Nueva; y la parte baja es mayormente plana, Villa Canales, San Miguel Petapa.

La altitud de la cuenca varía entre 1,186 y 2,500 metros sobre el nivel del mar.

¹⁶ Fuentes: Estimaciones y proyecciones de la población total a nivel municipal. INE 2019 e IGN

¹⁷ Fuente: EMPAGUA

Ilustración 5 Principales ríos en el área de estudio



5.3 Desarrollo urbano MGCS

El área urbana principal del país, la Ciudad de Guatemala, se ha extendido en espacio y población hacia los municipios aledaños, llegando a conformar la denominada Región Metropolitana de Guatemala o RMG, que bajo la finalidad de este estudio está conformada por siete municipios.

En mayo de 2012 fue creada la MGCS con la firma de un Acta Constitutiva por los alcaldes de seis municipios: Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Villa Canales, Villa Nueva y Santa Catarina Pinula. El municipio de Guatemala se integra a la MGCS, en septiembre de 2019. Su creación fue con el objetivo principal de llevar el desarrollo al área, con el lema de “buscar soluciones comunes a problemas comunes”.

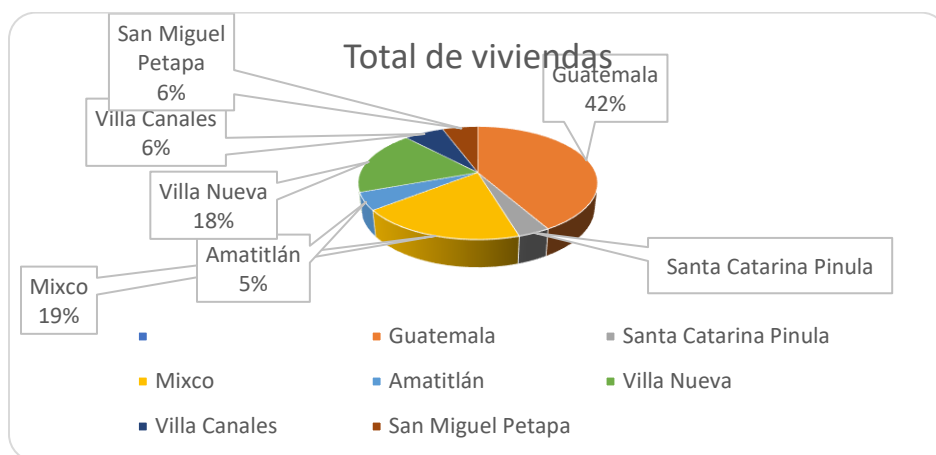
Los municipios de la MGCS, tienen como objetivo global la creación de un Plan Regional de Desarrollo Urbano. Asimismo, el promover la capacitación a personal de las municipalidades, mediante la creación, mejoramiento, desarrollo, modificación, ampliación o sustitución de procesos, procedimientos, métodos, técnicas, manuales, instructivos, guías y proyectos que consoliden y modernicen los sistemas municipales.

Entre los problemas más urgentes que se han planteado trabajar en la mancomunidad están: transporte, rescate del lago de Amatitlán, seguridad, barrios y comunidades, educación, salud, tratamiento de desechos sólidos e infraestructura.

5.3.1.1 Tipología de viviendas MGCS

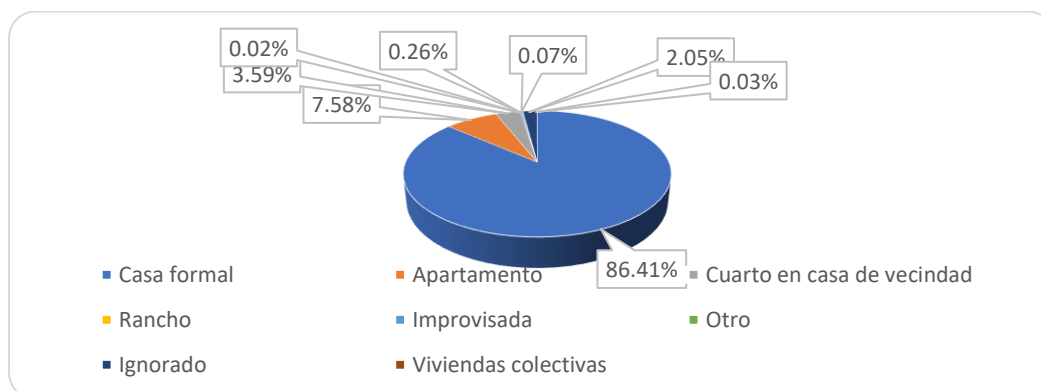
El último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) es el Censo realizado en el año 2018¹⁸, en este ítem hacemos referencia a este documento que contiene los datos específicos de las viviendas a nivel nacional, por departamento y por municipio. En el departamento de Guatemala existe un total de 873,937 viviendas, de las cuales el 78% corresponde a la MGCS. Con este dato se corrobora que de los 17 municipios que conforman el departamento de Guatemala, los 7 municipios agrupados en la Mancomunidad son los más significativos. Este 78% equivale a 681,430 viviendas, de las cuales 681,221 son viviendas particulares y 209 son viviendas colectivas. En la Ilustración a continuación, se aprecia la distribución de las viviendas dentro de la MGCS, por municipio, observándose que la ciudad de Guatemala es la tiene mayor cantidad de vivienda representando el 42% de la mancomunidad, le siguen en ese orden Mixco y Villanueva con 19% y 18% respectivamente.

Ilustración 6 Distribución de viviendas por municipio de la MGCS



En la Ilustración siguiente, se aprecia la distribución de las viviendas por tipo, dentro de la MGCS, de esta ilustración se denota que la mayoría de las viviendas, el 86 %, en la mancomunidad son de tipo formal, y que cerca del 8% son apartamentos, y que el resto de las viviendas, o sea el 6%, son de tipo improvisada, informal y de otros tipos. Estos valores nos indican que la morfología urbana de la mancomunidad es mayoritariamente.

Ilustración 7 Distribución de los tipos de vivienda existente en la MGCS



¹⁸ XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda. Instituto Nacional de Estadística. Guatemala C.A. Censo 2018

Respecto a la calidad de la vivienda en paredes y techo, el Censo de 2018 revela que el 91% de las paredes de las viviendas son paredes sólidas: ladrillo, block, concreto, adobe, madera, el 9% restante son de: lámina metálica, bajareque, lepa, palo o caña, material de desecho y otros. El 98% de los techos de las viviendas son techos con materiales de buena calidad, de concreto, metálico, asbesto cemento y teja, el 2 % de las viviendas cuentan con techos rudimentarios como paja, palma, material de desecho y otros.

5.3.1.2 Población

En el año 2018 se realizó el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda y en el año 2019 se publica el documento “Estimaciones y Proyecciones Nacionales de Población – Metodología y Principales Resultados”, el que fue elaborado con la colaboración del Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE) / División de Población de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y con apoyo del Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA). En este último documento el INE logra determinar las características de la evolución demográfica, con el propósito de actualizar las estimaciones y proyecciones nacionales de población correspondientes al período 1950 – 2100 haciendo los ajustes correspondientes.

La población derivada de los ajustes de omisión censal, para el año 2020 a nivel nacional es de 16,858,333 habitantes y a nivel del municipio de Guatemala es de 3,515,775, en la MGCS la población para el mismo año es de 2,706,246 habitantes.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de la proyección de la población, a nivel de la república, desde el año 1950 al año 2050 a cada 10 años. El comportamiento del crecimiento, de acuerdo con el documento antes citado, refleja una población con crecimiento de alto a moderado y estructura de población joven. A medida que se avance en el proceso de la transición demográfica, se tendrá un menor crecimiento y será evidente un cambio en la estructura de la población, influenciado por la migración.

Las estimaciones y proyecciones municipales se realizaron para el período 2015-2035, utilizando una metodología combinada de variables sintomáticas y modelos logísticos. El período seleccionado fue diferente que el utilizado para las estimaciones y proyecciones departamentales, ya que la intensidad de los movimientos migratorios que intervienen a nivel municipal, hace difícil estimar y proyectar con precisión la población para un pasado lejano y un futuro a largo plazo. En la Tabla 8, se presenta la proyección de la población a nivel del departamento de Guatemala y de la MGCS en quinquenios desde el año 2015 al 2035.

Tabla 7 Proyección de la población en un período de 100 años

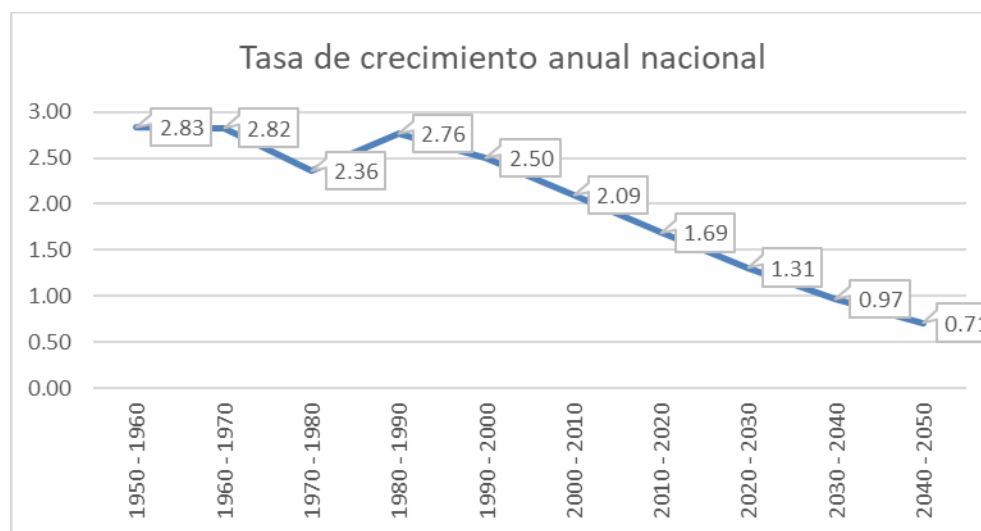
Período	Población
1950	3,123,095
1960	4,128,880
1970	5,455,197
1980	6,890,346
1990	9,050,115
2000	11,589,761
2010	14,259,687
2020	16,858,333
2030	19,201,062
2040	21,150,662
2050	22,703,298

Tabla 8 Población del Municipio de Guatemala y de la MGCS 2015 - 2035

Municipio	Año				
	2015	2020	2025	2030	2035
Guatemala	3,293,500	3,293,500	3,718,008	3,897,177	4,053,220
MGCS	2,528,608	2,706,246	2,867,942	3,011,150	3,135,695
Guatemala	1,142,188	1,195,727	1,236,048	1,259,993	1,266,244
Santa Catarina Pinula	84,215	86,575	88,350	89,478	90,013
Mixco	446,877	496,992	548,578	600,803	653,463
Amatitlán	138,168	148,330	158,082	167,203	175,674
Villa Nueva	425,783	466,922	509,832	554,273	600,660
Villa Canales	160,276	165,839	170,338	173,629	175,795
San Miguel Petapa	131,101	145,861	156,714	165,771	173,846

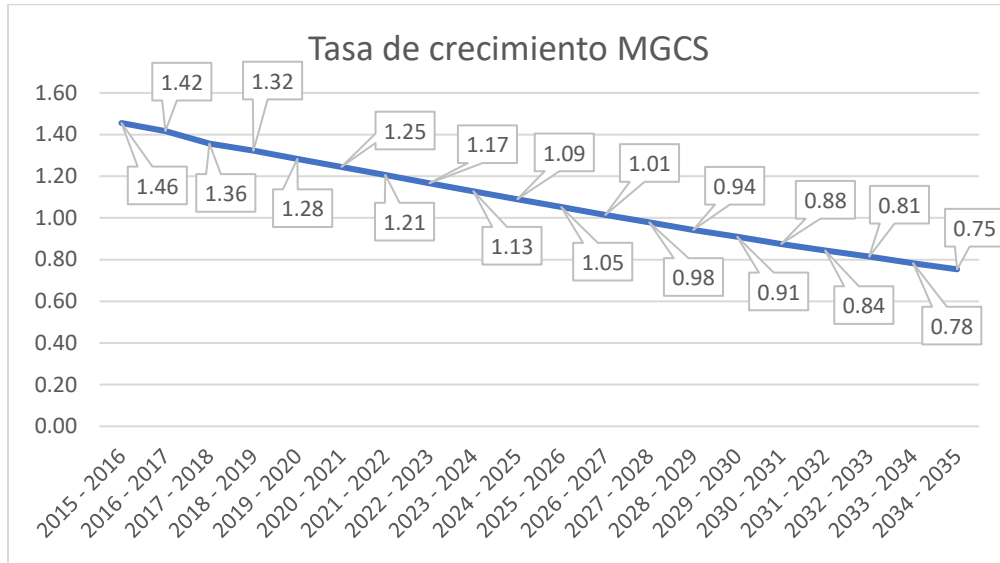
En la siguiente Ilustración se presentan la tasa de crecimiento en períodos de diez años desde el año 1950 hasta el año 2050 cuyo comportamiento ha ido decayendo en forma casi lineal a partir del año de 1980 y se mantiene en su proyección.

Ilustración 8 Tasa de crecimiento anual a nivel de la República



En la Ilustración siguiente, se aprecia la tasa de crecimiento a nivel de la MGCS, el cual al igual que el comportamiento a nivel nacional también es hacia la baja.

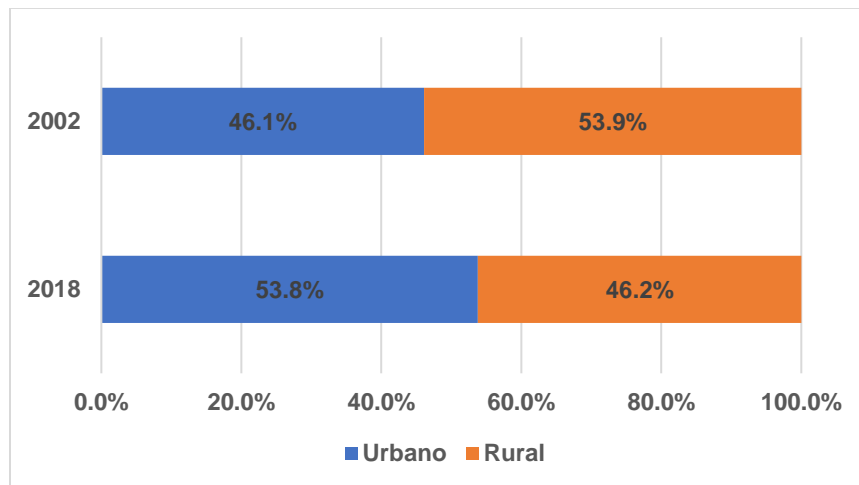
Ilustración 9 Tasa de crecimiento anual a nivel de la MGCS



En el Censo 2018 se consideró como urbano todo el municipio de Guatemala. Por su parte, se consideró como área rural a los lugares con categoría de aldea, caserío, paraje, finca, parcelamiento y cantón, siempre que tuvieran menos de 2,000 habitantes. En la Ilustración 12, se hace una comparación de la distribución de la población urbana y rural entre los resultados del censo del 2002 y el del 2018.

Se aprecia que el 53.8% de la población censada en el 2018 residía en áreas urbanas y 46.2% en rurales; es decir, en 16 años la población urbana aumentó 7.7 puntos porcentuales. De acuerdo con el Documento “Resultados del XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda” elaborado por el INE en el 2019, en la historia de Guatemala, esta fue la primera medición que reportó mayor número de personas en el área urbana respecto de la rural.

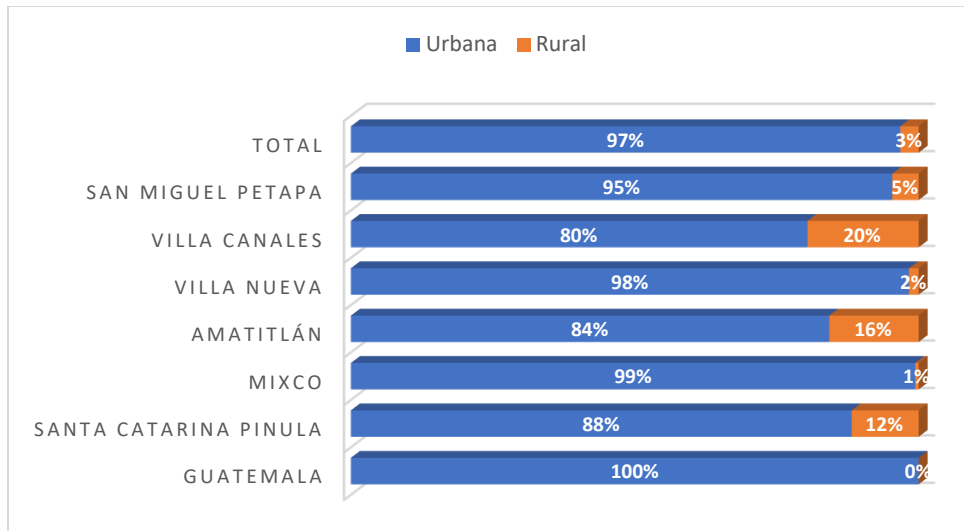
Ilustración 10 Distribución de la población por área urbana y rural a nivel nacional, censos de 2002 y 2018¹⁹



¹⁹ Fuente: censos 2002 y 2018.

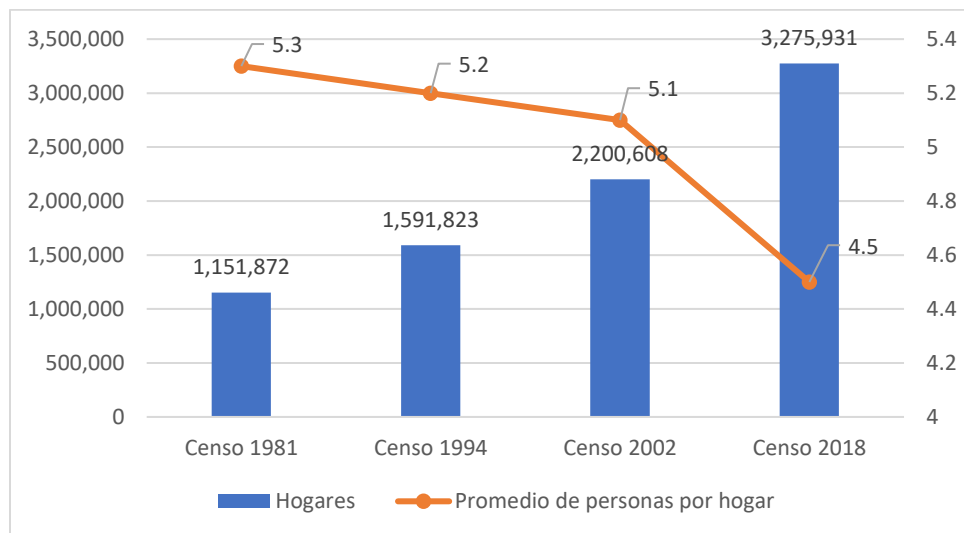
En la Ilustración a continuación, se muestra porcentualmente la población urbana y rural dentro de la MGCS, se aprecia que el municipio de Guatemala es 100% urbano, le sigue Mixco con el 99% del municipio urbano, de los siete municipios de la MGCS Villa Canales es el que presenta el porcentaje más alto de personas que habitan en el área rural con el 20%, en general un 97% de la población de la MGCS vive en el área urbana y el 3% en el área rural.

Ilustración 11 Población Urbana y Rural MGCS Censo 2018²⁰



Los datos del Censo de 2018 revelan que el número de hogares se ha incrementado en los últimos censos: de ser 1,591,823, en 1994; a tener un recuento de 3,275,931 en el Censo 2018. No obstante, el número de personas promedio por hogar disminuyó de 5.2 a 4.5 habitantes por vivienda. En la Ilustración 14, se observa el comportamiento incremental de la población y como ha ido disminuyendo el hacinamiento en las viviendas.

Ilustración 12 Evolución de los hogares y promedio de personas por hogar, censos 1981, 1994, 2002 y 2018²¹



²⁰ Fuente: INE, XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda - 2018

²¹ Fuente: censos 1981, 1994, 2002 y 2018.

5.3.1.3 Servicios básicos

Los datos del Censo nacional de 2018 indican que a nivel del departamento de Guatemala el 92% de las viviendas se abastecen con agua directo de una red, mientras el 8% no cuenta con ese servicio, abasteciéndose de agua mediante pozo perforado, agua de lluvia, río o lago, manantial, cisterna y otros. A nivel de la MGCS los porcentajes varían un poco, el 95% se abastece mediante una red y el 5% mediante los otros medios citados. En la Ilustración a continuación, se aprecia la distribución del tipo de fuente de agua utilizada para consumo dentro de la MGCS.

En cuanto al saneamiento a nivel nacional, el censo indica que el 99.4% de la población tiene algún tipo de servicio sanitario y solo el 0.6% no tiene acceso a este servicio. Este porcentaje se mantiene a nivel del departamento de Guatemala y a nivel de la MGCS el porcentaje de acceso a un tipo de servicio sanitario es del 99.8%, o sea que el 0.2% de las viviendas no cuentan con este servicio.

Ilustración 13 Fuente principal de agua para consumo a nivel de la MGCS²²

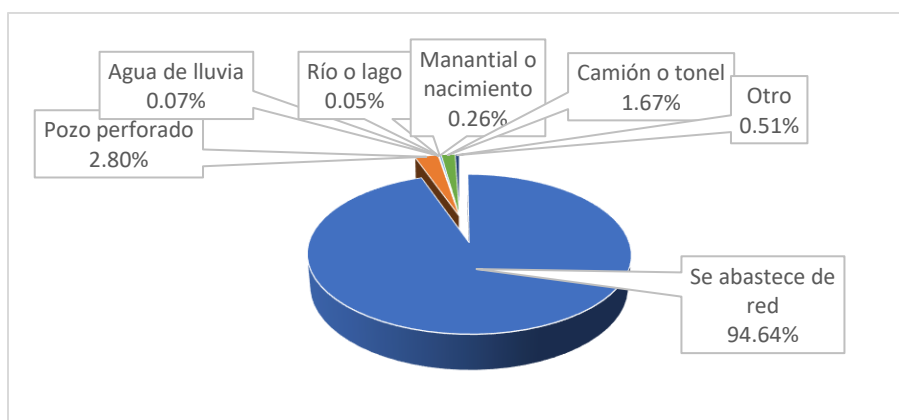
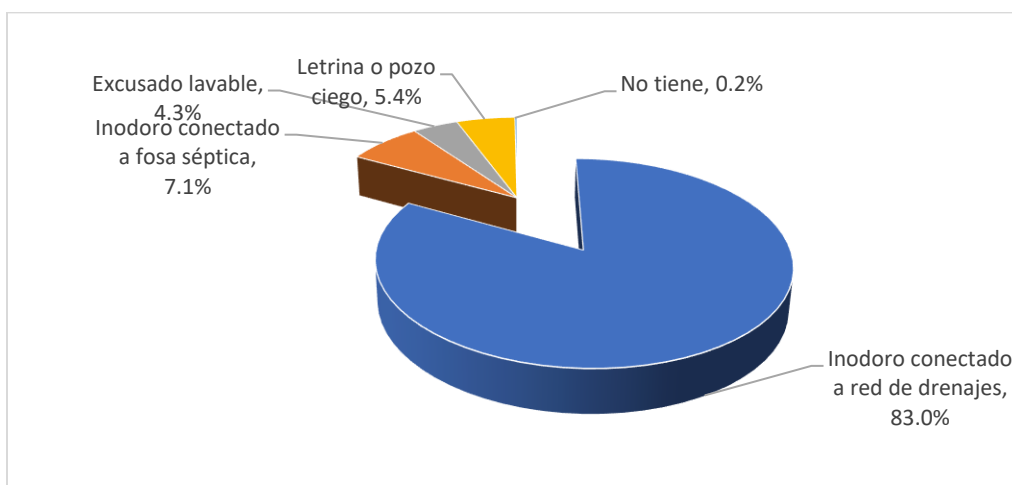


Ilustración 14 Uso de servicio sanitario en la MGCS²³



En cuanto a la cobertura en el área rural, a nivel nacional, la cobertura de agua potable es del 59,5%, y del saneamiento es del 36,3%. Las zonas rurales con mayor déficit de cobertura son aquellas con

²² Fuente: INE, XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda - 2018

²³ Fuente: INE, XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda - 2018

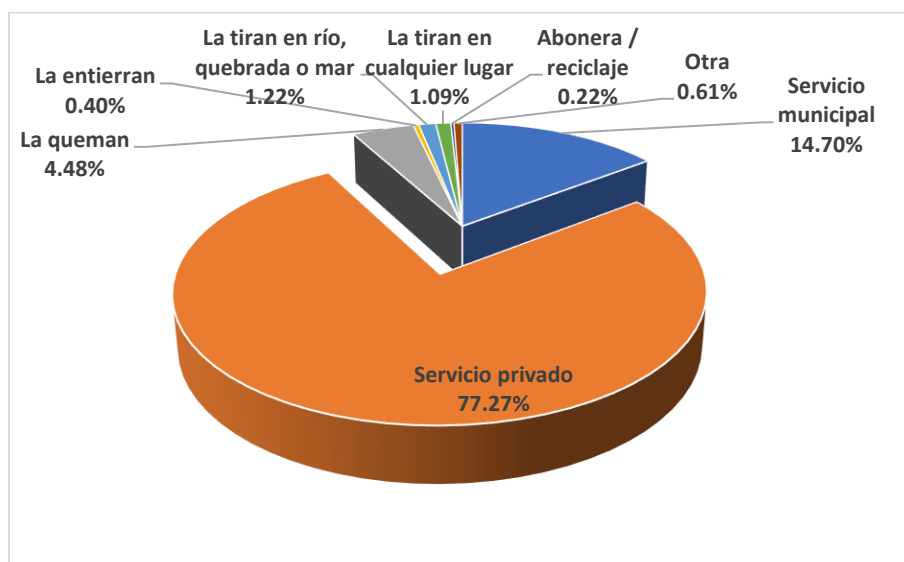
alta población indígena. Por otra parte, se estima que sólo el 15% del agua que se distribuye en el país puede considerarse potable y que sólo el 7% de los sistemas de alcantarillado existentes poseen algún tipo de tratamiento del agua residual.

Respecto al servicio de alcantarillado sanitario, el plan maestro desarrollado por los consultores japoneses Nihon Suido Consultants Co, Ltd, y Pacific Consultants Internacional Ltd, en 1996, para el área de cobertura de la Empresa Municipal de Agua de Guatemala (EMPAGUA), informa que el 65 % de la población servida por agua potable, estaba siendo servida por el alcantarillado público o privado.

Respecto a la energía eléctrica, los datos del censo nacional del 2018 indican que en la MGCS más del 99% de las viviendas cuentan con energía eléctrica proveniente de la red nacional de energía, y solo el 0.26% se abastece de energía mediante otros medios como son paneles solares y gas corriente y el 0.47% no tienen energía eléctrica de ningún tipo.

El servicio de recolección de basura a nivel del departamento de Guatemala llega al 85% de los hogares y a nivel de la MGCS llega al 91.97% de los hogares siendo mayormente privado. En el resto de los hogares la práctica es tirar en cuerpos de agua o en cualquier lugar, enterrar o quemar la basura y en un porcentaje menor (0.22%) reciclan o abonan la tierra con la basura. En la Ilustración siguiente, se aprecia la distribución de la forma en que eliminan la basura dentro de la MGCS.

Ilustración 15 Forma principal de eliminación de la basura a nivel de la MGCS²⁴



5.4 Principales actividades socioeconómicas

La contribución del departamento de Guatemala en el PIB nacional ha sido estimada entre el 47% y el 78% (Cardona & Urioste, 1999).

De acuerdo con el documento llamado "Guatemala: Perfiles de medios de vida", los municipios de la RMG, a excepción de San Juan Sacatepéquez, se encuentran dentro de la "Zona 10: Agroindustria y Maquilas" (zonificación propia del documento). Esta zona se caracteriza por predominancia de maquilas de textiles y agricultura, esta última actividad centrada en flores y vegetales. Estas

²⁴ Ibid

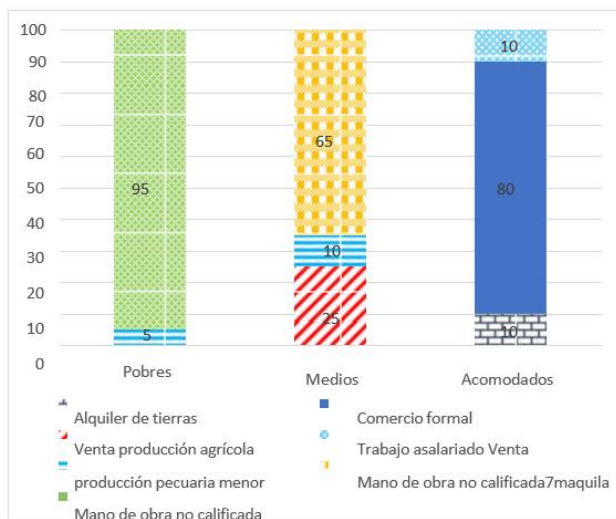
actividades se favorecen por la buena infraestructura vial, así como su cercanía con otras ciudades y mercados importantes a nivel nacional (SESAN, USAID, MFEWS, & FAO, 2009).

En Guatemala, las actividades económicas vinculadas a la industria son relativamente estables en esta zona. Debido a la alta relación con el mercado internacional, la producción industrial se ve fuertemente influenciada por el comportamiento de la economía a los países a donde se exporta y de su respectiva demanda. Esto condiciona la seguridad laboral de las personas que dependen de estas fuentes de ingresos. Asimismo, los eventos extremos climáticos son una amenaza constante para las actividades agrícolas de esta zona. A pesar de esto, dada la importancia de los mercados existentes, es difícil que haya déficits en los suministros alimentarios, debido a que se trata de una zona de acopio más que de producción (SESAN et al. 2009).

En esta zona, los grupos más pobres dependen principalmente de la venta de su mano de obra no calificada en actividades agrícolas, mientras que los grupos medios dependen de maquilas textiles, hortalizas y flores. Para el año 2009, el salario promedio mensual era de 1,500 quetzales y no incluía ninguna prestación de ley. Generalmente son las mujeres, jóvenes y los mayores quienes trabajan en estas áreas, aunque existe una demanda creciente de hombres.

La producción pecuaria es otra de las fuentes importantes de ingresos a nivel medio. A nivel del grupo de los acomodados, los ingresos provienen en un 80% del comercio formal en negocios como farmacias, ferreterías y otros, el 10% del trabajo asalariado por prestación de servicios profesionales y el 10% restante del arrendamiento de tierras a los otros grupos, ver la siguiente Ilustración.

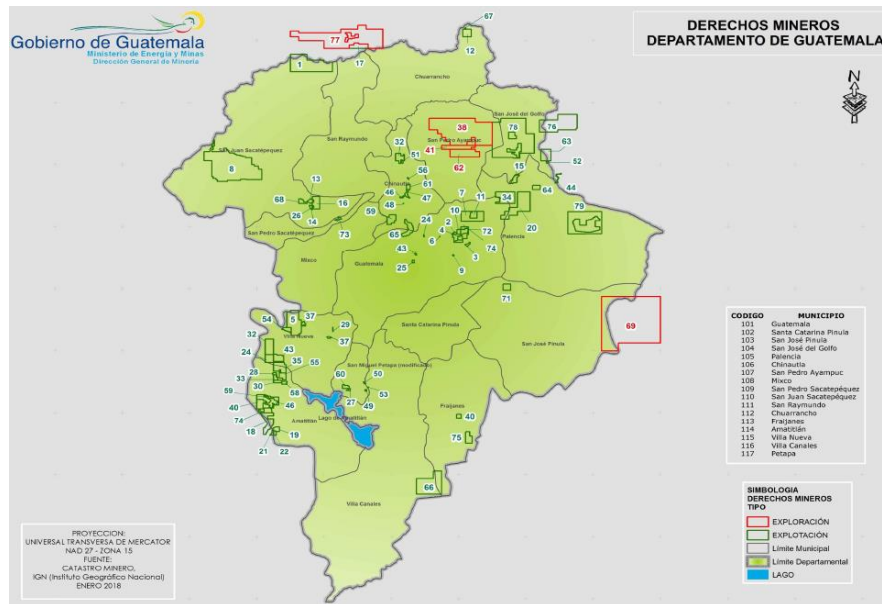
Ilustración 16 Dependencia de los Grupos Económicos para la Zona 10: Agroindustria y Maquilas.²⁵



El departamento tiene también extensa actividad minera de materiales de construcción que incluye piedra caliza, arena, dolomita, basalto, mármol, cenizas volcánicas y algunos metales preciosos, el departamento tiene registrado 79 minas. Ver siguiente ilustración.

²⁵ Fuente: SESAN et al. 2009.

Ilustración 17 Ubicación de Minas en el Departamento de Guatemala



5.4.1 Amatitlán

A nivel de producción, la economía del municipio de Amatitlán presenta características únicas, dado que contiene en su territorio una gran diversidad de industria, lo cual se traduce en una Población Económicamente Activa del 40% para el 2010, del cual, casi una tercera parte son mujeres. A pesar de esto, hay un gran camino por recorrer para eliminar la desigualdad laboral entre géneros, lograr el empleo pleno y trabajo decente. También se produce una gran cantidad de productos agrícolas dentro del municipio.

5.4.2 Mixco

Por su proximidad a la Ciudad de Guatemala, algunas aldeas se convirtieron en colonias residenciales y lotificaciones de carácter residencial. La actividad agrícola es escasa, por lo que su economía se basa en la industria, pues en este municipio predomina la zona industrial del departamento, que incluye actividades de ganadería bovina, porcina, avicultura, servicios y comercio. En Mixco destacan los chicharrones y el chocolate mixqueño, reconocido como uno de los mejores del país.

5.4.3 San Miguel Petapa

Este municipio se caracteriza por tener a la industria, comercio y agricultura como las actividades más importantes a nivel laboral. Dentro del territorio existen fábricas e instalaciones industriales de diferentes productos como hornos industriales, pinturas industriales, estructuras metálicas, maquilas, loza sanitaria, carpintería industrial, industria de calzado, industria talabartera y de elaboración de elementos envasados. A pesar de esto, el mercado laboral local es reducido que muchos de sus habitantes se ven obligados a viajar a la Ciudad de Guatemala para encontrar trabajo.

Como en el resto del país, también se practica la agricultura en el municipio, principalmente a nivel de subsistencia, siendo algunas fincas las excepciones en donde se produce de forma extensiva, lo

cual constituye una importante fuente de empleo donde la participación de la mujer es significativa. Por otro lado, el aprovechamiento forestal se limita principalmente a la producción y comercialización de leña y madera.

Entre las actividades económicas se encuentran la elaboración de artesanías y piscicultura; mientras que como actividad terciaria están los comercios y servicios que sirven de apoyo a las actividades productivas.

5.4.4 Santa Catarina Pinula

Santa Catarina Pinula es un municipio que presenta en los últimos años un alto crecimiento urbano y una inversión inmobiliaria dirigida principalmente a sectores sociales medio-alto y alto. Esto obliga a implementar políticas, programas y proyectos que fomenten el ordenamiento territorial, a fin de definir adecuadamente las áreas para producción, protección de los recursos naturales y áreas urbanas.

A nivel de industria y de producción agrícola, la producción es baja, a pesar de que presenta áreas con alto potencial para desarrollo de actividades agroforestales, dado que las características de suelo favorecen estas actividades. Al igual que en los municipios anteriores, la producción agrícola se limita a pequeñas fincas menores a una manzana, por lo que se limita a una producción con fines de subsistencia.

En cuanto a la pobreza y la pobreza extrema, es de los municipios del departamento de Guatemala con los valores más bajos para estos indicadores, por lo que se debe seguir trabajando en este apartado para que la situación no se revierta. A pesar de esto, se debe hacer mucho trabajo respecto a la igualdad laboral por género, empleo pleno y trabajo decente para todos los habitantes.

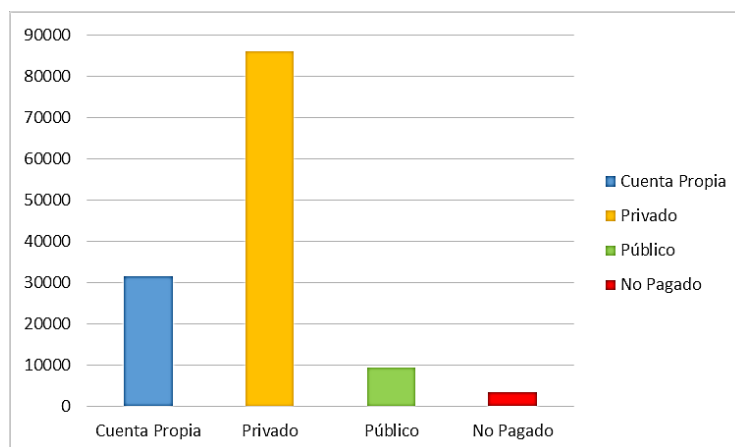
En conjunto al desarrollo urbanístico se debe fomentar la instalación de áreas industriales y comerciales para que este proceso genere empleo para la mano de obra local (Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Santa Catarina Pinula. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Dirección de Planificación Territorial., 2011).

5.4.5 Villa Nueva

A nivel de la dependencia laboral, en el municipio de Villa Nueva el 94% (138,968) de la población tiene relación de dependencia laboral del tipo ocupacional, es decir, no profesional. Y solamente el 6% (8,101) tiene dependencia directamente como un patrono, dado que son individuos con mayor preparación académica y con especialidad en diversas ramas (Ortiz Alvarado et al. 2010).

La Ilustración a continuación, muestra la distribución de cantidad de empleados por tipo de empleo, la mayoría de la población del municipio trabaja en la iniciativa privada (61.95%), seguido por los negocios propios (22.74%), empleados públicos (6.79%) y empleados no pagados (amas de casa) (2.69%).

Ilustración 18 Tipos de empleo de acuerdo con el empleador para el municipio de Villa Nueva.²⁶



5.4.6 Guatemala

En Guatemala, las actividades económicas vinculadas a la industria son relativamente estables en esta zona. Debido a la alta relación con el mercado internacional, la producción industrial se ve fuertemente influenciada por el comportamiento de la economía a los países a donde se exporta y de su respectiva demanda. Esto condiciona la seguridad laboral de las personas que dependen de estas fuentes de ingresos. Asimismo, los eventos extremos climáticos son una amenaza constante para las actividades agrícolas de esta zona. A pesar de esto, dada la importancia de los mercados existentes, es difícil que haya déficits en los suministros alimentarios, debido a que se trata de una zona de acopio más que de producción (SESAN et al. 2009).

En esta zona, los grupos más pobres dependen principalmente de su trabajo como mano obra no calificada en actividades agrícolas, mientras que los grupos medios dependen de maquilas textiles, hortalizas y flores. Para el año 2009, el salario promedio mensual era de 1,500 quetzales y no incluía ninguna prestación de ley. Generalmente son las mujeres, jóvenes y los mayores quienes trabajan en estas áreas, aunque existe una demanda creciente de hombres.

La producción pecuaria es otra de las fuentes importantes de ingresos a nivel medio. A nivel del grupo de los acomodados, los ingresos provienen en un 80% del comercio formal en negocios como farmacias, ferreterías y otros, el 10% del trabajo asalariado por prestación de servicios profesionales y el 10% restante del arrendamiento de tierras a los otros grupos.

5.4.7 Villa Canales

Sus actividades económicas principales son los cultivos de café, caña de azúcar y piña (razón por la cual estos elementos aparecen notablemente en el escudo del municipio). Además, hay bastante industria dando muchos puestos de trabajo tales como Pegon, La Floristería, Granja Avícola Rancho K, etc. esta última proporcionando empleo a las comunidades del sur del municipio. Este municipio es el máximo productor de piña a nivel nacional, y de primera calidad debido a las tierras fertilizadas

²⁶ Fuente: (Ortiz Alvarado et al., 2010)

por el volcán de pacaya y su clima adecuado para la producción. Siendo en el área conocida como "El Jocotillo" y " El Obrajuelo" donde se encuentran las mayores plantaciones.

Pasó a ser uno de los principales municipios del Departamento de Guatemala, debido a su acelerado crecimiento y desarrollo, principalmente en el casco urbano en donde actualmente cuenta con varios edificios de importancia, tales como agencias bancarias, hospitales, centros comerciales y carreteras asfaltadas que atraviesan el municipio desde la capital hasta las líneas divisorias con Guanagazapa Escuintla.

5.5 Hidrografía

El sistema hidrográfico de Guatemala se divide en tres vertientes que comprenden un total de 38 cuencas:

- Vertiente del Océano Pacífico, con 18 cuencas que abarcan el 22% del territorio.
- Vertiente del Mar Caribe, cubre el 31% del territorio en 10 cuencas.
- Vertiente del Golfo de México, con 47% del territorio en 10 cuencas, posee los ríos más caudalosos los cuales tributan hacia territorio mexicano.

La Región Metropolitana de Guatemala (RMG) está compuesta por 12 municipios y 20 microcuencas, con un aporte de 701 millones de m³ al año de agua superficial y 140 millones de m³ al año de agua subterránea; a la RMG se le suman las aguas de 4 microcuencas de los ríos Xayá y Pixcayá que, a pesar de estar situadas fuera de la RMG, representan un importante insumo de agua con un aporte de 88 millones de m³ al año. Estos aportes son complementados por un número indeterminado de pozos mecánicos que explotan los acuíferos locales.

La RMG es el área urbana más grande y productiva de Centroamérica y se encuentra en un rápido proceso de expansión y desarrollo económico, que ha generado desafíos de agua similares a muchas otras grandes ciudades latinoamericanas. En la RMG predomina el uso industrial y el consumo residencial, y no existe gobernanza, participación y cooperación entre los usuarios de este recurso.

Los doce municipios que conforman la RMG son: Guatemala, Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Amatitlán, Villa Canales, Fraijanes, Santa Catarina Pinula, San José Pinula, Chinautla, San Juan Sacatepéquez y San Pedro Sacatepéquez.

Según el Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (IARNA, 2013), para garantizar la disponibilidad de agua en la RMG, los tomadores de decisiones han tomado en cuenta principalmente aspectos sociales y económicos, y no se ha prestado tanta atención al componente natural (p.ej. el proceso hidrológico, el tipo de uso del suelo y la implementación de prácticas de conservación de recursos naturales, entre otros).

En este contexto en el año 2017 fue constituida la Fundación Para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA) dentro de un Plan de Conservación el cual sirve de base para la elaboración de los planes operativos anuales, siendo sus principales acciones: la recuperación de los niveles freáticos de la Región Metropolitana, la mejora de la calidad del agua tanto superficial como subterránea y satisfacer las necesidades de provisión de agua en la región.

En la Ilustración 4, se observa la delimitación el área de acción del Plan de Conservación de la RMG que abarca inclusive el área de la MGCS. En esta delimitación se pueden observar las delimitaciones de las cuencas de Michatoya, Amatitlán, Villalobos, Paxot, Sactzi, El Zapote, Las Vacas, Las Cañas, Teocinte Las Cañas, Los Ocotes, La Cuya, Lo de Dieguez, Rustrián, Las Flores, Aguacapa, El Cangrejal, Xaya Alto, Pacorral, Pixcayá y Balanyá, que en conjunto forman una extensión de 17,324 ha.

Las cuencas del área de estudio, de la MGCS, se encuentran circunscritas dentro del área de la RMG, siendo éstas: la cuenca del río Las Vacas en el noroeste, la del río Plátanos en el noreste,

ambas desaguando hacia el río Motagua; y la cuenca del río Villalobos al sur, drenando hacia el lago de Amatitlán que a su vez forma parte de la cuenca del Río María Linda, la que se encuentra en la vertiente del Pacífico.

La cuenca del Río Las Vacas tiene una extensión de 430 Km², los cuales pertenecen a los municipios de Guatemala, Santa Catarina Pinula, Chinautla, Mixco, San Pedro Ayampuc, Chuarrancho y San José del Golfo, todos del departamento de Guatemala.

La cuenca del Río Plátanos, con una extensión de 1007.8 Km² abarca parcialmente los municipios de Guatemala, San José Pinula, Santa Catarina Pinula, Palencia, San Pedro Ayampuc y San José del Golfo, del departamento de Guatemala; Sanarate y San Antonio La Paz, del departamento del Progreso, Mataquescuintla y Jalapa, del departamento de Jalapa.

La subcuenca del Río Villalobos tiene una extensión de 395 km², de los cuales 15 km² corresponden a la masa de agua del Lago de Amatitlán. El resto del área se encuentra ocupada parcialmente entre los Municipios de Villa Nueva, Villa Canales, Mixco, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, San Lucas Sacatepéquez, Santa Lucía Milpas Altas, y Magdalena Milpas Altas.

5.5.1.1 Lago de Amatitlán

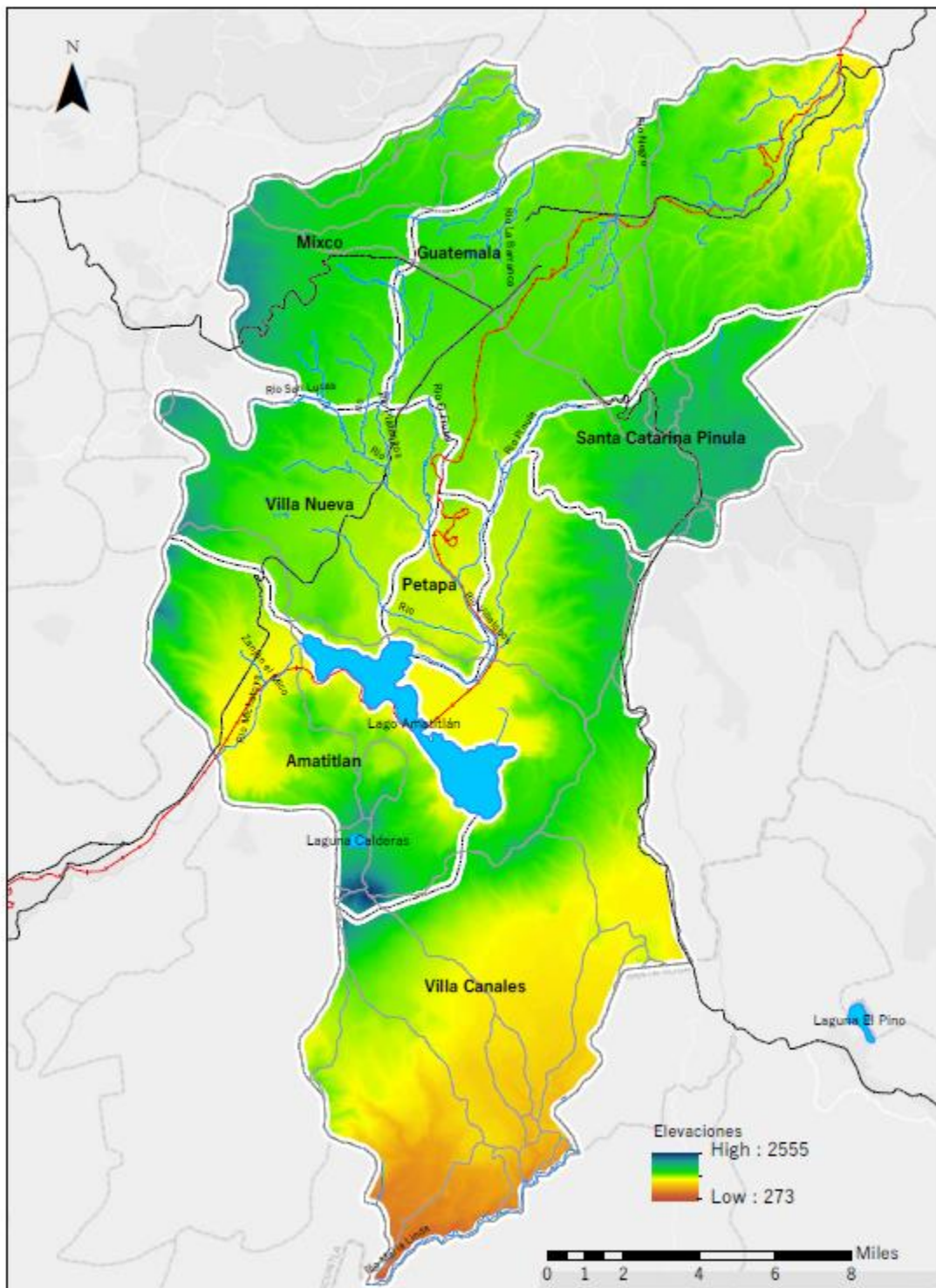
La cuenca del lago de Amatitlán presenta una extensión estimada de 402.92 Km², en la cual se distribuyen los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez. Dentro de esta cuenca existen varias microcuencas, que conforman las cuencas del río Villalobos y Pampumay, las cuales drenan sus aguas al lago de Amatitlán. La cuenca del río Villalobos aporta más del 95 % de agua al lago de en la región Oeste del lago, mientras que la cuenca del río Pampumay, aporta únicamente el 2.71 % y drena sus aguas en el Lado Este del lago de Amatitlán.

Tuvo su origen en la Era Cuaternaria y su formación se debe a movimientos tectovolcánicos producidos especialmente por los volcanes de Pacaya, Agua, Fuego y Acatenango. Su extensión original era de 80 km², actualmente, su extensión se calcula en 15 km², está ubicado a una altura geodésica de 1,186 msnm, con una longitud de 11 km y un ancho de 3.4 km. Se estima que el volumen de agua actual es de 225 millones de m³. La profundidad promedio es de 15 metros y la máxima es de 32 metros.

Actualmente, el lago es utilizado con varios fines, entre estos los principales son: a) consumo doméstico; b) irrigación; c) recreación; d) hidroelectricidad; e) navegación; f) pesca con fines comerciales. Está situado a escasos 32 kilómetros de la ciudad capital. El lago presenta la particularidad de estar dividido en dos segmentos, lo que se debe a la construcción de un relleno sobre el cual hace varios años circulaba el ferrocarril.

En la Ilustración siguiente se aprecia un esquema de las cuencas ubicadas dentro de la MGCS y sus principales ríos.

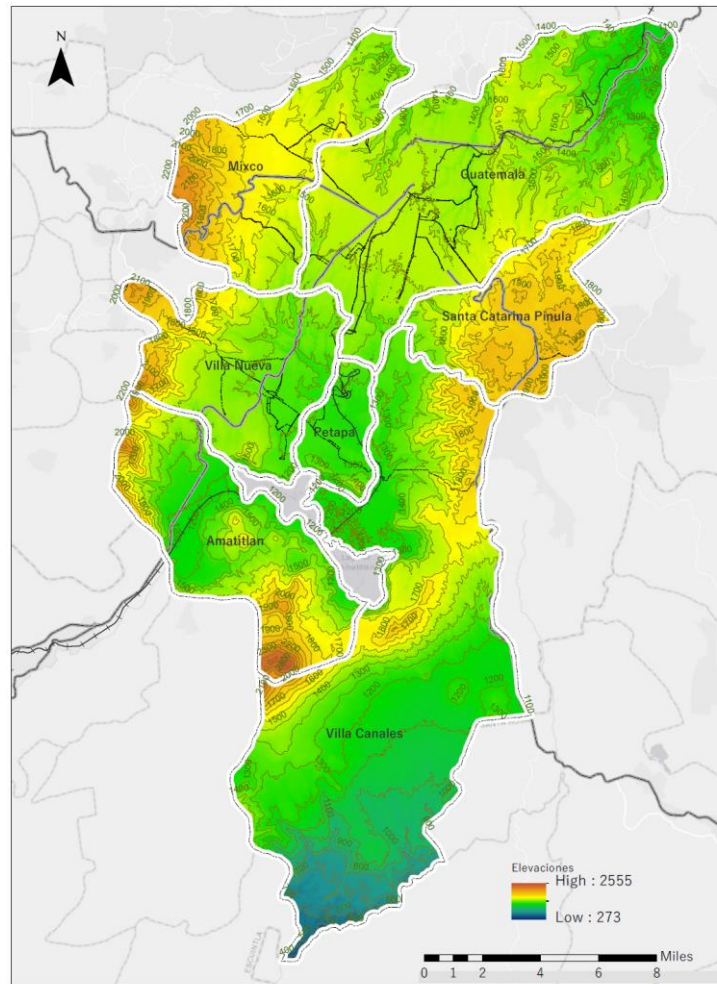
Ilustración 19 Mapa Hidrográfico del área de Influencia



5.6 Topografía

La configuración topográfica de la zona metropolitana de Guatemala nos muestra un valle central de orientación aproximada norte – sur bordeado por áreas montañosas al occidente y oriente. Esta configuración ha sido interpretada por algunos autores como un hundimiento tectónico o "graben" donde el bloque central se hunde con respecto a los bloques levantados en sus bordes por la acción de la zona de falla de Mixco en el occidente y de la zona de falla de Santa Catarina Pinula en el oriente. Internamente, el valle forma secuencias de planicies y barrancos como resultado de procesos erosivos del tipo fluvial relacionados a ríos, cañadas y quebradas. Los sistemas fluviales más prominentes en el valle corresponden al río Villalobos al sur y a los ríos El Zapote, Chinautla y Las Vacas al norte.

Ilustración 20 Mapa topográfico de MGCS



MANCOMUNIDAD GRAN CIUDAD DEL SUR (MGCS)

MAPA TOPOGRÁFICO

Durante, el desarrollo de este documento se obtuvo información DMT y los mapas topográficos a escala 1:5000 del IGN, con los que se generaron mapas topográficos para cada uno de los municipios de la MGCS.

Ilustración 21 Mapa Topográfico Amatitlán

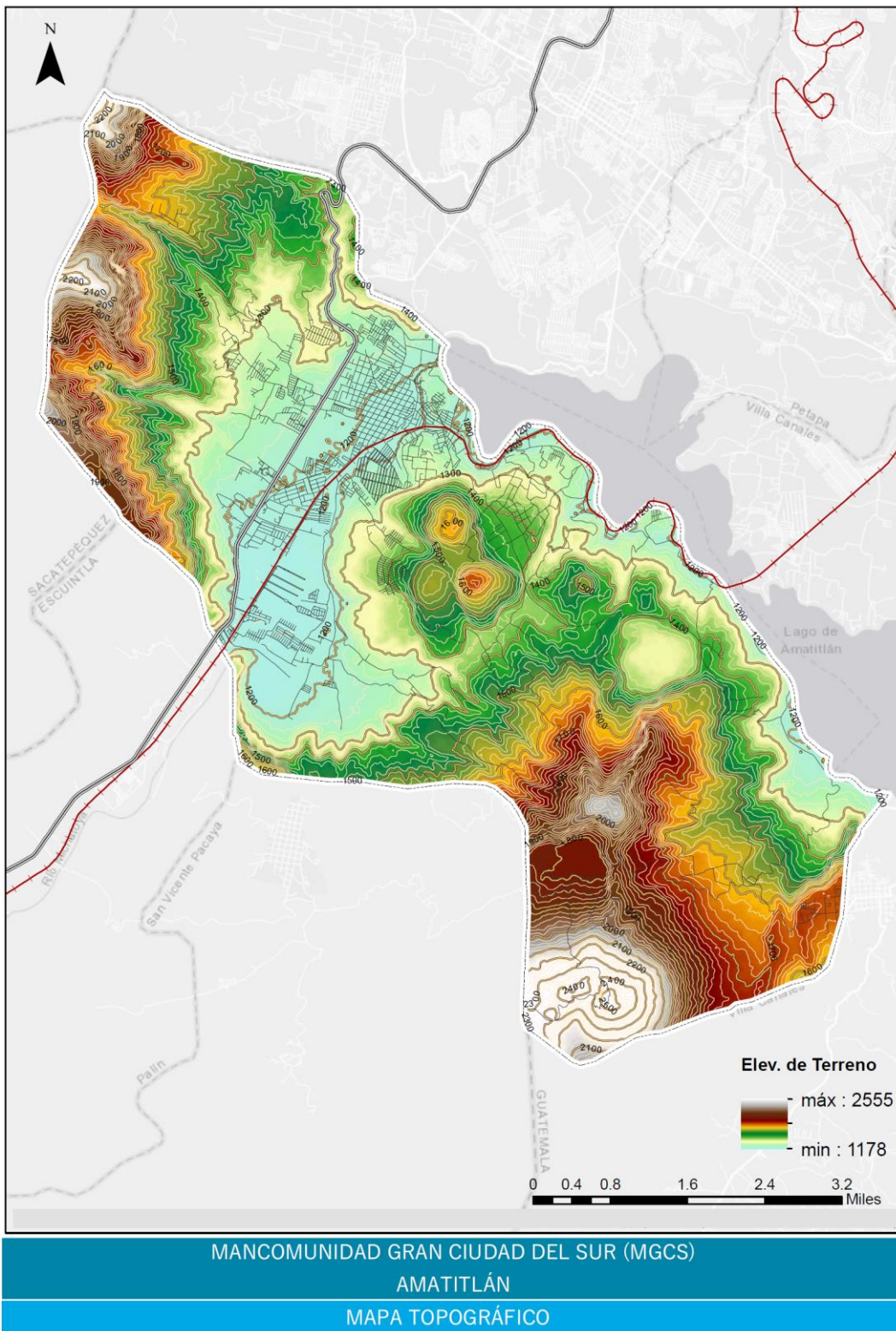


Ilustración 22 Mapa Topográfico Mixco

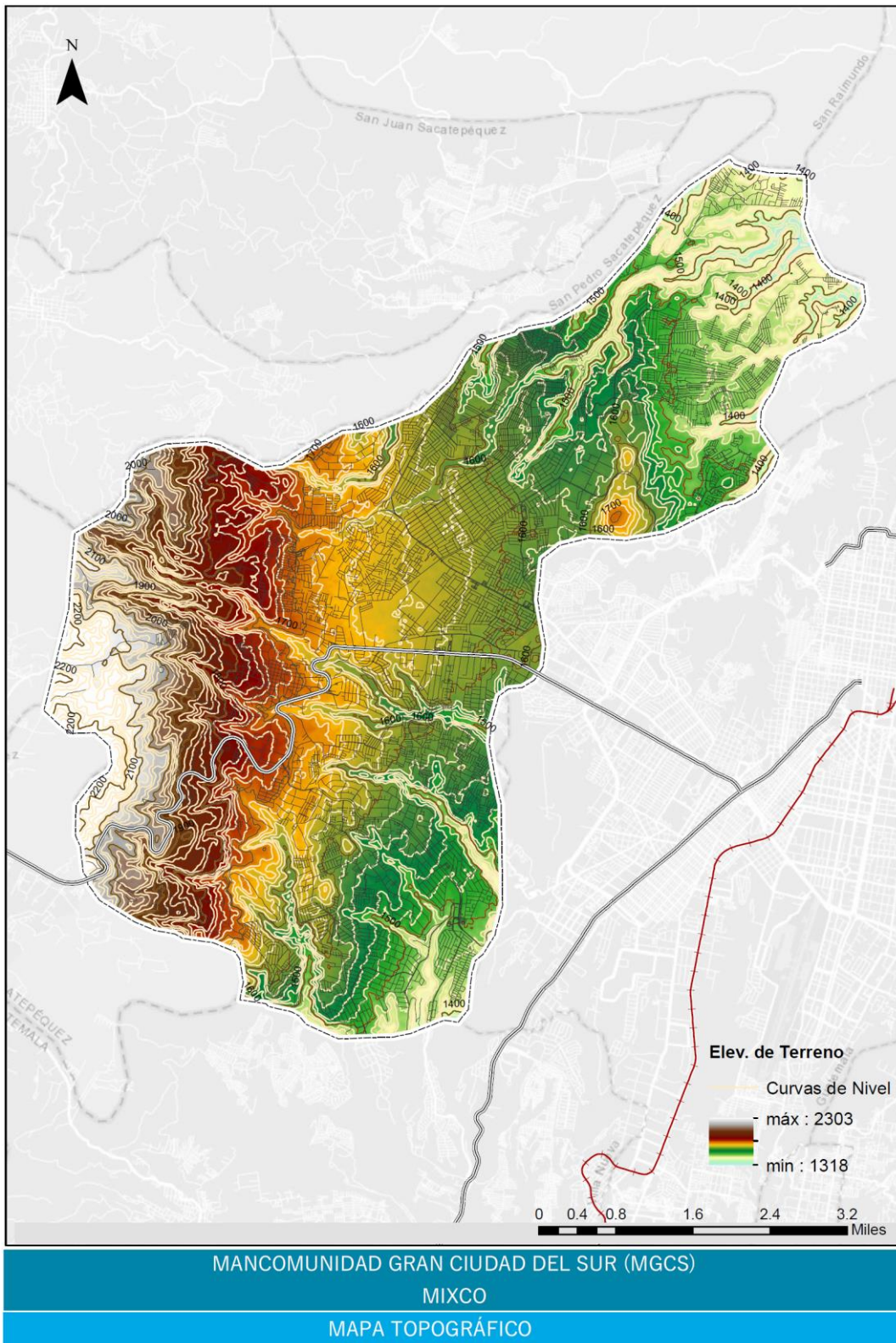
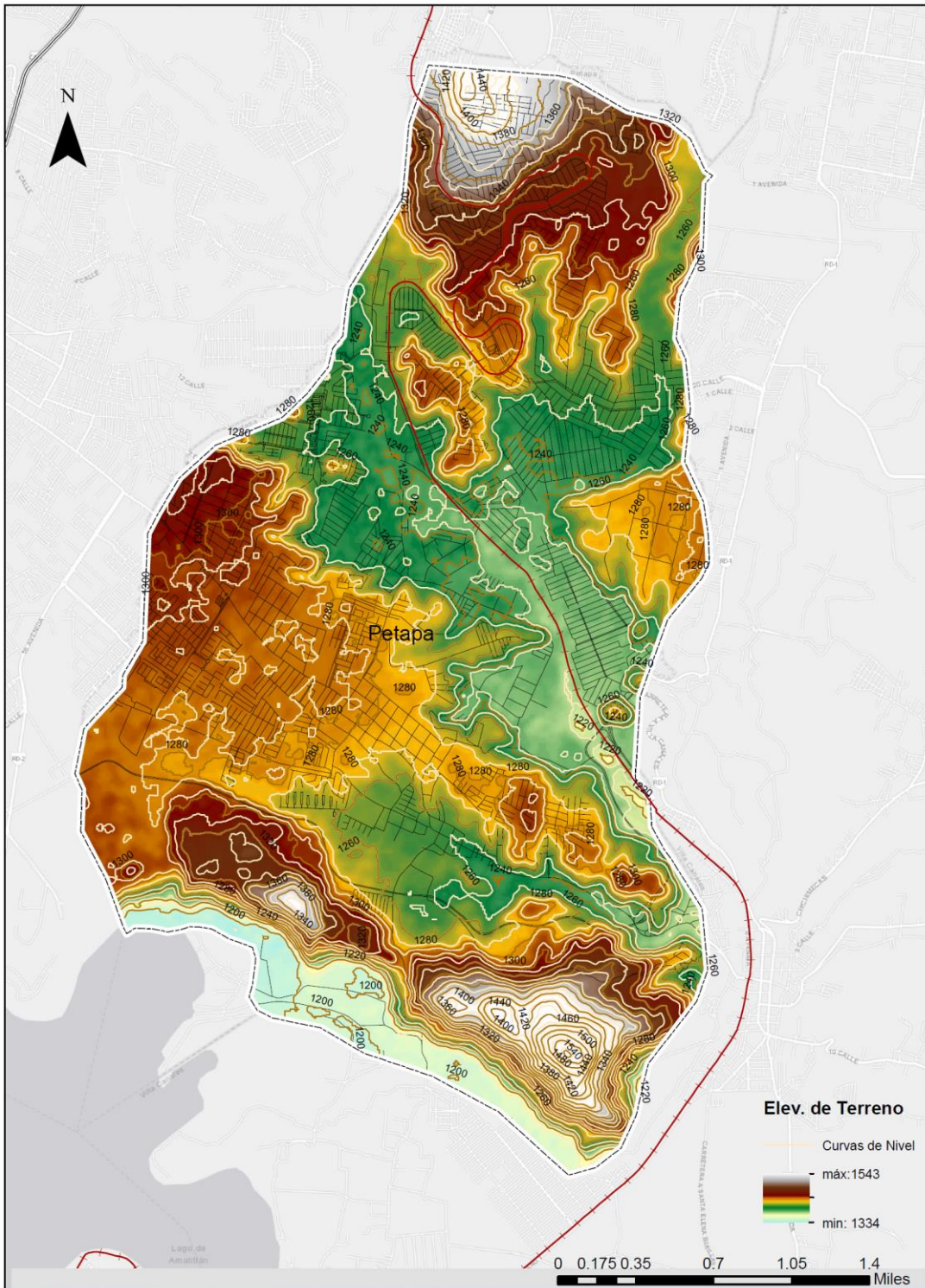


Ilustración 23 Mapa Topográfico San Miguel Petapa

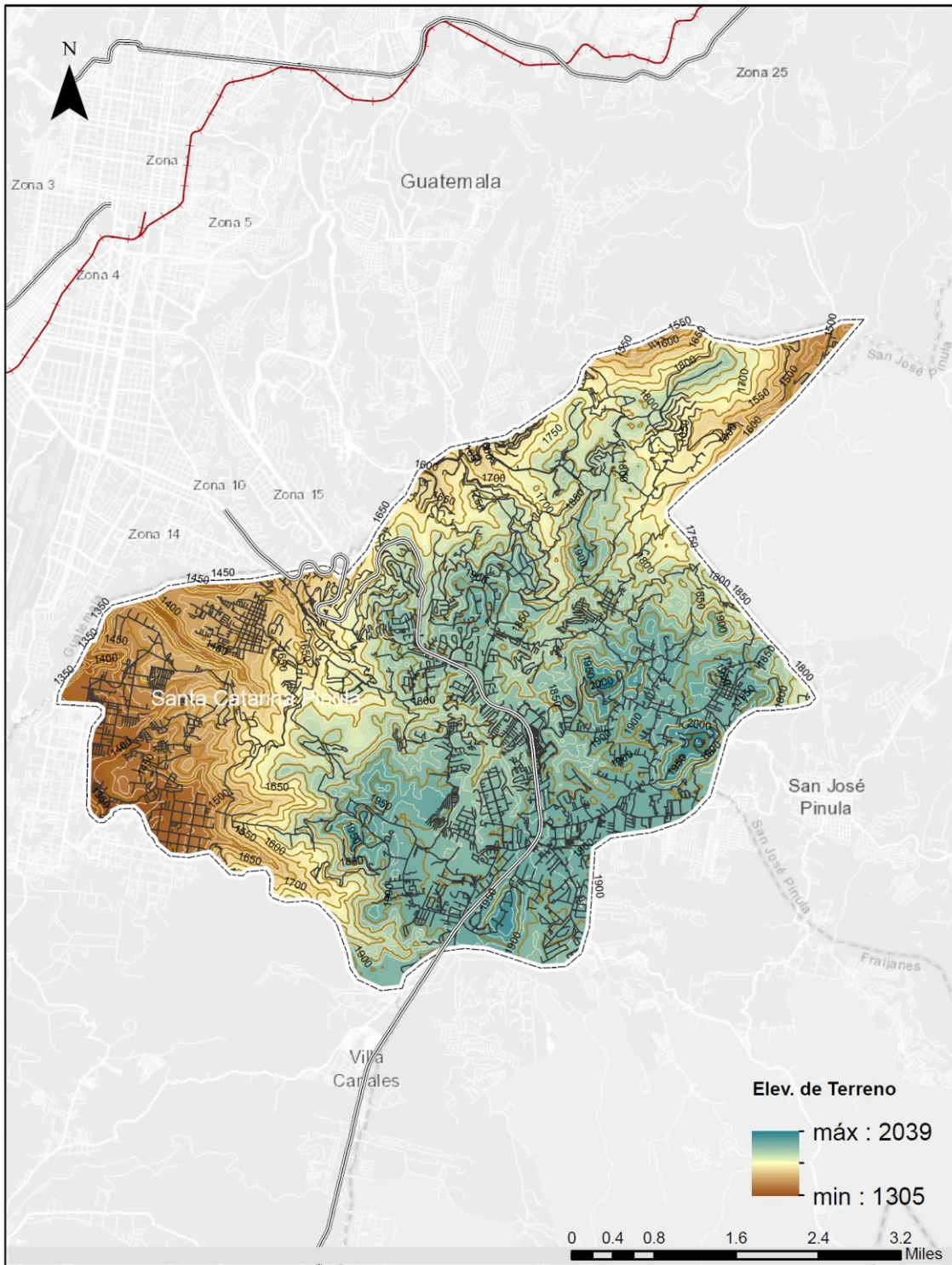


MANCOMUNIDAD GRAN CIUDAD DEL SUR (MGCS)

PETAPA

MAPA TOPOGRÁFICO

Ilustración 24 Mapa Topográfico Santa Catalina Pinula



MANCOMUNIDAD GRAN CIUDAD DEL SUR (MGCS)
SANTA CATARINA PINULA

Ilustración 25 Mapa Topográfico Villa Nueva

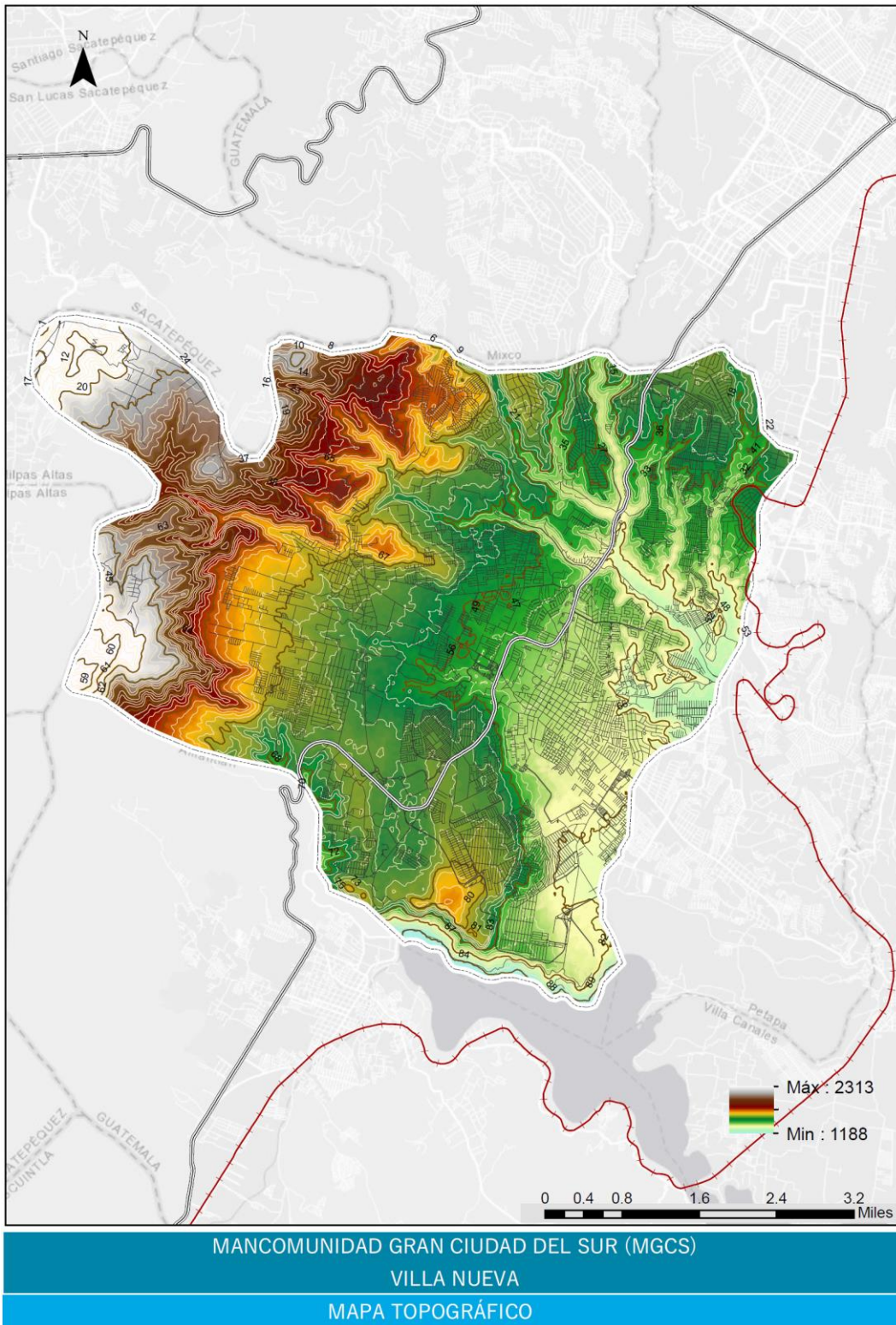
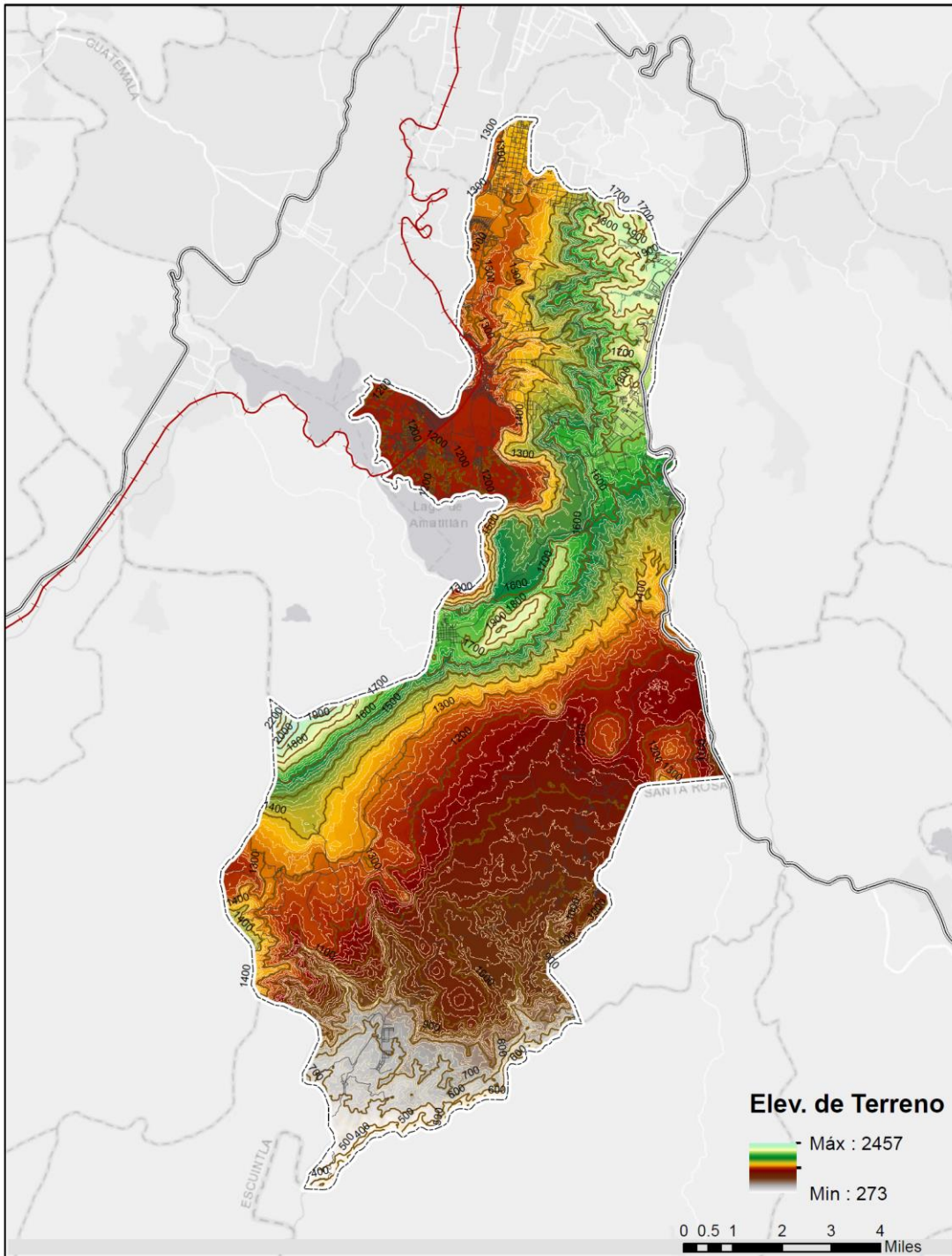


Ilustración 27 Mapa Topográfico Municipio de Villa Canales



MANCOMUNIDAD GRAN CIUDAD DEL SUR (MGCS)
VILLA CANALES
MAPA TOPOGRÁFICO

5.7 Geología

En Guatemala se encuentran dos terrenos geológicos distintos, al norte las rocas metamórficas y sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico, y al sur, principalmente rocas ígneas recientes del Terciario y Cuaternario. Esta geología está en correspondencia a dos placas tectónicas, la de Norteamérica y la del Caribe, separadas por sistemas de fallas de Motagua, Chixoy-Polochic y Jocotán (Martens et al, 2007).

En el departamento de Guatemala específicamente se han identificado las rocas más antiguas (metamórficas) que incluyen: esquistos, filitas y gneis; estas forman el basamento abarcando edades desde el Paleozoico hasta Mesozoico, los principales afloramientos están en el valle del río Motagua (Herrera, I. I., 2012).

Al norte de Guatemala se observan rocas del Mesozoico y Cenozoico, de tipo sedimentarias detríticas: areniscas y limolitas depositadas sobre una plataforma marina somera del Cretácico, así como depósitos calcáreos en amplios espesores. Al sur de la ciudad se localiza centros eruptivos volcánicos de edad Terciaria y Cuaternaria. Tomado como referencia el documento de Herrera (2012), en general, la estratigrafía del departamento de Guatemala comprende en orden ascendente de más antigua a más reciente:

- Rocas metamórficas (Paleozoico superior a Terciario inferior)

Las rocas metamórficas se presentan al norte del departamento de Guatemala y pertenecen al Grupo Chuacús, Formación San Diego y Formación El Tambor. La litología está compuesta de filitas, esquistos, gneises, migmatitas, mármol y anfibolitas. Hacia la parte norte de la Falla Motagua afloran serpentinitas.

- Rocas intrusivas (Mesozoico y Terciario)

Las rocas intrusivas afloran al norte, en San Raimundo, San Antonio Las Flores y San Pedro Ayampuc, siendo principalmente granitos y dioritas.

- Carbonatos (Cretácico)

Los carbonatos se presentan al norte de la Ciudad de Guatemala hacia la Carretera del Atlántico (Zonas 6 y 18) y están compuestas por una secuencia de espesor variable de calizas y dolomías cretácicas.

- Rocas clásticas (Cretácico superior)

Las rocas clásticas afloran al norte de la Falla del Motagua y están representadas por conglomerados, areniscas y lutitas.

- Rocas volcánicas antiguas (Terciario superior)

Las rocas volcánicas antiguas afloran principalmente hacia los costados de la Ciudad de Guatemala, al este en San José Pinula y Santa Catarina Pinula, y al oeste en Mixco y Villa Nueva, es decir, constituyen las estructuras de "Horst" del valle de Guatemala. Estas rocas son principalmente andesitas, basaltos, riolitas y dacitas.

- Rocas volcánicas recientes (Cuaternario)

Las rocas volcánicas recientes son principalmente flujos de basaltos con algunas cúpulas de andesitas y dacitas, que se presentan al sur del área, producto del Volcán de Pacaya, que originó, además, flujos piroclástico constituidos por tobas y depósitos de pómez que rellenaron parte del graben de la ciudad

encuentra entre 15° y 28° centígrados, con un 100% de evapotranspiración y un 60% de días soleados. Esto significa que la región tiene una temperatura variable, con una tendencia a ser calurosa y lluviosa. El país está ubicado en el trópico de cáncer, razón por la cual no existen cuatro estaciones definidas como en los hemisferios norte o sur, sin embargo, por las horas de luz a lo largo del año las cuales tienen una variación de únicamente dos horas, es más semejante con las estaciones del hemisferio norte.

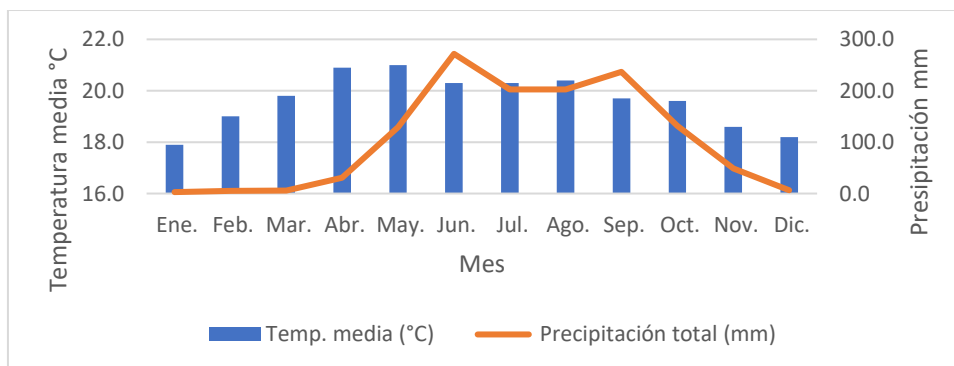
La Ciudad de Guatemala goza de un clima templado de tierras altas (Clima Templado Subhúmedo de Montaña Cwb), debido a su elevación sobre el nivel del mar (1500-1700 msnm), por lo que tiende a tener un clima muy suave, casi similar a la estación primaveral a lo largo del año. Existen dos temporadas muy bien marcadas en año: La temporada de lluvias se extiende de mayo a octubre y la temporada seca que va de noviembre a abril.

Por las horas de luz en el año podría decirse que el verano va de junio a septiembre, generalmente se presentan mañanas parcialmente soleadas con aumento de temperaturas y tardes de lluvia o tormentas. La sensación térmica en esta estación puede ser un poco más elevada en el periodo de canícula o recesión de las lluvias, que generalmente se da entre los meses de julio y agosto; presentando los niveles de humedad más altos en todo el año. El otoño como en la mayor parte de los países tropicales es poco perceptible, en Ciudad de Guatemala va de finales de septiembre a finales de diciembre y se caracteriza principalmente por el incremento de lluvias al inicio de la estación (septiembre-octubre), por el ingreso de los primeros frentes fríos procedentes del norte, la disminución de temperaturas y el incremento de la velocidad del viento.

El invierno va de finales de diciembre a finales de marzo y se caracteriza por la disminución de temperaturas principalmente en los meses de enero y febrero donde se han registrado las temperaturas mínimas récord (2°C) con sensaciones térmicas de hasta cinco grados menos por la velocidad del viento.

La primavera es la estación más calurosa en Ciudad de Guatemala y en el interior del país, debido a esto la mayoría de personas suele llamarle verano, ésta va de finales de marzo a finales de junio y se caracteriza principalmente por el florecimiento de diversos árboles en la Ciudad (matlisguates, jacarandas, palos blancos, flamboyanes, entre otros) así como por el viento sur constante, amaneceres con bancos de niebla y las temperaturas más altas en todo el año las cuales pueden superar en algunas ocasiones los 30°C. El clima se ve altamente influenciado en Guatemala por los fenómenos naturales de El Niño y La Niña, los cuales pueden cambiar por completo los parámetros de las condiciones atmosféricas; derivando situaciones extremas de sequías, ciclones tropicales, inundaciones y temperaturas máximas y mínimas poco habituales.

Ilustración 29 Promedio de temperatura y precipitación en Guatemala



5.9 Suelos

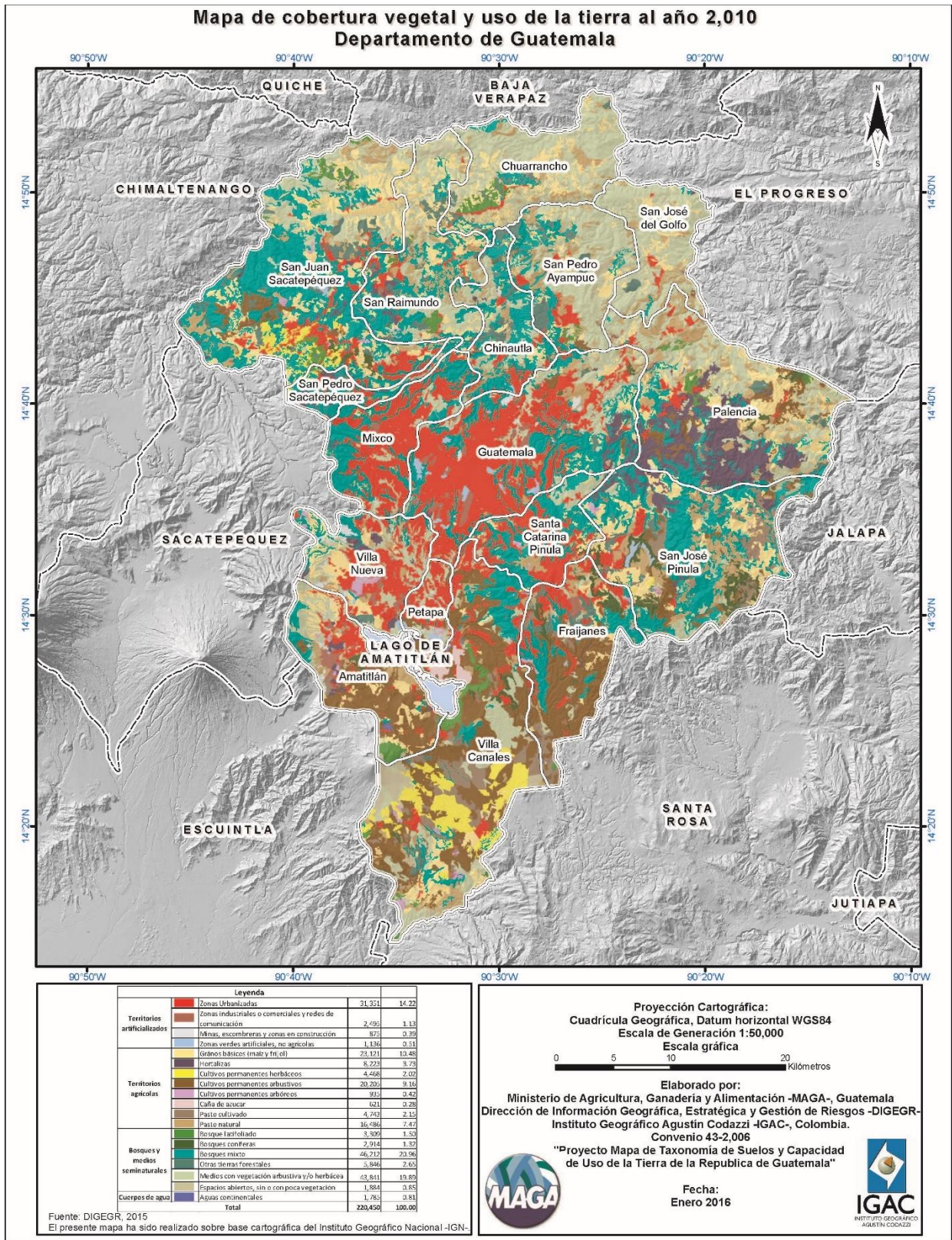
El suelo es uno de los recursos naturales que sirve para sustentar las actividades agrícolas. Sirve también para establecer infraestructuras urbanas, viales y otras, y como material de construcción cuando sus características mecánicas lo permiten.

La DIGEGR del MAGA (2015) coordinó un estudio que permitió establecer el estado actual de la cobertura vegetal y el uso de la tierra del departamento de Guatemala. Se trabajó editando sobre la capa de ocupación de suelos provenientes de las fotografías aéreas digitales tomadas en el año 2006 y el año 2007; la información se actualizó al año 2010 por medio de talleres con expertos locales de cada municipio, estructurándose la leyenda con base en la metodología Corine Land Cover (MARN, 2002), adaptada a las condiciones del país. Los resultados obtenidos se muestran en la Ilustración 25 Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del departamento de Guatemala, MAGA, 2015 y en la Tabla 10.

Tabla 9 Cobertura vegetal y uso de la tierra en el departamento de Guatemala

Categorías		Superficie	
		ha	%
Territorios artificializados	Zonas Urbanizadas	31,351	14.22
	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	2,495	1.13
	Minas, escombreras y zonas en construcción	875	0.39
	Zonas verdes artificiales, no agrícolas	1,136	0.51
Territorios agrícolas	Granos básicos (maíz y frijol)	23,121	10.48
	Hortalizas	8,223	3.72
	Cultivos permanentes herbáceos	4,468	2.02
	Cultivos permanentes arbustivos	20,205	9.16
	Cultivos permanentes arbóreos	935	0.42
	Caña de azúcar	621	0.28
	Pasto cultivado	4,743	2.15
	Pasto natural	16,486	7.47
Bosques y medios seminaturales	Bosque latifoliado	3,309	1.50
	Bosque de coníferas	2,914	1.32
	Bosque mixto	46,212	20.96
	Otras tierras forestales	5,846	2.65
	Medios con vegetación arbustiva y/o herbácea	43,841	19.88
	Espacios abiertos, sin o con poca vegetación	1,884	0.85
Cuerpos de agua	Aguas continentales	1,785	0.80
Tota l		220,450	100.00

Ilustración 30 Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del departamento de Guatemala, MAGA, 2015



Capacidad de uso de las tierras de Guatemala

La clasificación taxonómica del suelo se realizó hasta la categoría de “familia”. El sistema de clasificación utilizado se compone de tres categorías: clases, subclases y grupos de manejo (IGAC, 2014):

- Clases: La clase de capacidad agrupa suelos que presentan el mismo grado relativo de limitaciones generales y de riesgos, en cada una se interpretan aspectos generales relacionados con la posición geomorfológica, relieve, grado de pendiente, clima, grado de limitación y capacidad de uso.

Las clases son ocho, se nombran con números romanos (I a VIII). Las limitaciones para la producción se incrementan al subir el orden de las clases, hasta llegar a la clase VIII, que es la clase de protección y conservación de los recursos naturales y la biodiversidad.

Clases I, II, III y IV: son las clases de capacidad de uso agrícola, las limitaciones son crecientes de la primera a la cuarta clase, tienen aptitud para la producción de cultivos, para el cultivo de pastos con ganadería tecnificada.

La clase IV posee mayores limitaciones que obligan a incrementar las medidas de conservación de suelos y aguas y limitan el tipo de cultivos, orientándose (aunque no en forma exclusiva) hacia los cultivos permanentes que protegen de mejor forma el suelo.

Clase V: es una clase con limitaciones tan severas respecto a condiciones de encharcamiento, pedregosidad y otros factores que no se puede utilizar normalmente en el proceso de producción agropecuaria y forestal; esta es una clase de conservación de los recursos naturales que podría revertirse a una clase productiva, solo si se realizan fuertes inversiones.

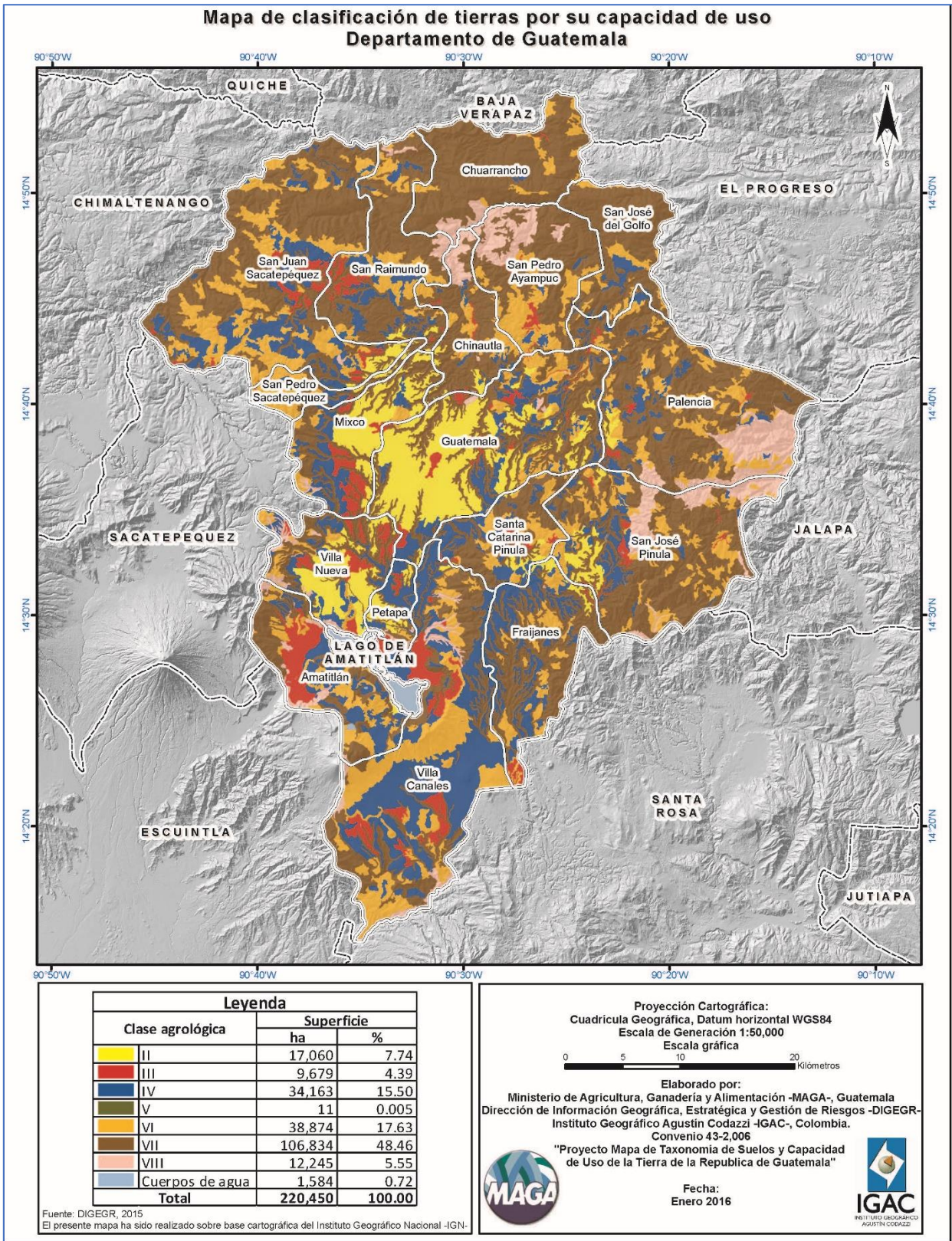
Clase VI: posee limitaciones severas que restringen su utilización a cultivos de cobertura permanente en sistemas agroforestales; necesitan fuertes medidas de conservación de suelos y aguas. Asimismo, es posible utilizarla en sistemas silvopastoriles (ganadería extensiva manteniendo la cobertura forestal).

Clase VII: posee limitaciones muy severas por pendientes elevadas y otros factores que restringen su utilización a las actividades forestales de producción (plantaciones forestales y/o manejo productivo del bosque natural), necesitan muy fuertes medidas de conservación de suelos y aguas.

Clase VIII: posee limitaciones extremadamente severas que restringen su utilización en la producción agropecuaria y forestal, debe dedicarse a la conservación de los recursos naturales, las fuentes de agua y la biodiversidad.

En la Ilustración siguiente, se presenta el Mapa de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso del departamento Guatemala.

Ilustración 31 Mapa de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso departamento de Guatemala



5.10 Situación General de los Desechos Sólidos en el Área Metropolitana de Guatemala

Con referencia a la procedencia y composición de los residuos y desechos sólidos que se producen en el país, predomina el tipo agrícola y domiciliario, siendo éste en su mayoría materia orgánica. Los residuos de las actividades agrícolas son principalmente el tallo del racimo del banano, la pulpa del café, el rastrojo, bagazo y cachaza de la caña de azúcar y el desperdicio del destace de carne.

En lo que respecta a la composición de los residuos y desechos sólidos domiciliarios en el área metropolitana, el referente sigue siendo el estudio realizado por JICA (1995), en donde se concluye que del total de desechos el 63.3% es materia orgánica, el 14% es papel y cartón, el 8.1% es plástico, el 3.6% es textil, 3.2% es vidrio, el 3.0% es tierra y cenizas y el 5% restante se compone de madera, hojas, goma, metales, piedra, cerámica y pieles. Es importante destacar que un gran porcentaje son residuos que obviamente tienen potencial para ser reutilizados y reciclados.

La ciudad de Guatemala cuenta con uno de los vertederos de desechos sólidos más grandes de Latinoamérica, que se ubica en el centro de la ciudad, impactando social, ambiental, económica y sanitariamente.

Tipos de Desechos Generados en Guatemala:

1. Desechos Industriales (Recuperación, Acopio y Reciclaje)
2. Desechos Hospitalarios
3. Desechos Radiactivos
4. Desechos de Minería
5. Desechos de Envases Plásticos con Restos de Plaguicidas

Ilustración 32 Ubicación de los Vertederos en el Área Metropolitana de Guatemala



Tabla 10 Información de los Vertederos del Área Metropolitana de Guatemala

Información	Vertedero 1 Km 22, Villa Nueva	Vertedero 2 Zona 3, Guatemala	Información de ambos vertederos
Municipios que ingresan	30	15	Algunos municipios depositan en ambos vertederos
Ingreso diario de camiones	150	550	700 camiones diarios
Toneladas diarias	1,000	3200	4,200 toneladas diarias
Vida útil actual	1 año	0 años	Con Operación Actual
Vida útil con ampliación	3 años	12 años	Se necesitan inversiones para Ampliación

Del cuadro anterior se observa que la vida útil de ambos vertederos está al límite y se requieren inversiones para nuevos vertederos. La estrategia que se está siguiendo es la ampliación de la vida útil de los dos vertederos existentes para mientras para mientras se construyen nuevos vertederos.

5.10.1 Gestión de residuos sólidos

El Área Metropolitana tiene varios vertederos o depósitos de desechos sólidos urbanos (DSU), siendo los principales los ubicados en la Zona 3 de Ciudad de Guatemala y en el km. 22 CA-09 Sur del municipio de Villa Nueva.

El vertedero en donde se depositan la mayoría de los DSU generados en los municipios de la RMG se ubica en la zona 3 de la Ciudad de Guatemala, cuyo volumen diario asciende a 3,740 toneladas.

Como se describe en el cuadro que sigue, la mayor parte de los DSU proceden de los municipios de Mixco (760 Ton) y Guatemala (1,500 Ton).

Tabla 11. Cantidad de desechos sólidos urbanos depositados diariamente en el vertedero de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala.²⁸

Municipios	Vertedero	Ton	% DSU
Municipio de Mixco	Zona 3, Ciudad	760	20.21
Municipio de Guatemala	Zona 3, Ciudad	1500	39.89
Otros municipios aledaños a la Ciudad de	Zona 3, Ciudad	1500	39.89
Total		3760	100

Por su parte, el cuadro a continuación, muestra la cantidad de desechos sólidos urbanos depositados diariamente en el vertedero del km 22 CA-09 Sur (según datos del año 2012), la cual asciende a 780 Ton DSU/día. En este vertedero, la mayoría de DSU (aproximadamente 710 Ton/día; equivalente al 91% del total del vertedero) son aportado por los municipios que conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. Otros municipios de la RMG, que no forman parte de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, aportan un menor volumen de DSU a dicho vertedero (aproximadamente 24 Ton DSU/día; equivalente al 3% del total del vertedero).

²⁸ Fuente: Elaboración propia basada en datos de Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (2016)

²⁹ No se dispone de un desglose del volumen de DSU para la categoría calificada como "otros municipios aledaños", ni tan siquiera de los municipios que esta categoría compone

Llama la atención el elevado número de toneladas métricas de DSU diarias que el municipio de Villa Nueva envía a este vertedero (468 en promedio). Si bien la referencia utilizada (Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, 2016) no explica los motivos por los que esto es así, a continuación, se plantea un breve análisis de posibles razones para ello. Un motivo podría ser porque es uno de los municipios más poblados. Así mismo, como se explicó con anterioridad, otros municipios altamente poblados (Guatemala y Mixco) envían la mayor parte de sus desechos al vertedero ubicado en la zona 3 de la Ciudad de Guatemala. La presencia del CENMA en el municipio de Villa Nueva probablemente explique en parte el elevado volumen de DSU generados en dicho municipio.

Tabla 12. Cantidad de desechos sólidos urbanos depositados diariamente en el vertedero del km 22 CA-09 Sur.

No.	Municipio	Departamento	Ton DSU/Día	%DSU
1	Amatitlán *	Guatemala	125	16%
2	Mixco *	Guatemala	16	2%
3	San Miguel Petapa *	Guatemala	23	3%
4	Santa Catarina Pinula *	Guatemala	16	2%
5	Villa Canales *	Guatemala	62	8%
6	Villa Nueva *	Guatemala	468	60%
7	Guatemala **	Guatemala	16	2%
8	San Pedro Sacatepéquez **	Guatemala	8	1%
9	Santiago Sacatepéquez	Sacatepéquez	8	1%
10	San Lucas Sacatepéquez	Sacatepéquez	16	2%
11	San Bartolomé Milpas Altas	Sacatepéquez	8	1%
12	Santa Lucía Sacatepéquez	Sacatepéquez	8	1%
13	Magdalena Milpas Altas	Sacatepéquez	8	1%
Total			780	100%

*Municipios de la RMG y la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur.

** Municipios de la RMG que no conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur.

Es importante mencionar que además de la cantidad de toneladas de DSU mencionadas con anterioridad, existen vertederos ilegales o clandestinos. La Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (2016) identificó, para el año 2002, la existencia de 170 basureros ilegales.

Los DSU del vertedero del km.22 CA-09 Sur, proceden en un 56.52% de origen domiciliario, el 30.43% de origen agroindustrial, mientras que el 13.05% proviene de los mercados. Por su parte, el 63.22% de los desechos de este vertedero son de tipo orgánico, 36.66% son cartón, 0.037% plásticos, 1.5% materiales no reciclables y 1.25% corresponde a tierra u otros materiales (Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, 2016). Puesto que más de la mitad de los desechos que llegan al vertedero son de tipo orgánico, si éstos fueran separados con anterioridad a su ingreso al vertedero, pudieran ser reciclados.

La mayoría de vertederos existentes causan la contaminación de los mantos freáticos, y fuentes superficiales, entre otras problemáticas medioambientales.

Al ritmo actual, la capacidad de almacenamiento de DSU del vertedero del km.22 CA-09 Sur no sería suficiente. Para solucionar esta problemática, se está diseñando un proyecto de Manejo Integral de DSU, el cual se espera se construya sobre los cuatro ejes siguientes:

Regulación y reglamentación para el manejo de desechos sólidos en los municipios de la Mancomunidad.

- Construcción y habilitación de un nuevo relleno sanitario.

- Generación de recursos provenientes del buen manejo de los DSU.
- Utilización de recursos provenientes del buen manejo de los DSU.

Este plan conlleva la necesidad de invertir en nuevas tecnologías y equipo, que van desde la recolección hasta el manejo adecuado de los desechos; y del apoyo de la población en general, desde la clasificación de los desechos hasta el pago de tarifas de recolección y manejo de la basura acorde al servicio.

Además de crear un nuevo vertedero con mejores estándares de manejo, la Mancomunidad espera poder obtener beneficios monetarios del mismo, de tal manera que esperan poder crear un Fondo Mancomunado para la Limpieza y el Ornato.

Actualmente, la Mancomunidad ya cuenta con un documento de diagnóstico y propuesta de un “Sistema de gestión para el manejo de los desechos sólidos de la Gran Ciudad del Sur, alrededor de la Cuenca del Lago de Amatitlán”. Además, la Municipalidad de Villa Nueva ya adquirió un terreno de 20 manzanas para la construcción y habilitación de un nuevo relleno sanitario, lo cual evidencia la voluntad política y administrativa de las municipalidades que conforman la Mancomunidad para la ejecución del proyecto.

6 Aspectos regulatorios

6.1 Desarrollo Histórico del Sector

La mayor parte de los estudios y propuestas de proyectos recopilados y analizados, reconocen la necesidad de revisar y clarificar el marco regulatorio existente, el cual es confuso y falto de claridad en los diferentes roles de la prestación de los servicios.

Parte de la confusión existente respecto a las regulaciones se debe a los muchos cambios realizados en los últimos años.

En el documento “Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento, MSPAS” elaborado en el año, 2013, se indican los siguientes cambios:

- *La responsabilidad de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento siempre ha estado bajo los gobiernos municipales. Sin embargo, en lo que corresponde al ordenamiento institucional del sector, ha existido falta de claridad cuando se definen las funciones de construcción, rectoría y la regulación de dichos servicios.*
- *Históricamente, se crea COPECAS, cuya función fue la coordinación de las instituciones del Sector Público que realizaban actividades relacionadas con el suministro de agua potable a las poblaciones del país y la adecuada disposición de excretas.*
- *En 1997 se encarga al INFOM la gestión de las políticas y estrategias del Sector Agua Potable y Saneamiento, así como la implementación y ejecución de las acciones que de ellas se deriven. En el mismo año, UNEPAR y PAYSA, entidades que pertenecían al MSPAS, se traspasaron al INFOM.*
- *En el año 2000 se disuelve COPECAS y se crea la Comisión Intersectorial encargada del proceso de Reforma y Modernización del Sector de Agua Potable y Saneamiento. Esta Comisión actuó hasta el año 2005.*
- *En el 2008, se crea el GEA, cuyo propósito fue la coordinación de esfuerzos gubernamentales de diseño y gestión de las políticas, planes y presupuestos del agua para contribuir al logro de metas y objetivos de desarrollo nacional. Este gabinete deja de funcionar en agosto del año 2012.*
- *En el año 2010, el MSPAS creó la Unidad Especial de Ejecución Administrativa para el Control del Agua Potable y Saneamiento, con el objeto de fortalecer el rol del Ministerio en el diseño de las políticas y planificación que regirán la prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento.*
- *En el mes de marzo del 2012 se nombra al Secretario Específico de la Vicepresidencia de la República para*

coordinar todo lo relacionado al tema de agua en sus múltiples usos y funciones. En este marco de actuación, la Vicepresidencia de la República, por intermedio del Secretario Específico del Agua, apoyó la formulación de la Política Nacional de Agua y Saneamiento.

En el año 2006 se decreta el Acuerdo Gubernativo No 236-2006 del MSPAS, el cual también ha sido modificado tres veces con los Acuerdos Gubernativos 137- 2016, 138 -2018 y 254-2019 que establece los límites de descarga y los planes graduales de cumplimiento de los contaminantes definidos.

En los últimos años se han logrado avances significativos en la institucionalidad del sector de agua potable y saneamiento, sin embargo, aún se presenta importantes retos a enfrentar.

6.2 Marco Legal e Institucional Actual del Sector de Agua y Saneamiento

6.2.1 Prestación y Administración de los Servicios

La Constitución Política de la República de Guatemala establece en el Artículo 253 que a los municipios les corresponde atender los servicios públicos locales, entre los que se encuentran los servicios de agua potable y saneamiento. Este Artículo da a los 332 municipios del país la responsabilidad de utilizar sus recursos para proporcionar servicios públicos.

El Código Municipal, Decreto N° 12-2002, y su Reforma, Decreto N° 56-2002, ambos del Congreso de la República, confirman la responsabilidad legal de los municipios para entregar servicios públicos, incluyendo servicios de agua y de saneamiento, a todos los que viven en áreas urbanas y rurales. En el Capítulo 1 del Título V, al referirse a las competencias municipales, expresa que éstas “podrán cumplirse por un municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad”.

El Código de Salud, en el Artículo 92. Dotación de servicios, establece que 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 Código de Salud, además, en el Artículo 93 indica que el MSPAS, de manera conjunta con las instituciones del Sector, las Municipalidades y la comunidad organizada, promoverá la cobertura universal de la población con servicios para la disposición final de excretas, la conducción y tratamiento de aguas residuales y fomentará acciones de educación sanitaria para el correcto uso de las mismas; para lo cual se creó por Acuerdo Ministerial 595-2010, la Unidad Especial de Ejecución Administrativa para el Control de Agua Potable y Saneamiento, UAAPS.

La Ley General de Descentralización, Decreto número 14-2002, del Congreso de la República promueve en forma sistemática la descentralización económica administrativa de los servicios incluido los de agua y saneamiento.

El Código de Salud en su Artículo 102 dicta que corresponde a las Municipalidades la prestación de los servicios; de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos de acuerdo con las leyes específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables. Las municipalidades podrían utilizar lugares para la disposición de desechos sólidos o construcción de los respectivos rellenos sanitarios, previo dictamen del Ministerio de Salud y la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el que deberá ser elaborado dentro del plazo improrrogable de dos meses de solicitado.

La Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala -EMPAGUA-, fue creada por acuerdo municipal del 28 de noviembre de 1972. Tiene como fin la prestación del servicio municipal de agua y saneamiento en la Ciudad de Guatemala, su área de influencia urbana, y según los convenios que firmaren y aprobaran en cualquier otro municipio. En consecuencia, le corresponde la producción,

distribución, mantenimiento, mejoramiento, ampliación y todas aquellas actividades que garanticen dichos fines. Es la empresa encargada de dotar de los servicios de agua potable y alcantarillado para los vecinos de la Ciudad de Guatemala y áreas de influencia. Aun cuando dentro de sus tarifas escalonadas brinda servicio subsidiado a un buen número de usuarios, es una entidad auto sostenible. Entre sus funciones planifica, diseña, financia, ejecuta y supervisa las obras de construcción, mejoramiento, ampliación, reconstrucción y mantenimiento del servicio de agua potable y saneamiento en la Ciudad de Guatemala y sus áreas de influencia.

Las municipalidades, atendiendo a la responsabilidad de la prestación de servicios, elaboran los manuales de funciones e incorporan dentro de la organización municipal, las funciones de administración y prestación de los servicios de agua y saneamiento.

6.2.2 Políticas Sanitarias y Normativa

Hay una multitud de entidades de gobierno implicadas en asuntos de agua y saneamiento y a ninguna de ellas ha sido asignada una función clara de liderazgo en el sector. El Ministerio de Salud, el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y la Secretaría de Planificación y Programación (Segeplán) en la oficina del presidente tienen funciones, sin embargo, no bien definidas, en la determinación de políticas y estrategias para agua y saneamiento, así como para administración de recursos hidrológicos.

6.2.2.1 Algunas políticas y normas generales se definen a continuación:

El Código de Salud, en el Artículo 94. Normas sanitarias, define que 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.

El Código de Salud en el Artículo 97. Descarga de aguas residuales, establece la prohibición de descargas de contaminantes de origen industrial, agroindustrial y el uso de aguas residuales que no hayan sido tratadas sin previo dictamen favorable del Ministerio de Salud, La Comisión Nacional del Medio Ambiente y el Consejo Municipal de la jurisdicción o jurisdicciones municipales afectadas. Dicho dictamen debe ser emitido en el plazo que no exceda a lo que establezca el reglamento respectivo. Se prohíbe, asimismo la descarga de aguas residuales no tratadas en ríos, lagos, riachuelos y lagunas o cuerpos de agua ya sean estos superficiales o subterráneos.

El Artículo 98 del Código, respecto a la autorización de licencias, establece que para extender las licencias de construcción en general, o la construcción o reparación y/o modificación de obras públicas o privadas destinadas a la eliminación o disposición de excretas o aguas residuales, las municipalidades deberán previamente obtener el dictamen favorable del Ministerio de Salud, el que deberá ser emitido dentro de los plazos que queden indicados en la reglamentación específica; de no producirse el mismo se considerará favorable y la Municipalidad emitirá la autorización respectiva sin perjuicio de la responsabilidad ulterior a que se haga acreedora la unidad del Ministerio de Salud que no elaboró el dictamen en el plazo estipulado.

En 2008, se crea el Acuerdo ministerial 105-2008 MSPAS-Manual General del Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos-, el cual consiste en una guía general a ser usada por los entes que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, las personas que produzcan aguas residuales para reúso, las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales y las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

6.2.2.2 Construcción

El Código de Salud en el Artículo 96 establece que es responsabilidad de las Municipalidades o de los usuarios de las cuencas o subcuencas afectadas, la construcción de obras para el tratamiento de las aguas negras y servidas para evitar la contaminación de otras fuentes de aguas, ríos, lagos, nacimientos de agua. El Ministerio de Salud deberá brindar asistencia técnica en aspectos vinculados a la construcción, funcionamiento y mantenimiento de las mismas

El artículo 100 del mismo código establece que los sistemas privados de disposición de excretas deberán ser diseñados y construidos acatando las disposiciones que sobre la materia establezca el Ministerio de Salud, a fin de no comprometer los mantos freáticos, ni contaminar los cuerpos de agua.

La Política Nacional del Sector de Agua y Saneamiento del 2013 asigna la responsabilidad de ampliación de cobertura y mejora del funcionamiento de los servicios públicos de agua potable y saneamiento a INFOM, las mancomunidades, gobiernos municipales y localidades con el apoyo del MSPAS.

6.2.2.3 Verificación, seguimiento y control

La verificación de la calidad del agua potable y de los límites de descarga de aguas residuales se establece por el Ministerio de Salud y el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales.

Agua Potable

Al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) a través del Acuerdo Ministerial 523-2013 Manual de Especificaciones para la Vigilancia y el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano Art. 2, le corresponde hacer cumplir las disposiciones y es por tanto legalmente responsable para controlar la calidad de agua potable en un nivel nacional. Proporciona servicios de prueba de la calidad de agua para operadores privados y públicos.

Aguas Residuales

El artículo 8 del AG 236-2006 del MARN en referencia a los límites de descarga de aguas residuales establece:

Para efectos de verificación y control del cumplimiento de este Reglamento, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá utilizar los Instrumentos contenidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental.

El Reglamento 137-2016 MARN Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, establece en el Artículo 2 que corresponde al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -, la aplicación del reglamento por conducto de:

- la Dirección de Gestión Ambiental y Recursos Naturales -DIGARN-,
- la Dirección de Coordinación Nacional -DCN- y
- la Dirección de Cumplimiento Legal -DCL- y demás dependencias del citado Ministerio, en los casos que así lo ameriten.

A través de estas direcciones se establecen los instrumentos ambientales, que establece entre otros:

- a) Realizar inspecciones y/o verificaciones, de oficio o a instancia de parte, en los casos en que corresponda. El personal del MARN deberá presentarse debidamente identificado, debiendo el proponente brindar su colaboración a efecto de agilizar la inspección y verificación de campo.
- b) Diseñar y proponer ante el Despacho Ministerial la emisión de manuales, mecanismos

estándares, guías ambientales, valoraciones y procedimientos administrativos necesarios para hacer operativo este reglamento;

- c) Desarrollar el procedimiento para el registro en los listados de los instrumentos ambientales vigentes y modernizar el archivo respectivo, a fin de tener actualizada la base de datos de los proyectos, obras, industrias o actividades aprobadas por la Comisión Nacional de Medio Ambiente y el MARN.

Los Instrumentos de control y seguimiento ambiental se definen como auditorías ambientales y acciones de seguimiento y vigilancia ambiental, desarrolladas por el proponente y de oficio.

Sin embargo, en la actualidad las actividades de monitoreo reciben el apoyo de AMSA y de INFOM. Responsabilidad que está en los decretos de creación de ambas entidades como asistencia técnica.

6.2.2.4 Asistencia Técnica

INFOM

Mediante el decreto número 1132 del Congreso de la República, se creó al INFOM para promover el progreso de los municipios, dándoles asistencia técnica y financiera a las municipalidades en la realización de programas básicos de obras y servicios públicos, en la explotación racional de los bienes y empresas municipales, en la organización de la hacienda y administración municipal y, en general, en el desarrollo de la economía de los municipios. Esta asistencia técnica y financiera incluye lo concerniente a los servicios de agua potable y saneamiento.

SEGEPLAN

El Reglamento Orgánico Interno de SEGEPLAN, Acuerdo Gubernativo número 271-2010, establece que esta institución es el órgano de planificación del Estado y de apoyo a las atribuciones de la Presidencia de la República, cuyas funciones se encuentran determinadas en la Ley del Organismo Ejecutivo. Entre otras funciones, SEGEPLAN coordina la formulación de la política pública, planificación, programación e inversión pública. Por otro lado, prioriza, gestiona, negocia, administra y contrata, por delegación de la autoridad competente, la cooperación financiera no reembolsable proveniente de organismos internacionales y gobiernos extranjeros que le sea otorgada al país para la realización de proyectos de interés común.

AMSA

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán AMSA, se creó con el Acuerdo Gubernativo No. 186-99 con el fin específico de planificar, coordinar y ejecutar todas las medidas y acciones del sector público y privado que sean necesarias para recuperar el ecosistema del Lago de Amatitlán y todas sus cuencas tributarias.

El Artículo 5 de su ley creadora faculta AMSA, para planificar, coordinar y ejecutar en coordinación con las instituciones que corresponda, todos los trabajos que permitan rehabilitar el ecosistema de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, generando los mecanismos necesarios para lograr sus objetivos.

El Artículo 6 crea el Comité de Vigilancia que tendrá como objetivo coadyuvar en el avance de la ejecución de los proyectos relacionados con el rescate y resguardo del Lago de Amatitlán y sus Cuencas Tributarias comprendidas dentro del –PLANDEMAT-, canalizando gestiones y denuncias a donde corresponda.

Mancomunidad Gran Ciudad del Sur

Se crea en base al Código Municipal, Decreto 12-2002 que establece en el Capítulo II Artículos 49 al 51 Asociación de Municipios en Mancomunidades los procedimientos para la creación y aprobación de los estatutos de la Mancomunidad.

Las mancomunidades son asociaciones de municipios que se instituyen como entidades de derecho público con personería jurídica propia, constituida mediante acuerdos celebrados entre concejos de dos o más municipios, para la formulación común de políticas públicas municipales, planes, programas y proyectos, así como la ejecución de obras y la prestación eficiente de servicios municipales.

De acuerdo a sus estatutos la MGCS es una entidad autónoma, que se creó en el año 2012 con 6 municipalidades a las cuales se unió la municipalidad de Guatemala en el año 2019 consolidando toda la zona metropolitana para promover el desarrollo económico y sostenible de la región, fortaleciendo las capacidades de las Municipalidades con el apoyo del sector público, privado, bancos de desarrollo y comunidad local. Para brindar apoyo técnico a las municipalidades, la MGCS ha conformado las Mesas de Competitividad, de Cultura, de Seguridad, de Agua y Saneamiento, de Ordenamiento Territorial y de Reforestación.

Según la Escritura Constitutiva de la MGCS, en su Capítulo I: Artículo Siete. Actividades y Operaciones de la Mancomunidad, instauro:

- Proporcionar Asistencia Técnica a los asociados, especialmente en materia de diseño, elaboración o revisión de proyectos relacionados con obras y servicios públicos municipales, sea para ampliar los existentes o para crear nuevos;
- Elaborar estudios y proyectos sobre nuevas obras y servicios municipales
- Realizar actividades y operaciones que le demanden las Municipalidades Asociadas.

6.2.2.5 Acuerdo Gubernativo 236-2006 del MARN y sus Actualizaciones

El Acuerdo Gubernativo 236 – 2006 y sus actualizaciones con los Acuerdos Gubernativos 137 2016, 138 2018 y 254-2019, merece especial atención ya que es la base legal en vigencia de las descargas de aguas residuales, el cual aplica directamente a:

- a) Los entes generadores de aguas residuales;
- b) Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- c) Las personas que produzcan aguas residuales para reúso;
- d) Las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales; y
- e) Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

Además, establece los límites de descarga de aguas residuales.

Responsabilidad de preparación de estudios técnicos

El Artículo 5 del AG 236-2006 establece:

“La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público tendrán la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reúso y lodos”.

El artículo 10 AG 236-2006 establece:

La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas deberá, cada cinco años, actualizar el contenido del estudio técnico estipulado en el presente Reglamento.

Este informe técnico es el documento principal que sirve para el seguimiento y verificación de los límites de descarga estableciendo los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico. El AG 236-2006 ha sido modificado tres veces.

El AG 138-2017 es la segunda modificación del AG 236-2006, y establece en el Art. 24-1c, que las municipalidades deben tener tratamiento para las dos descargas principales identificadas en el inventario de desfogues.

Acuerdo Gubernativo AG 254-2019

El Acuerdo Gubernativo AG 254-2019, es la última modificación al acuerdo 236-2006 y extiende los períodos de cumplimiento de los límites de descarga de acuerdo a la siguiente Tabla:

Tabla 13 Límites Máximos Permisibles de Descargas a Cuerpos Receptores para Aguas Residuales Municipales

Parámetros	Unidad	Fecha máxima de cumplimiento		
		Dos (2) de Mayo del año 2024	Dos (2) de Mayo del año 2028	Tres (3) de Mayo del año 2032
		Etapa		
		Uno	Dos	Tres
Temperatura	Grados	TCR +/-7	TCR +/-7	TCR +/-7
Grasas y aceites	mg/l	50	10	10
Materia flotante		Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de	mg/l	250	100	100
Sólidos suspendidos	mg/l	275	200	100
Nitrógeno total	mg/l	150	70	20
Fósforo total	mg/l	40	20	10
Potencial de Hidrógeno	Unid de pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< x107	<lx104	< x104
Arsénico	mg/l	0.1	0.1	0.1
Cadmio	mg/l	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	mg/l	1	1	1
Cobre	mg/l	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/l	0.1	0.1	0.1
Mercurio	mg/l	0.02	0.02	0.01
Níquel	mg/l	2	2	2
Plomo	mg/l	0.4	0.4	0.4
Zinc	mg/l	10	10	10
Color	Unidades Platino Cobalto	1000	750	500

Para cumplir con el desarrollo de la totalidad de obras relacionadas con redes de drenaje y sistemas de tratamiento de aguas residuales, dentro del plazo aplicable a las municipalidades, el AG establece:

Para completar el tratamiento de las descargas restantes, las municipalidades deberán de cumplir con ejecutar y tener en operación, sistemas de tratamiento para las descargas consignadas en el inventario

que se adjuntará al Estudio Técnico y cuyos efluentes deben cumplir con los límites máximos permisibles de la etapa que corresponda.

Para la presentación de los instrumentos ambientales y con base en lo establecido en los párrafos anteriores, las municipalidades deberán de presentar ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales los instrumentos ambientales de los proyectos identificados el treinta y uno (31) de octubre del año dos mil veinticinco (2025).

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá de supervisar el cumplimiento progresivo de las disposiciones contenidas en el presente artículo y en caso de incumplimiento plantear las acciones legales que correspondan.

Las municipalidades deberán de incluir en sus Planes Operativos Anuales -POA- las asignaciones correspondientes para el cumplimiento de las obligaciones y el desarrollo de las obras contempladas en el presente Artículo.

6.2.3 Conclusiones y Retos de Aspectos Regulatorios

6.2.3.1 Conclusiones del Marco Legislativo

El marco regulatorio de los servicios de agua y saneamiento de Guatemala ha evolucionado en los últimos años, pero aún no es claro o aplicable en su totalidad.

Una revisión de la normativa y la literatura existente desde el año 2014 muestra que, aunque existe un marco legal que en teoría define las funciones de la prestación de los servicios, en la práctica se ha encontrado con muchas dificultades, sobre todo en la aplicación a nivel municipal en cuanto a la delimitación de las funciones.

También se han asignado funciones, muchas veces fuera de las capacidades existentes de los entes involucrados que requieren de fortalecimientos institucionales de varios tipos.

La responsabilidad de la administración y gestión de los servicios de agua y saneamiento es asumida en el país por un número significativo de instituciones y organismos a nivel nacional, regional, departamental y municipal, con acciones en las áreas urbanas y rurales.

Debido a esto, el compromiso con relación a la actuación en el sector se desvanece dentro de este amplio marco institucional, con varias regulaciones, leyes, códigos, reglamentos decretos y acuerdos gubernamentales de varias instituciones, en el que no se cuenta con una legislación apropiada que defina con claridad el desempeño de cada institución y las relaciones interinstitucionales; tampoco existen mecanismos formales de coordinación que permitan planificar y optimizar los recursos técnicos y financieros disponibles.

Adicionalmente, la prestación de los servicios es brindado por varios entes entre los que se destacan, el Estado, las municipalidades, urbanizadores, industrias además de los apoyos que reciben las municipalidades de varias instituciones.

No se dispone de sistemas apropiados de información, pues está dispersa en los diferentes prestadores de servicio y entidades gubernamentales por lo que se requiere un gran esfuerzo en la consecución y análisis de la misma y en muchos casos no se conocen las verdaderas condiciones físicas, técnicas, financieras y administrativas de los sistemas existentes, tampoco las necesidades de la población, por consiguiente, el desconocimiento impide definir con claridad las políticas y decisiones hacia la prestación del servicio.

En resumen, el inconveniente principal está en que ninguna institución tiene a su cargo la gestión integral de la provisión de los servicios de aguas y ninguna institución centraliza la coordinación y organización de los mismos.

Como resultado de lo anterior, es bastante complicado realizar una gestión adecuada si no se cuenta con los instrumentos legislativos que permitan controlar la situación y establecer los límites con respecto a las actividades realizadas dentro del sector.

El establecimiento de una política debe ser la base para lograr una correcta gestión de la cuenca, sobre la que se deberían apoyar los objetivos de calidad que se propongan.

6.2.3.2 Retos y actividades necesarias:

El principal reto regulatorio es la estructuración del Sector de Agua Potable y Saneamiento, definiendo, ordenando y ejerciendo claramente las funciones de rectoría, regulación y prestación de los servicios en función de la gestión sostenible de los servicios de agua y saneamiento.

Definición más clara y consensuada de las políticas de saneamiento, que ayude a definir las estrategias y planes graduales en función de objetivos específicos. Esto puede llevar a la revisión de los límites de descarga de aguas residuales en función de objetivos y políticas de saneamiento

Definición de marcos regulatorios y reglamentación de sistemas regionales mancomunados de saneamiento

7 Prestación del servicio

7.1 Aspectos Generales de la Prestación del Servicio

Según el Código Municipal, las municipalidades tienen la obligación de dar cobertura del servicio de agua al municipio de su jurisdicción, bajo este mandato las municipalidades de MGCS han institucionalizado oficinas y puestos para la dotación de agua, algunas más fortalecidas que otras. Por ejemplo, el Municipio de Guatemala cuenta con la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA), quien abastece el 90% de usuarios de este municipio y el resto es cubierto por Agua Mariscal y otras empresas privadas. Además, EMPAGUA cubre algunas áreas de Villa Nueva, Mixco, Chinautla y Santa Catarina Pinula (EMPAGUA, 2016).

La Prestación de los servicios públicos de agua potable, acueducto y alcantarillado, sanitario, pluvial y/o combinado, y el saneamiento de las aguas residuales, en la Mancomunidad se presta bajo tres modalidades:

- 1) Prestación directa de la municipalidad, como es el caso en los municipios de Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Amatitlán,
- 2) Prestador público delegado por el Municipio, cuyo único caso en la Mancomunidad es en la Ciudad de Guatemala a través de la Empresa EMPAGUA y
- 3) Prestadores Privados, condición que se da en todos los municipios de la Mancomunidad y que incluye urbanizaciones privadas e industrias.

En la actualidad no existe un marco regulador que integre la gestión para la prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado (incluyendo tratamiento de aguas residuales) en Guatemala.

La responsabilidad asignada a los municipios para el manejo de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario ha excedido las capacidades de gestión y administración de las mismas, las cuales de por sí tienen responsabilidades propias de administración de todo lo que concierne a las tareas y problemas propios del municipio en lo que respecta a aspectos sociales, económicos, y en general todos los servicios públicos como mantenimiento de alumbrado eléctrico, sistemas viales, caminos, cementerios, parques, lugares recreativos, edificios públicos, además de los registros

civiles y coordinación de los aspectos de salud, educación, deportes, turismo, etc., con los ministerios correspondientes.

Los servicios de saneamiento y especialmente de tratamiento han sido relegados en comparación de los otros servicios considerados más vitales. Es así que estos servicios se han desarrollado en base a la demanda mayormente de evacuación de aguas residuales (alcantarillado sanitario), la cual se ha cumplido parcialmente. El hábito generalizado de descargar las aguas residuales crudas o semi-tratadas a las quebradas y cauces y un sistema normativo débil ha propiciado la postergación de la construcción de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y a esto se debe la poca cobertura de tratamiento existente.

Aunado a lo anterior, la topografía muy accidentada de toda la región y los cuantiosos recursos necesarios para integrar los servicios en sistemas regionales, ha sido percibido como una actividad fuera del alcance de los municipios.

La demanda de la gestión de los servicios sanitarios ha causado que los municipios hayan incorporado dentro de sus funciones rutinarias, la administración de los servicios, los cuales como se ha dicho anteriormente excede las capacidades de la mayoría de los municipios de la MGCS.

La falta de capacidad de las municipalidades para cumplir con la demanda de los servicios, ha hecho que otros actores privados como las urbanizaciones, industrias y compañías privadas llenen el vacío en cuanto a infraestructura, sin embargo, esto ha provocado una demanda de operación y mantenimiento de los sistemas, así como de seguimiento de los mismos, tareas que no es visto como responsabilidad de los municipios sino de los ministerios MSPAS y MARN.

Lo anterior ha producido un sistema mixto de prestación social, en el cual, parte de los servicios están directamente bajo la responsabilidad del municipio y parte bajo la responsabilidad de entidades privadas.

Además, ha provocado la construcción de muchos sistemas pequeños de tratamiento, muy difícil de monitorear, operar y mantener con la consecuente degradación de los mismos, lo que ha causado el colapso total y/o parcial tanto de sistemas municipales como de sistemas privados.

Ante esta situación, los municipios han solicitado diferentes tipos de apoyo interinstitucional, lo cual ha funcionado parcialmente.

Desde el punto de vista regulatorio, hasta la fecha no existe una claridad en la asignación de las responsabilidades. Parte de la confusión se debe a la variabilidad de responsabilidades asignadas a través del tiempo:

- Varias instituciones o delegaciones ministeriales han sido creadas y luego eliminadas.
- Se han creado leyes que asignan responsabilidades a varios ministerios y entes autónomos, algunas de dichas responsabilidades son cruzadas o ambiguas.
- Algunas de las leyes principales han sido modificadas varias veces como es el caso de la ley 236-2006, la cual ha sido modificada 3 veces con los Acuerdos Gubernativos AG 110-2010, AG 138-2017 y AG 254-2019.

Como resultado de lo anterior no se han llevado datos oficiales de la prestación de los servicios realizados en las aldeas, colonias y residenciales por el sector privado.

Respecto al tratamiento de aguas residuales, a pesar de las exigencias del Acuerdo Gubernamental 236-2006, no se ha realizado a como esperado las inversiones necesarias y, por otra parte, el deterioro de los pocos sistemas existentes ha evidenciado la necesidad de priorizar este componente dentro de las responsabilidades municipales. Ante esta situación, el AG 236-2006 se ha ido actualizando para posponer las fechas de cumplimiento.

Esta política no ha resultado satisfactoria ya que obliga a las municipalidades a buscar soluciones rápidas para cumplir con las exigencias del AG 236-2006 y que ha resultado en dos actividades:

- La elaboración de los Informes Técnicos. Estos informes han sido elaborados con diferentes grados de detalles por las municipalidades, se desconoce, si los prestadores privados han cumplido con este requisito.
- La formulación de varios planes para construcción de plantas de tratamiento, pero sin contar con el financiamiento necesario, lo que se percibe como una carga adicional para la municipalidad. Sin embargo, el apoyo técnico de la MGCS y AMSA ha colaborado en la introducción de una visión regional y una visión de planificación a mayor plazo.

Triana (2014)³⁰, expresa esta política a como sigue:

“Construir plantas de tratamiento, PTAR, sin obedecer a un plan maestro, que para el caso de los municipios de la Mancomunidad y Ciudad de Guatemala, tendría un alcance regional, ya que sus áreas de drenaje comparten una extensa cuenca de hidrográfica común, río Villalobos y sus afluentes, Lago Amatitlán y río Michatoya, no es la respuesta ni ambiental (al menos en lo que hace referencia a la recuperación de la cuenca), ni técnicamente garantiza la reducción de la carga contaminante y mucho menos, significa la utilización eficiente (eficiencia técnica y económica) de los escasos recursos con que cuenta el sector y las municipalidades...”.

En conclusión, la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en los municipios de la Mancomunidad adolecen de deficiencias en lo que respecta a la planificación, aumento de cobertura y tratamiento. El crecimiento acelerado de la población y sector industrial en la última década y la falta de planes de ordenamiento territorial ha rebasado la celeridad de las respuestas de las municipalidades, las cuales conscientes de la necesidad de mejorar las coberturas de saneamiento, el tratamiento de las aguas residuales, y la administración de los sistemas, está apostando por soluciones regionales y más integrales y en capacitaciones de su personal de sistemas que ayuden a integrar la información en forma más eficiente con sistemas de información geográfica y otras herramientas de planificación y desarrollo.

Por otra parte, la multiplicidad de la prestación de los servicios dificulta la organización, el seguimiento y control de los mismos, así como la captación de información. Reto que debe solucionarse con una mejor claridad de las responsabilidades, respaldadas en un marco regulatorio apropiado.

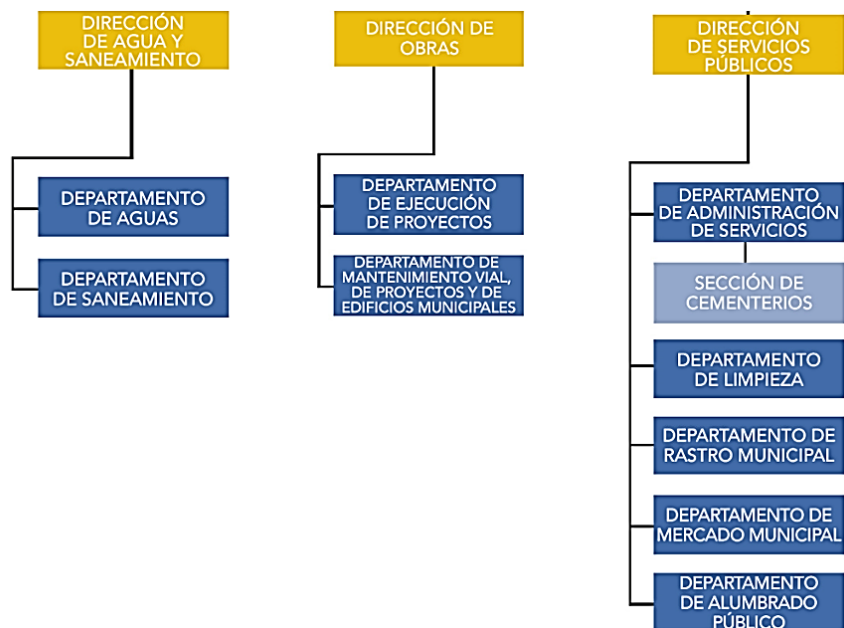
7.2 Santa Catarina Pinula

7.2.1 Aspectos Institucionales

La Prestación del servicio público de acueducto, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales se realiza mediante tres dependencias internas de la Municipalidad, la Dirección de Agua y Saneamiento, la Dirección de Servicios Públicos y la Dirección de Obras.

³⁰ Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala, Triana, 2014

Ilustración 33 Direcciones de Agua y Saneamiento, de Obras y Servicios Públicos



Se cuenta con un Reglamento de sistemas de agua potable administrados por la municipalidad que establece que el departamento de servicios públicos administra el sistema.

No se cuenta con reglamentos operativos para alcantarillado sanitario ni para plantas de tratamiento.

El municipio también cuenta con manuales de procesos y procedimientos, entre los que se incluye el Departamento de Saneamiento con las siguientes funciones entre otras:

- Proponer el plan de saneamiento y los programas de alcantarillado sanitario correspondientes.
- Crear y diseñar las políticas públicas, incluyendo, las de financiamiento con destino al desarrollo de los sistemas de saneamiento.
- Dar mantenimiento al sistema de drenaje del municipio.
- Instalar nuevos servicios de drenaje y alcantarillado.
- Implementar, dirigir, coordinar, supervisar, entre otros, los proyectos de mejoramiento del servicio de Drenajes y Alcantarillados.
- Gestionar todo lo correspondiente a Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Orientar a la comunidad en temas de educación sanitaria.
- Estimar la magnitud del proyecto, incluyendo su diseño, las posibles estructuras y equipamiento necesario y el costo.
- Ver el número de viviendas que estarían conectadas y las que no podrían conectarse por la topografía o ubicación.
- Ver la capacidad y la disposición de pago de las familias para la administración, operación y mantenimiento del servicio.

Sin embargo, la gestión está dividida funcionalmente en otras Direcciones tales como la de Planificación, Administrativa Financiera, Obras, y otras. La Dirección de Servicios Públicos cuenta

con 47 funcionarios, sin embargo, atiende además de los servicios de agua y saneamiento, otras actividades como Alumbrado Público, Aseo, cementerios y otros servicios.

En los últimos años se ha creado el Departamento de Tecnología y se ha recibido asesoría técnica y a través de la MGCS en sistemas de información geográfica, se han realizado nuevos estudios que ayudan a integrar parcialmente la gestión dentro del esquema funcional con el cual está estructurado el municipio.

Se cuenta con manuales de funciones y atribuciones, así como levantamiento de procesos.

7.2.2 Aspectos Tarifarios

La tarifa por el servicio de agua potable es de 30 Q³¹. a los usuarios residenciales. El balance de costos mostrado en la siguiente tabla muestra un déficit anual de aproximadamente 8 millones de quetzales, que es subsidiado directamente por la municipalidad.

Tabla 14 Matriz de Ingresos/Egresos por distribución de agua Potable Municipio de Santa Catalina Pinula, 2015

No. Total de Usuarios:	9.302
No. Total de Pozos Mecánicos:	22
No. de Nacimientos:	3
Canon de Agua Potable:	Q30,00
Canon de Agua Potable Residencial:	Q200,00
Total de Ingresos por Canon de Agua 2015	Q5,365,364
Total de Egresos por Distribución de Agua:	Q13,432,203
Déficit Anual	Q8,066,839

El alcantarillado se cobra, por separado a los que tienen el servicio, con un canon de 10 Q., mientras que la estimación de los costos de prestar el servicio es de 140 Q. incluido tratamiento³².

7.3 San Miguel Petapa

7.3.1 Aspectos Institucionales

El Municipio de San Miguel Petapa cuenta con las siguientes Direcciones relacionadas con el servicio de agua y saneamiento:

- Dirección Municipal de Planificación
- Dirección Administrativa
- Dirección de Servicios Públicos donde se ubica el Departamento de Aguas y Drenajes
- Dirección de Infraestructura, donde se ubica el Departamento de Obras y del Departamento de Mantenimiento de Obras

³¹ Diagnóstico Inicial de Agua Potable, MGCS, 2015

³² Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala, Triana, 2014

Ilustración 34 Dirección de Servicios Públicos



El Departamento de Aguas y Drenajes es el responsable de administrar el funcionamiento del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial, así como de brindar el mantenimiento preventivo y correctivo a la red de aguas y drenajes instalados en el municipio.

Sus funciones son las siguientes entre otras:

- Realizar recorridos por la comunidad para verificar la calidad de la prestación de servicio para saber si es necesario mejorar algunos aspectos.
- Llevar un control de la limpieza de pozos municipales.
- Coordinar las actividades para la supervisión de los pozos de agua para verificar su buen funcionamiento.
- Controlar la clarificación de cada una de las plantas de tratamiento.
- Crear rutas para el abastecimiento de agua para cada una de las comunidades de San Miguel Petapa.
- Realizar un control por medio de un inventario de todos aquellos insumos y materiales necesarios para el funcionamiento del área.
- Programar los horarios para el abastecimiento de agua potable.
- Controlar las limpiezas de salidas de agua y abastecimientos para mejorar el servicio.
- Realizar una planificación para la cobertura de agua en todo el municipio.
- Crear programas para la conservación de las fuentes de agua.
- Realizar limpiezas de todas las redes de distribución de agua potable.

La prestación del servicio es parcialmente atendida por el municipio directamente y el sector privado. Al igual que para Santa Catalina Pinula, la organización interna en el municipio la compone, primero el Consejo Municipal, posteriormente el alcalde, y luego las direcciones y empleados de las mismas.

La municipalidad está organizada funcionalmente, por lo tanto, la Dirección Municipal de Planificación (DPM), es la encargada de los proyectos, mientras que Servicios Públicos es un área operativa. Finanzas, Administración, Compras, son dependencias que participan en la gestión de los servicios públicos en sus correspondientes áreas funcionales.

No existe contabilidad exclusiva para los servicios públicos, ésta se encuentra integrada a la contabilidad del municipio que lleva la Dirección Administrativa Financiera de la Municipalidad (DAFIM), centralizada por disposición del Código Municipal.

La Municipalidad cuenta con Manuales de Organización y Funciones para cada Dirección. La Dirección de Servicios Públicos para atender los servicios de agua y saneamiento, cuenta con la siguiente planta de personal³³: director, Personal Administrativo, 2 personas, personal auxiliar 15, operativa, 37 personas, para acueducto y alcantarillado.

Existen programas de capacitación al personal de fontanería en temas técnicos, leyes, reglamentos, etc. El área de suministros depende de la DAFIM, maneja una bodega municipal y todo el proceso de proveeduría.

En cuanto al manejo de la información, a pesar que los cambios de gobierno han afectado el resguardo de los archivos, la implementación de sistemas computarizados y de los sistemas GIS han mejorado esta situación. Aun así, es necesario mejorar el resguardo de información sobre todo de planos y documentos digitales asociados con programas especializados.

El Plan Operativo Anual del 2019, POA-2019, identifica tres prioridades³⁴:

- Inseguridad Ciudadana
- Deficiencia en servicios públicos. Se reconoce que la falta de recursos económicos municipales es la consecuencia de que los servicios no funcionen de forma eficiente.
- Plan de Ordenamiento Territorial (POT), el municipio no está correctamente zonificado ni regulado espacialmente.

El POA asigna un presupuesto en aproximadamente Q 1,620,000 para agua y saneamiento, lo cual se considera muy bajo, además contempla el apoyo en financiamiento de INFOM y del Consejo Departamental de Desarrollo (CODEDE), así como la asistencia técnica de la MGCS.

Plan Operativo Anual, POA, existe solo a nivel de proyectos. Es realizado por la DPM, oficina que lo construye, lo tramita y le hace seguimiento.

7.3.2 Aspectos Tarifarios

Cada usuario paga 22,80 Q. por el agua y 22,80 Q. por el servicio de alcantarillado (solo en los lugares que hay alcantarillado), el resto, 11.60 Q. para desechos. Si se retrasan en el pago, el costo es de 65Q. (por reconexión, pero quedan con este nuevo nivel de tarifa).

Para el caso de agua potable, el ingreso anual es de \$Q2 millones y los gastos anuales asociados con el servicio de agua potable es de \$Q6 millones para un déficit total de \$Q 4 millones³⁵.

Cálculos hechos por la Dirección de Servicios Públicos, afirma que con una tarifa de 65 Q. por usuario se podría lograr la autofinanciación de los servicios, pero como solo reciben en promedio 30 Q. existe un déficit que tiene que ser cubierto por la municipalidad. Hay que tener en cuenta que este tipo de cálculo se hacen para el nivel de servicio actual y no para las verdaderas exigencias de un servicio

³³ Ibid.

³⁴ POA 2019 Municipalidad San Miguel Metapa, Sección 4

³⁵ Diagnóstico Inicial de Agua Potable, MGCS, 2015

eficiente, que incluya el costo de expansión y reposición de la infraestructura, con cobertura universal, calidad y continuidad 24 horas del día.³⁶

No hay estratificación socioeconómica, el municipio no tiene POT, pero por la forma que se desarrolló, hay grandes zonas de bodegas y área industriales como el sector de Álamos y Granjas Gerona, donde la mayoría de estas zonas se abastecen de pozos propios. Los que se conectan a la red pública pagan una tarifa de 150 Q. mensuales.

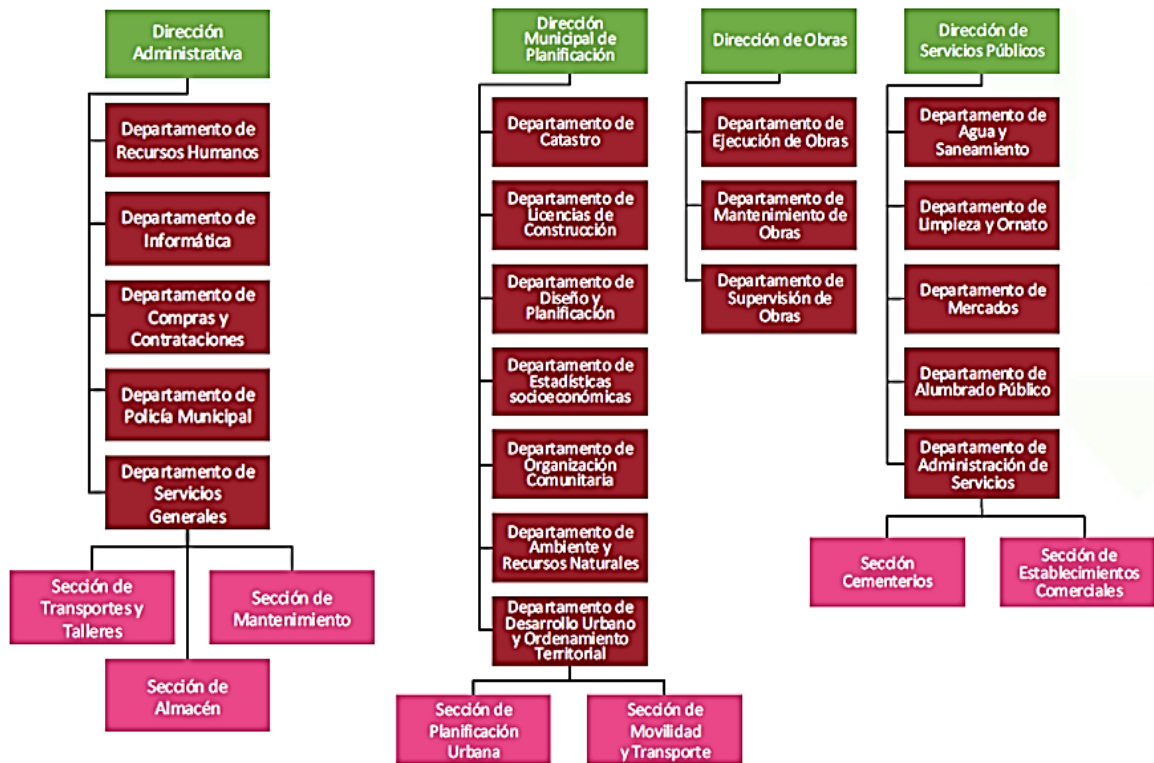
Para el año 2014, estaban registrados 11980 usuarios (predios) con títulos por su derecho de conexión, sin embargo, se estima que un número similar de usuarios se aprovechan de un solo título. DAFIM lleva el catastro de usuarios, mediante el sistema de información para recibir los pagos.

7.4 Villa Canales

7.4.1 Aspectos Institucionales

La Municipalidad de Villa Canales cuenta con un Manual de Organización y funciones que describe los requerimientos de las ocho Direcciones y los 31 Departamentos funcionales.

Ilustración 35 Direcciones relacionados con los servicios de agua y saneamiento



³⁶ Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala, Triana, 2014

El Departamento de Agua y Saneamiento es responsable de administrar y supervisar el servicio de agua; así como el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua procurando el acceso de todos los vecinos del servicio de agua y drenajes.

Funciones:

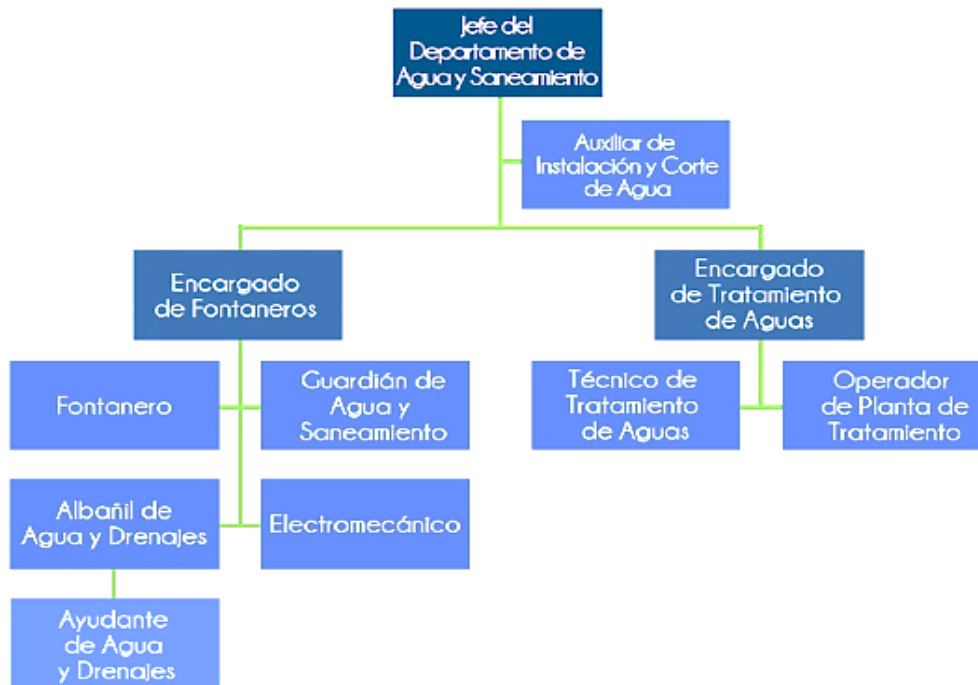
- Distribuir tareas a los encargados de los diferentes departamentos (instalaciones nuevas, investigaciones, cortes, acciones fraudulentas y otras).
- Recolectar datos de producción y calidad.
- Coordinar los diferentes servicios que ofrecen las empresas en el ramo de químicos, mantenimiento de plantas, mantenimiento de pozos y otros.
- Distribuir y controlar el combustible asignado a los camiones cisterna.
- Supervisar las plantas de tratamiento de agua potable y de agua residual.
- Inventariar los materiales y la infraestructura.
- Cuidar, mantener y dar buen uso al material y equipo asignado para el correcto desempeño de sus labores.
- Supervisar constantemente los pozos de agua y analizar la calidad y mantenimiento de los mismos.
- Efectuar los informes de producción y calidad del agua que se abastece en el Municipio de Villa Canales.
- Elaborar las estrategias de abastecimiento y planes de distribución de agua en el Municipio de Villa Canales.
- Analizar y establecer los horarios de distribución del agua de conformidad con la producción.
- Supervisar y dar mantenimiento adecuado a las alcantarillas y equipos instalados en los pozos.
- Asegurar que los servicios de agua y alcantarillado sean eficientes y oportunos.
- Planificar para que, a mediano plazo, la cobertura del servicio se logre en cien por ciento.
- Llevar el control en una ficha de la administración de los pozos y de las plantas de tratamiento.

Organizacionalmente, el departamento de agua y saneamiento cuenta con un personal de 17 personas entre fontaneros, técnicos y personal administrativo, la Dirección de Planificación cuenta con 12 personas entre los que se encuentran ingenieros, técnicos calificados y un encargado del SIG.

La Dirección de Planificación municipal es la encargada de los proyectos macros, y la oficina de acueducto y alcantarillado (obras y drenaje) del Plan Operativo Anual.

La prestación de los servicios es realizada en forma centralizada por la municipalidad mediante una Dirección de Servicios Públicos, bajo la cual está el Departamento de Agua y Saneamiento.

Ilustración 36 Organización del Departamento de Agua y Saneamiento



El sistema de agua es atendido en aproximadamente el 70% (112.000 habitantes, 18750 servicios)³⁷ de la población. El 30% restante corresponde, un 18% con servicio privado y el resto no tiene operador responsable, y se sirven mediante camiones cisterna y otros medios diferentes al transporte por red (así sea la fuente superficial o pozo). La Dirección de Servicios Públicos es eminentemente operativa, con algunas actividades comerciales, ya que la Dirección Municipal de Planeación es la encargada de los aspectos de expansión de la cobertura del servicio, proyectos de red y en general todo lo relacionado a la planeación del servicio.

La Dirección Municipal de Planeación que cuenta con ingenieros, técnicos calificados y experto en SIG son los responsables de la custodia de los planos, planificar proyectos y en algunos casos diseñar directamente las redes solicitadas. También preparan la solicitud para contratar. Si bien es cierto que los proyectos de cierto tamaño salen de la oficina de planeación, no existe una herramienta de planeación de mediano o largo plazo.

La planeación es de muy corto plazo y el POA del 2020 solo contempla el mantenimiento de los servicios de agua y saneamiento. Los proyectos de mayor alcance y que requieren las aprobaciones de los Ministerios de Salud o del Ministerio Ambiental y de Recursos Naturales o del SEGEPLAN, con el fin de incorporarlos al anteproyecto de presupuesto con recursos de la Nación, son coordinados por Planificación Municipal.

Al año 2014, no se contaba con un Plan de Ordenamiento Territorial POT.

Las obras se hacen con recursos de tres fuentes, principalmente: recursos propios de la municipalidad (obras por administración), o por recursos del gobierno central por aportes constitucionales (1% del recaudo por el IVA (12%) y con recursos de los Consejos Departamentales de Desarrollo.

³⁷ Ibid.

La Oficina de Servicios Públicos también atiende cementerios, mercados, espectáculos públicos, licencias de funcionamiento de locales comerciales, y otros.

La Dirección de Servicios Públicos: lo dirige un jefe y tres oficiales de servicio. También tienen 32 fontaneros que conforman el equipo operativo.

7.4.2 Aspectos Tarifarios

En Villa Canales solo hay estratos medio y medio bajo, la gran mayoría trabajan en la Capital y solo algunos propietarios de fincas y dueños de industrias y comercios pueden ser considerados de estrato alto.

Los recursos vías tarifas entran al presupuesto de la municipalidad y aunque hay una cuenta aparte no manejan contabilidad separada de los servicios públicos.

Para el sistema de agua potable se establece un canon mensual de 25 Q, para un ingreso anual de \$Q 5 millones y los gastos anuales asociados con el servicio de agua potable ascienden a \$Q15 millones para un déficit total de \$Q 11 millones. Por el servicio de alcantarillado se cobra \$Q15 mensuales.

Solamente dos comunidades se conectan al alcantarillado público, la gran mayoría tienen sus propios vertimientos superficiales o pozos de infiltración. Por este servicio pagan 1000 Q. por su conexión y 15 Q. mensual por mantenimiento.

La industria y el Comercio tienen tarifas diferenciales. Por ejemplo, los grandes supermercados pagan cánones del orden 1000 Q. por consumo de agua mensual, por concesión de alcantarillado 3000 a 4000 Q. y 300 Q. mensuales por el servicio. Muchos de los industriales tienen su propio abastecimiento por pozos, y les cobran del orden de los 15Q. por alcantarillado mensual.

No hay factura para el cobro, solo se emite recibo cuando el usuario se acerca mensualmente a pagar.

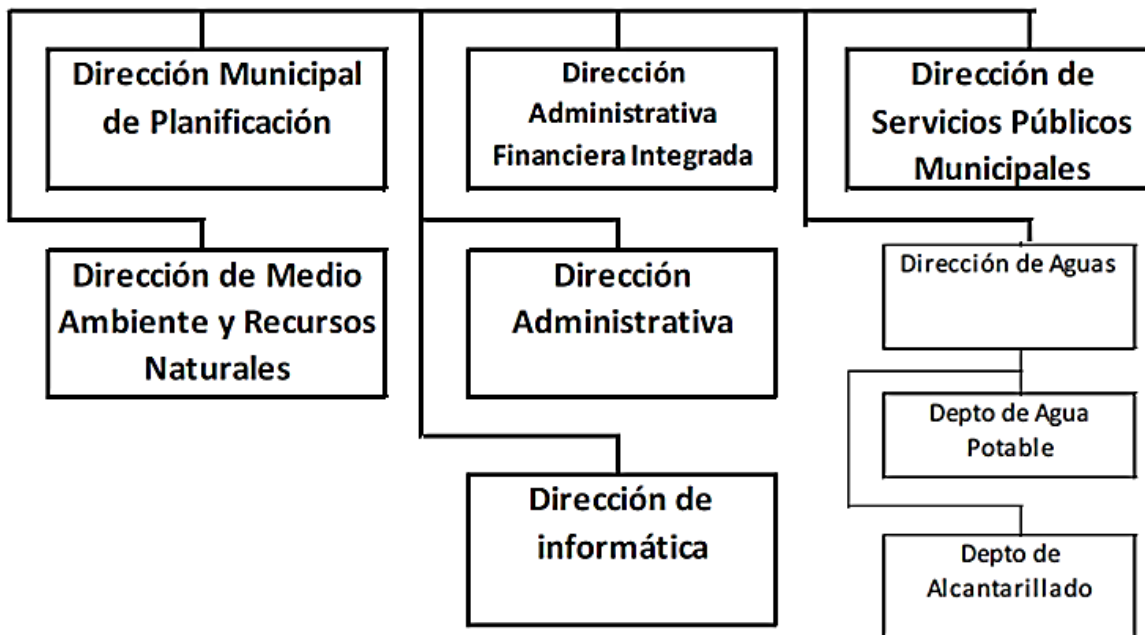
7.5 Amatitlán

7.5.1 Aspectos Institucionales

La Municipalidad de Amatitlán cuenta en su organigrama con los siguientes departamentos y direcciones que tienen relación con los servicios de agua y saneamiento:

- Dirección de Servicios Públicos
- Departamento de Aguas
- Departamento de Obras y Drenajes
- Departamento de Informática
- Dirección Municipal de Planificación

Ilustración 37 Direcciones y Departamentos Asociados a los Servicios de Agua



Las funciones del Departamento de Alcantarillado se listan a continuación;

- Promover en coordinación con el MSPAS, instituciones del sector y comunidad organizada la cobertura universal de la población a servicios para la disposición de excretas, la conducción y tratamiento de aguas residuales.
- Supervisar y controlar las obras para la eliminación y disposición de excretas y aguas residuales autorizados por la Municipalidad.
- Promover la construcción de obras para el tratamiento de las aguas negras y servidas para evitar contaminación de fuentes de agua; ríos, lagos, nacimientos de aguas y otros
- Realizar las gestiones necesarias para que el Consejo Municipal autorice la descarga de contaminantes de origen industrial y agroindustrial, así como el uso de aguas residuales que hayan sido tratadas
- Velar para que no se descarguen aguas residuales no tratadas en ríos, lagos, riachuelos y lagunas o cuerpos de agua ya sean estos superficiales o subterráneas.
- Establecer la cobertura del servicio de alcantarillado tanto de aguas servidas como pluviales, llevar registros de los servicios domiciliarios conectados al sistema y ubicación de tragantes y áreas de desfogue.
- Promover en las industrias, el establecimiento de procesos de pretratamiento de las aguas servidas, antes de verterlas a los alcantarillados.

La prestación del servicio se realiza a través de la municipalidad y prestadores privados. El municipio está estructurado funcionalmente, y al igual que la gran mayoría de los municipios de la Mancomunidad, tiene su oficina de servicios públicos, con dependencias de agua y manejo de drenajes.

De acuerdo a las cifras presentadas, alrededor de 7800 familias³⁸ tiene servicio de acueducto prestado por el municipio, esta cifra incluye las familias acotadas provisionalmente por falta de escritura del predio. El municipio atiende aproximadamente a 70% de la población con el servicio de acueducto.

Como existen colonias no autorizadas, los primeros que han llegado por lo general se organizan y consiguen dotarse de los servicios, no siempre completos. Con estas cifras, alrededor de 20000 personas no son atendidas por el municipio. De estas se estima que el 100% tienen servicio de acueducto y un 90% servicio de alcantarillado o de fosas sépticas individuales.

La Municipalidad no administra ningún sistema de tratamiento de aguas residuales.

Organizacionalmente³⁹, el Departamento de Obras y Drenajes atiende el servicio con 22 personas que incluyen personal administrativo, celador y operativo, y el de acueducto cuenta con 20. La Dirección de Planificación municipal es la encargada de los proyectos macros, y la oficina de acueducto y alcantarillado (obras y drenaje) del Plan Operativo Anual.

El Plan de Desarrollo se hizo con el apoyo del SEGEPLAN, y no se tiene POT.

La Dirección de Planificación es la encargada de todo lo que sea planificación e inversión de todos los recursos del municipio, maneja el Plan operativo Anual, e inclusive es la Dirección que tiene el contacto de la municipalidad con otras entidades externas al municipio.

El POA 2020 considera inversiones para el incremento de las redes de agua potable y alcantarillado sanitario, pero no contempla ninguna inversión para tratamiento de aguas residuales.

7.5.2 Aspectos Tarifarios

La tarifa domiciliar de agua potable es de \$Q 30 y \$60, según tipo de residencia

Nivel de Recaudo, un 70% al año 2014.

Tarifas comerciales: Q. 120.00 y Q.240.00 Q.500.00, según el tipo de comercio.

No se cuenta con información del balance de ingresos y egresos

7.6 Villa Nueva

7.6.1 Aspectos Institucionales

La Municipalidad de Villa Nueva cuenta en su organigrama con los siguientes departamentos y direcciones que tienen relación con los servicios de agua y saneamiento:

- Dirección de Servicios Públicos
- Departamento de Agua y Saneamientos
- Departamento de Infraestructura
- Departamento de Tecnología Municipal

³⁸ Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala, Triana, 2014

³⁹ Ibid.

Ilustración 38 Direcciones y Departamentos Asociados a los Servicios de Agua



Todos estos departamentos dependen de la Gerencia Municipal, además en forma transversal la Dirección Municipal de Planificación atiende a todos los departamentos.

La prestación es por medio de la municipalidad en forma directa y también por medio de la prestación privada.

El 30% es prestado por el sector público, el resto (70%) es privado, quienes tienen sus pozos y los sistemas de redes respectivos, aunque algunos contratan el suministro de agua por otros sistemas como pipas (carrotanques). El municipio en todo caso hace un control del servicio de los privados mediante la aplicación de los reglamentos, se visitan para ver la capacidad de los sistemas, se ordenan ensayos de laboratorio para ver la calidad, y otros temas de la gestión. Cuando un constructor termina sus obras de urbanismo se entregan a la municipalidad (mediante cesión), y si la comunidad tiene interés de gestionar sus servicios se le hace entrega para que ellos directamente operen el sistema bajo su responsabilidad. El prestador privado en todo caso queda sujeto a la normatividad existente. Adicionalmente, el Ministerio de Salud hace periódicamente control de la calidad (tanto a los públicos como a los privados).

Se presentan casos en los que el servicio que estaban bajo la operación de privados, retorna a la municipalidad, ya sea porque tienen problemas operativos y la comunidad quiere que la municipalidad se haga cargo. En caso de quejas, la municipalidad abre un expediente de intervención que puede llegar hasta una situación de que el privado sea obligado a retirarse.

En el año 2014, el municipio consideró seriamente dar el paso a crear un Empresa Municipal de agua, con autonomía presupuestal. En el pasado se intentó crear la empresa, pero hubo rechazo de la comunidad por que la asoció a procesos de privatización.

El padrón (base de usuarios) es 23500 usuarios, pero se estima en un 20% la ilegalidad generada por varias familias aprovechándose de una conexión legal, lo que significaría que realmente deberían ser 28200 usuarios atendidos.

Villa Nueva para la prestación de los servicios tiene dos departamentos activos, uno para agua potable y otro para drenaje y tratamiento. La actividad operativa maneja subcontratos, aplicación de cloro, mantenimiento y operación de PTAR's y monitoreo de calidad.

Se tiene un manual de procesos y de funciones, y cada departamento tiene normas internas en Seguridad Industrial. No se tiene sistemas de gestión de calidad, y solo se tienen auditorías internas. Se maneja sistemas sencillos de manejo del documento y se están implementando algunas herramientas informáticas para control y seguimiento de algunas actividades.

7.6.2 Aspectos Tarifarios

Aproximadamente el 14% del presupuesto municipal se dedica a la prestación de acueducto. El costo anual de operar el sistema de acueducto es \$Q. 49.228, 300. El consumo eléctrico es el mayor costo con más del 50 % de los gastos anuales.

Las tarifas van desde los 25 Q. hasta 135 Q

Las tablas siguientes muestran la estructura de ingresos y egresos para un balance neto de déficit de \$Q 37,181,660

Tabla 15 Matriz de Ingresos Municipalidad de Villa Nueva, 2015

TARIFA	USUARIOS CANTIDAD	INGRESOS	
		MENSUAL	ANUAL
Q 25.00	18,143	453,575.00	5,442,900.00
Q 50.00	2,062	103,100.00	1,237,200.00
Q 60.00	662	39,720.00	476,640.00
Q 75.00	869	65,175.00	782,100.00
Q 100.00	210	21,000.00	252,000.00
Q 125.00	212	26,500.00	318,000.00
Consumo	2,948	294,800.00	3,537,600.00
Total General	25,106	1,003,870.00	12,046,440.00

Tabla 16 Matriz de Egresos Municipalidad de Villa Nueva, 2015

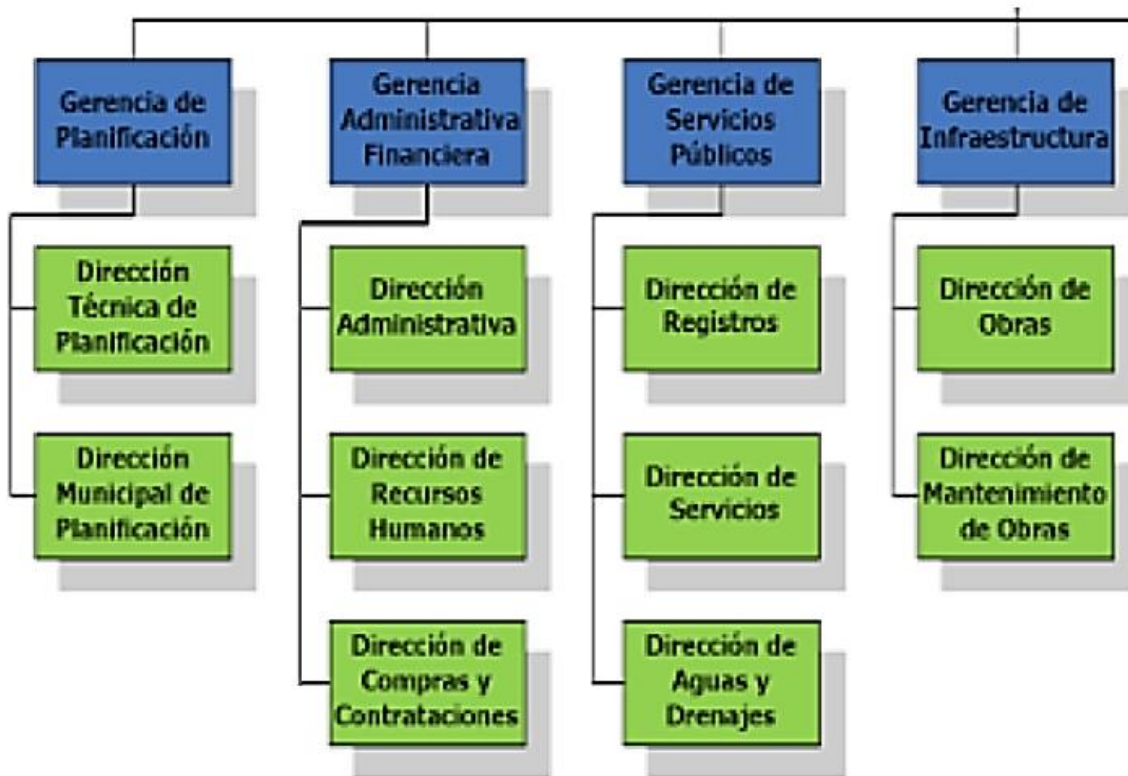
TIPO DE COSTO	TOTAL	COSTO / M3
01 - DOTACION DE AGUA POTABLE	Q 36,917,866.52	Q 4.00
101 - CONSUMO ENERGIA	Q 26,782,249.19	Q 2.90
102 - MANTENIMIENTO DE POZOS	Q 2,454,178.50	Q 0.27
103 - MANTENIMIENTO DE RED	Q 3,700,000.00	Q 0.40
104 - CLORACION	Q 733,818.83	Q 0.08
105 - MANO DE OBRA OPERACIÓN	Q 3,247,620.00	Q 0.35
02 - TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Q 8,500,000.00	Q 0.92
106 - TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Q 3,500,000.00	Q 0.38
107 - MANTENIMIENTO DE RED DE DRENAJE	Q 5,000,000.00	Q 0.54
03 - ADMINISTRACION Y COBROS	Q 2,012,100.00	Q 0.22
108 - GASTOS ADMON	Q 150,000.00	Q 0.02
109 - FACTURACION	Q 987,000.00	Q 0.11
110 - MANO DE OBRA ADMON	Q 875,100.00	Q 0.09
004 - DEPRECIACION	Q 1,798,333.33	Q 0.19
111 - REPOSICION DE EQUIP	Q 1,798,333.33	Q 0.19
TOTAL ANUAL	Q 49,228,299.85	Q 5.33

7.7 Mixco

7.7.1 Aspectos Institucionales

La prestación es por medio de la municipalidad en forma directa y por medio de la prestación privada. El 45% de la población es atendida por la municipalidad, el 55% restante no es atendido por la municipalidad⁴⁰, pero no se tiene claro si este porcentaje es atendido en su totalidad por los privados. La estructura municipal y por lo tanto, la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado, esta segmentada por líneas funcionales.

Ilustración 39 Gerencias relacionadas a los servicios de agua y saneamiento de Municipalidad de Mixco

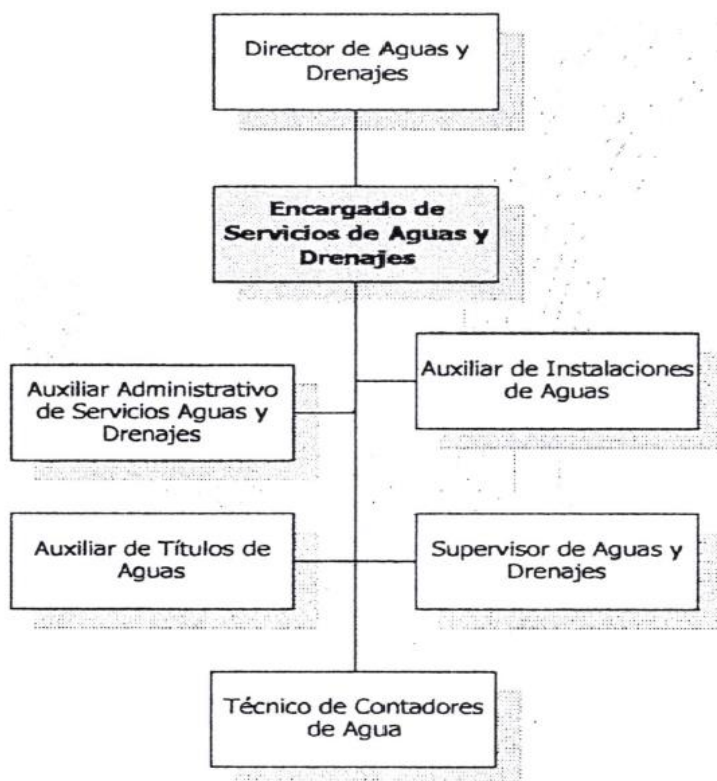


Al igual que para las otras municipalidades de la MGCS, las funciones estratégicas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales es realizada por dos dependencias, la Dirección de Aguas y Drenajes (DAD), y la Dirección Municipal de Planificación Municipal (DMP). Las áreas administrativas, financieras, de compras, RRHH, y otras son áreas de apoyo, y parte de la gestión.

La DAD se dedica principalmente a las funciones operativas, es decir realiza el mantenimiento de la infraestructura, opera los sistemas y atiende las solicitudes de reclamación del día a día, para lo cual existen áreas de acueducto (aguas), drenajes, pozos subterráneos, plantas de tratamiento, tanto de agua potable como de aguas residuales. Para el año 2014, había un total de 380 trabajadores en las diferentes áreas de la Dirección.

⁴⁰ Ibid.

Ilustración 40 Dirección de Agua y Drenajes



La DMP atiende los proyectos y actividades técnicas no operativas, por lo tanto es la encargada de preparar los proyectos de toda la cadena de servicio como es abastecimiento, tratamiento, suministro, drenaje tanto sanitario como pluvial, saneamiento y otros, por lo tanto planifica estos programas de inversión, prepara las licitaciones, diseña si está bajo su alcance, define con las áreas de apoyo financiero los recursos para su realización, y en general todas las actividades para construir la infraestructura técnica requerida. No sobra mencionar, que esta área responde por toda la planificación de la municipalidad, por lo tanto, no es exclusiva para la gestión de agua y saneamiento.

Una de las actividades importantes es coordinar los POT y Planes de Desarrollo, para lo cual han contado con el apoyo de las entidades del estado SEGEPLAN, INFOM y otras.

Normalmente la DAD recoge las necesidades en terreno, y con la colaboración de la Dirección de Comunidades en Desarrollo, que se reúne con los COCODES, definen la priorización de las obras sugeridas. Estas se llevan a la DPM, que conjuntamente con el alcalde preparan los planes a ejecutar.

La DAD también forma parte del proceso de facturación. Para realizar labores de mantenimiento que exigen mayores recursos, se tiene contratado servicios externos para realizar el mantenimiento de las fosas sépticas y pozos sépticos y otros elementos de la infraestructura de redes.

Temas como levantamiento de procesos para mejora continua, manuales de funciones, gestión de la Calidad, sistemas documentales, son ajenos a la municipalidad.

7.7.2 Aspectos Tarifarios

Aproximadamente el 18% del presupuesto municipal se dedica a la prestación de acueducto. Las tarifas oscilan entre 20 Q. hasta 115 Q., donde las tarifas más altas corresponden a usuarios que estaban siendo atendidos por privados, y que tuvo la municipalidad que intervenir. El costo de la conexión al servicio, que les da un título de por vida, es de 2555 Q, aunque se encuentran valores diferenciales para algunos condominios que llegan a 6400 Q.

El valor real del canon estimado para el año 2015⁴¹ es de Q102.12. Ver siguiente Tabla.

Tabla 17 Integración de pago por m³ de agua suministrada al vecino

Total de ingresos por concepto contribución al servicio de alumbrado publico2,011*		Q74.492.366,31
Total de ingresos por concepto de canon de agua 2,011		Q24.803.037,51
Total de viviendas registradas en depto. de aguas		45,981
Total m ³ anuales producidos	24.559.093,62	m ³ .
Precio m ³ suministrado 2,012		Q1,01
Déficit por m ³ con inversión gobierno central		Q2,52
Déficit por m ³ sin inversión gobierno central		Q2,01
valor real del canon mensual de agua		Q102,12
*La tasa de alumbrado público subsidia el pago de la factura de consumo de energía eléctrica de los pozos.		

Para el comercio e industria (2800) la tarifa es de 105 Q. por 30 m³ al mes, por los m³ adicionales se cobra 10 Q. Para estos usuarios se le instala medidor. Normalmente se hace un censo en cada sector del comercio e industria, se le notifica del cambio de tarifa y de la instalación del medidor y a los 2 días se ejecuta los cambios.

El balance de ingresos y egresos para el 2015 arrojó un déficit de Q49,298,895, el cual es subsidiado parcialmente por la tarifa de energía eléctrica.

7.8 Balance regional de operación anual MGCS agua potable

En el año 2015, la MGCS realizó el computo de ingresos y egresos de seis municipios de la Mancomunidad, resumiendo los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 18 Balance de ingresos y egresos de operación anual MGCS

AGUA POTABLE							
MUNICIPIO	CONTADORES	INGRESOS ANUALES	GASTOS ANUALES	VALOR TITULO/ CONEXIÓN	CANON MENSUAL	COSTO MUNICIPAL MENSUAL	LECTURA Y FACTURACION
Santa Catarina Pinula	Con Lectura	Q 5.365.363,95	Q 13.432.202,54	Q 2.300,00	Q 30,00	Q 125,00	SI
San Miguel Petapa	No Se Leen	Q 2.000.000,00	Q 6.000.000,00	Q 2.290,00	Q 22,80	Q 65,00	NO

⁴¹ Diagnóstico Inicial de Agua Potable, MGCS, 2015

AGUA POTABLE							
MUNICIPIO	CONTADORES	INGRESOS ANUALES	GASTOS ANUALES	VALOR TITULO/ CONEXIÓN	CANON MENSUAL	COSTO MUNICIPAL MENSUAL	LECTURA Y FACTURACION
Villa Canales	No	Q 5.000.000,00	Q 15.000.000,00		Q 20,00		NO
Amatitlán	No			Q 1.500,00	Q 30,00	Q 90,00	NO
Villa Nueva	En Instalación (3,500)	Q 12.046.440,00	Q 49.228.299,85	Q 3.500,00	Q 25,00	Q 135,00	NO
Mixco	Solo Empresas (2,800)	Q 24.803.037,51	Q 74.101.932,83	Q 2.555,00	Q 20,00	Q 120,00	NO
		Q 49.214.841,46	Q 157.762.435,22				

El déficit regional resultó ser de Q108,547,594.

Del ejercicio realizado se nota lo siguiente:

No todas las municipalidades cuentan con medidores de agua, solamente la Municipalidad de Santa Catalina Pinula efectuó lectura y facturación. Lo anterior significa que es muy difícil, sino imposible, estimar el consumo real por inmueble o por persona. Además, la falta de medición no estimula el ahorro de agua.

Todas las municipalidades presentaron un déficit que osciló entre Q4 millones y Q50 millones, los cuales fueron subsidiados por los otros servicios o por fondos del presupuesto.

Lo anterior también implica que los cánones existentes son muy bajos o la gestión del servicio es ineficiente.

7.9 Análisis de la prestación de los servicios

La gestión de los servicios de agua y saneamiento se ha dirigido más hacia el servicio de agua potable, por ser una necesidad vital más urgente.

Todas las municipalidades cuentan con una oficina encargada del abastecimiento del agua y de saneamiento denominada de forma diversa: Servicios Públicos; Departamento de Agua; Dirección de Agua; Dirección de Agua y Saneamiento. El nivel de organización de la prestación del servicio varía entre las municipalidades, con algunas mejor organizadas que otras en cuanto a personal y a presupuesto. Sin embargo, la administración y gestión de los servicios se realiza, no solamente por los Departamentos de agua y saneamiento, sino también por las otras Direcciones y Departamentos incluyendo Planificación y Administración Financiera, lo que diverge el esfuerzo necesario en gestión de los servicios de agua y saneamiento.

La prestación del servicio adolece de debilidades en cuanto a las labores de planificación estratégica a largo plazo, en algunas municipalidades se usa el Plan Operativo Anual como instrumento de planificación a corto plazo, aunque algunas municipalidades han adaptado los POAs en base a planes multianuales.

No se ha logrado el aumento de cobertura de alcantarillado y sobre todo de tratamiento de aguas residuales esperado y por tanto se siguen desfogando las aguas residuales a los zanjones y ríos sin tratamiento.

No se cuenta con un inventario y caracterización de todos los desfogues sin control, lo que dificulta el manejo de la información "oficial", la cual hay que investigarla en varias fuentes.

No se cuenta con una base de datos e información precisa respecto a la cobertura de los servicios. En algunas municipalidades existe la información de redes en expedientes físicos como planos, presupuestos dentro de carpetas archivadas en varios lugares. Otra información se ha perdido con el cambio de las administraciones municipales. Se vislumbra la necesidad de la designación de personal para la generación, registro, administración y actualización de la información.

Las municipalidades no cuentan con los recursos financieros necesarios para incrementar la cobertura de los servicios de alcantarillado y tratamiento.

No existe un control riguroso y sistemático de los prestadores de servicios privados, lo que dificulta el control de los mismos, la obtención de la información total de la generación y tratamiento de las aguas residuales, así como el grado de tratamiento proveído por dichos prestadores.

Por otra parte, una revisión de la evolución de la gestión municipal en los últimos años, muestra que se han producido avances en la dirección correcta.

- Como se mencionó todas las municipalidades cuentan con una Dirección o un Departamento de Aguas y Saneamiento.
- Se ha mejorado la coordinación entre los Departamentos de Planificación y de Aguas.
- Los sistemas de información se están digitalizando con georreferenciación y con incremento gradual de alimentación con información que promoverá en el futuro el intercambio eficaz y la disponibilidad de la información para los diferentes proyectos.
- Se ha avanzado en el derecho a la información al público y transparencia con el diseño de portales en internet con información de registros contables.
- Aunque todavía se observa cierta resistencia, la visión de soluciones regionales se va abriendo paso, así como la concientización de que solo con dichas soluciones se podrá lograr en forma gradual la recuperación de la calidad de las aguas de los cuerpos receptores y especialmente del Lago Amatitlán.
- Finalmente se cuenta con una plataforma de coordinación entre los municipios con la conformación de la MGCS, el cual puede mejorar sus funciones de asesoría técnica y compilador de información regional ya que los sistemas de agua subterránea, sistemas pluviales, sistemas de comunicación y ahora sistemas de saneamiento pasan las fronteras de los municipios y se interrelacionan, especialmente.

Tal como se expuso arriba, en la MGCS existen dos modelos de gestión principales:

- La administración con Empresa Municipal descentralizada y con manejo de recursos financieros independientes como es el modelo de EMPAGUA, y
- la gestión municipal, con la administración de los servicios de agua y saneamiento como parte de las labores municipales a través de un Departamento de Aguas operativo que interactúa con las otras Direcciones y Departamentos que se ocupan a la vez de todos los otros servicios municipales. En este modelo, no existe independencia financiera pueden existir subsidios cruzados entre dependencias. La buena gestión de los servicios de saneamiento en el modelo de gestión municipal requiere de una disciplina fiscal y operativa que es muy difícil de conseguir con este tipo de regencia.

Si se consideran sistemas regionales, se impone la necesidad de explorar otros modelos de gestión entre otros:

- Formación de unidades operativas mancomunadas con estandarización de normas y procedimientos comunes y establecimiento de manuales de procedimientos comunes.

- Aprovechar la experiencia de EMPAGUA, la que podría brindar asistencia técnica e incluso operar y mantener los sistemas mayores.
- Continuar operando con el modelo de gestión municipal; pero con la formación de unidades de planificación estratégica, departamentos técnicos y formulación de proyectos de inversión conjuntos ubicados dentro de la MGCS. De esta manera se concentraría las unidades técnicas en una sola institución que facilitaría la planificación integral, dejando la operación a las municipalidades.
- Concesiones aprobadas por las Municipalidades
- Otros modelos que considere una combinación de las opciones anteriores.

Cualquiera de estas opciones, requiere de consultas en los consejos municipales, formulación de decretos y manuales de procedimientos, de modelos de administración de los recursos financieros y de acuerdos intermunicipales.

Finalmente se incluye en el ANEXO 2, el análisis realizado por Triana en el Documento “Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala” realizado en el año 2014; algunas de cuyas conclusiones se consideran válidas a pesar de los avances mencionados anteriormente.

7.10 Retos Identificados

Fortalecer la capacidad de gestión de las Municipalidades en cuanto a todos los aspectos de planificación, estratégica, manejo de información, ejecución de obras y labores de operación y mantenimiento. Esto puede requerir un análisis y reestructuración del modelo de gestión actualmente en ejecución.

Lograr la auto sostenibilidad de la prestación de los servicios o al menos mejorar el balance financiero en lo que respecta a ingresos y egresos de los servicios de agua y saneamiento a través de políticas tarifarias

Analizar y mejorar el marco regulatorio que permita integrar la gestión de los sistemas privados a los sistemas de gestión municipal, o al menos mejorar la coordinación entre los ministerios a cargo de estas funciones con las municipalidades.

Definición del modelo de gestión mancomunado para soluciones regionales.

8 Informe de Diagnóstico de Ríos

8.1 Diagnóstico Ríos de la zona de influencia

El área de influencia del proyecto tiene dos zonas bien diferenciadas, la cuenca norte compuesta por los ríos Las Vacas y Plátanos que a su vez descargan en el río Motagua y la cuenca sur, o cuenca del Lago Amatitlán compuesta por el río Villalobos y sus tributarios. Adicionalmente, el Lago Amatitlán recibe las aguas del río Pampumay el cual contribuye con menos del 3% del caudal afluente al Lago Amatitlán.

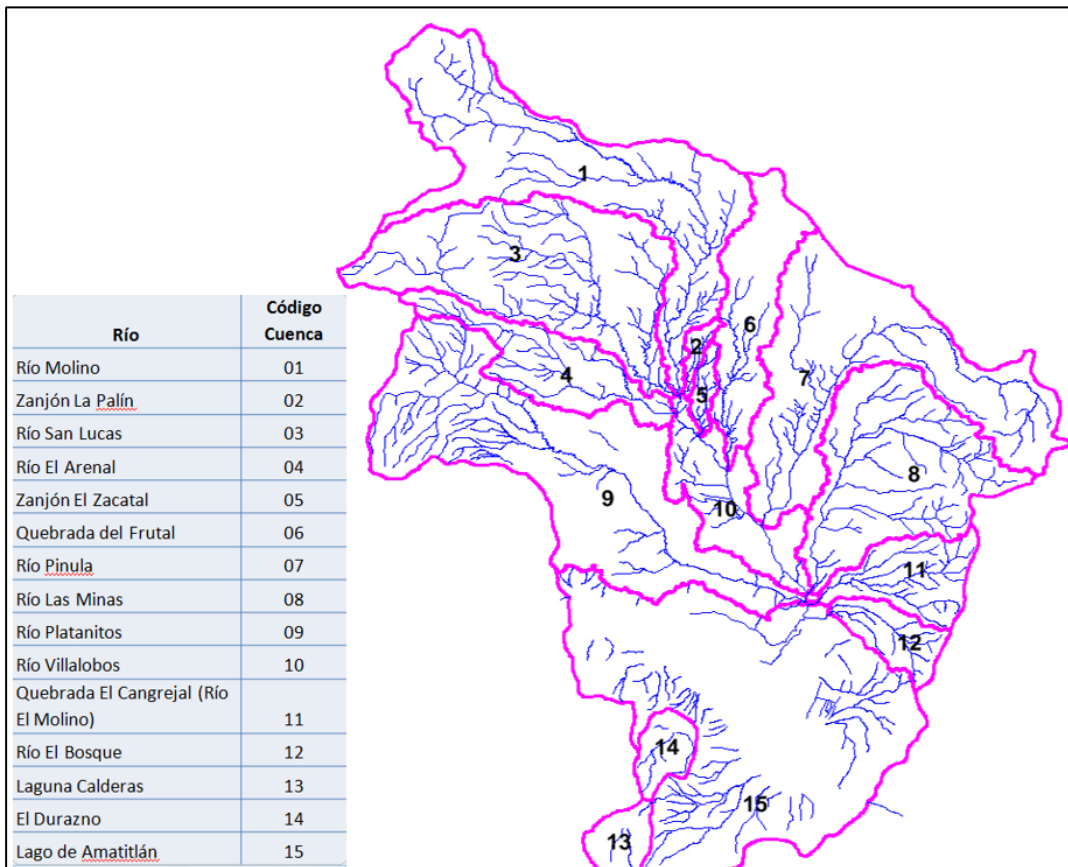
Todos los municipios de la MGCS descargan a las cuencas mencionadas, a excepción del municipio de Amatitlán el cual descarga al río Michatoya, que no es parte de la cuenca del Lago Amatitlán y es un tributario del río María Linda.

8.1.1 Cuenca Sur

La cuenca del lago de Amatitlán tiene una extensión estimada de 402.92 Km², en la cual se distribuyen los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez, asentándose los municipios de la

MGCS Mixco, Guatemala (parte sur de la ciudad capital, zonas 7, 11, 12, 13 y 21), Santa Catarina Pinula, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales, Amatitlán que son los municipios con mayor descarga contaminante de la cuenca; sin embargo, parte de los municipios de San Lucas, Santa Lucía Milpas Altas, Magdalena Milpas Altas, Fraijanes, San Pedro Sacatepéquez, Santiago Sacatepéquez y San Bartolomé Milpas Altas contribuyen a la cuenca del lago. La siguiente ilustración muestra la cuenca sur, los principales tributarios y quebradas y zanjones.

Ilustración 41 Cuenca Sur y Tributarios



Fuente: Plan de Control de la Contaminación de la Contaminación del Lago Amatitlán y del Río Villalobos, INCLAM, 2014

La población de la cuenca es aproximadamente dos millones de personas, siendo el municipio de Villa Nueva el más poblado. En la cuenca se ubican diversos accidentes geográficos, tales como: lagos, ríos, cerros, quebradas y montañas. También en ellas se encuentra ubicada la mayor parte de la industria nacional y numerosas áreas de vivienda.

Los suelos que conforman la cuenca de los lagos son, básicamente, formaciones de origen volcánico de diferentes épocas las que a través del tiempo han ido consolidándose hasta llegar a formaciones de roca. Estos son de color café, de textura franca a franca arcillosa, para los suelos superficiales, siendo ligeramente ácidos y de un espesor que varía de 25 a 30 centímetros.

Los subsuelos por lo general son de una textura franco arcillosa un potencial de hidrógeno ligeramente ácido, de color café rojizo y con una profundidad en algunos casos de más de un metro (AMSA, 2004).

La cuenca del Río Villalobos está compuesta por aluvión, estando la parte norte del lago, compuesta por sedimentos eólicos, flujo de ceniza, sedimentos fluviales y lacustres y sufriendo los riesgos de licuefacción e inundaciones. Superficialmente, los suelos están formados por una capa orgánica que varía entre 20 a 25 centímetros de profundidad, formaciones de arena blanca, materiales de relleno, roca y disposiciones volcánicas (AMSA, 2004).

El Tipo de drenaje está bien definido por la estructura geológica y la forma general del terreno. Presenta un drenaje de tipo dendrítico que define a la subcuenca con una densa y bien distribuida red de drenajes, que permite sin problemas, la evacuación de las precipitaciones de su área. Este hecho ha sido utilizado por los centros urbanos para las descargas fluviales y las aguas residuales tratadas o crudas.

La cuenca del río Villalobos se caracteriza por ser una cuenca urbana con una alta densidad poblacional, superando los dos millones de habitantes, que descarga las aguas residuales domésticas e industriales a las microcuencas que alimentan al río que eventualmente drena las agua en el lado Oeste del lago de Amatitlán. La cuenca del río Pampumay, además de ser pequeña, debido a su carácter rural descarga agua de buena a mediana calidad que drena en el lado Este del Lago de Amatitlán.

El uso del suelo en la cuenca ha estado cambiando rápidamente en las últimas décadas, de cobertura vegetal natural y cultivos, anuales y perennes, a cobertura urbana, comercial e industrial. Las áreas urbanas y/o construidas, conjuntamente con las zonas agrícolas, representan los usos del suelo mayoritarios en la cuenca del lago Amatitlán, con prácticamente el 75% de la superficie total. En menor medida, la cobertura de bosque natural representa el 21% del área total, mientras que el Lago Amatitlán como único cuerpo de agua ocupa prácticamente el 4%. Finalmente, la cobertura de pastos naturales se encuentra por debajo del 1%.

Los cauces de los cursos fluviales han sufrido una alta presión antrópica, quedando altamente constreñidos por las obras de defensa, esto produce un aumento de los calados en los cauces, y su velocidad, aumentado el caudal dominante. Este hecho ha producido un aumento de la erosión general a largo plazo, una desestabilización de la pendiente del cauce, y una inestabilización de los márgenes de los cauces existentes. Todos estos problemas acaban provocando un aumento de transporte de sedimentos en el cauce, incrementando la proporción en dicho transporte de las partículas más gruesas.

Se estima que el río Villalobos presenta más de 550 kilómetros de cauces tributarios y quebradas los cuales se concentran en ocho subcuencas principales y 18 microcuencas que transportan las aguas residuales y desechos sólidos que drenan y se vierten de los poblados circunvecinos. Las subcuencas principales son:

- Río San Lucas
- Río Pansalic/Panchiguaja/Molino
- Río Platanitos
- Río Pinula
- Río Frutal/Zacatal
- Río Las Minas
- Río El Bosque
- Río Villalobos

La Autoridad del Lago de Amatitlán AMSA realiza el monitoreo de los siguientes ríos: río Pampumay, río El Frutal/Zacatal, río Pansalic/Panchiguajá, río Pinula, río Platanitos, río San Lucas y río

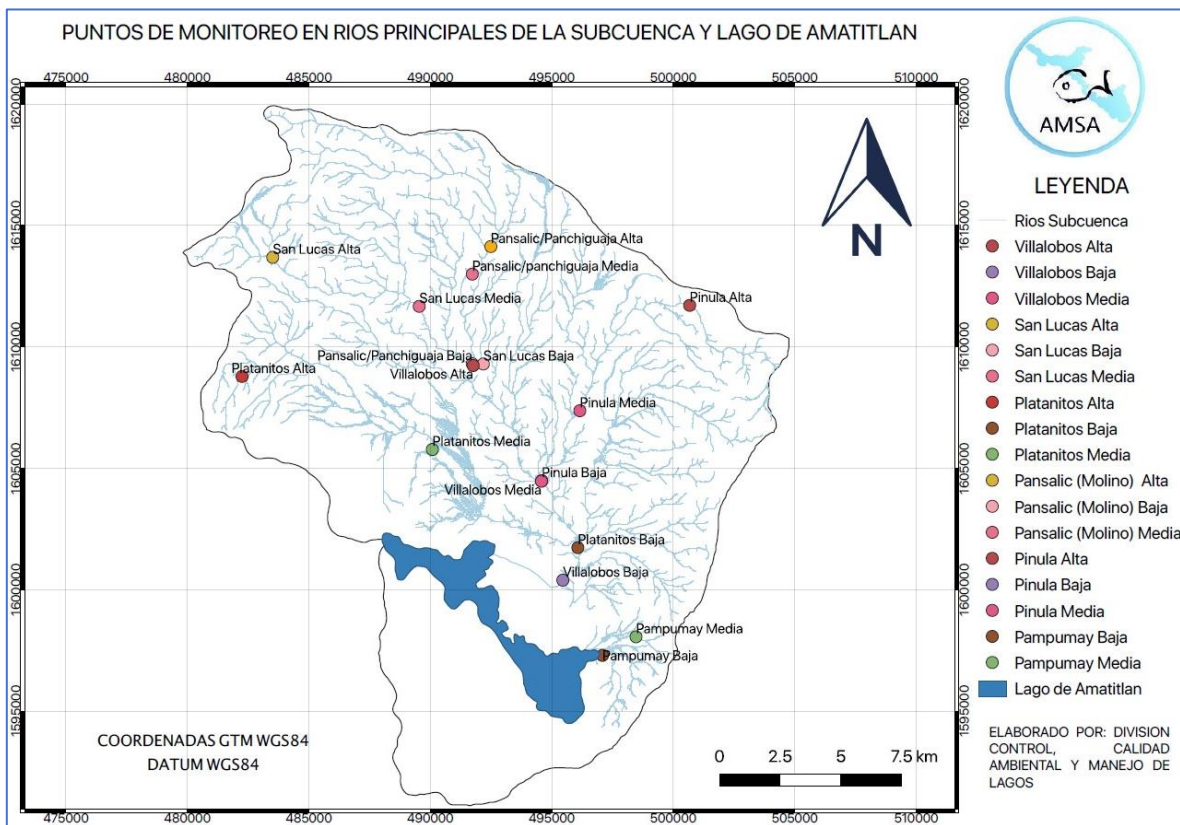
Villalobos. El monitoreo mensual consiste en la determinación de caudal, parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, metales pesados y bioindicadores con macroinvertebrados bénticos.

Los puntos de muestreo se presentan a continuación:

Tabla 19 Puntos de muestreo mensuales cuenca Lago Amatitlán

PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	
Río San Lucas	14°35'35.7"	90°39'09.3"
Río Pansalic/Panchiguajá	14°35'21.7"	90°21'48.2"
Río Frutal/Zacatal	14°30'37.6"	90°33'00.6"
Río Pinula baja	14°30'59.8"	90°33'26.8"
Río Platanitos	14°31'16.4"	90°35'31.1"
Río Villalobos	14°28'23.1"	90°32'31.9"
Río Pampumay baja	14°26'43.5"	90°31'37.3"
Río Pampumay media	14°27'08.0"	90°30'57.4"

Ilustración 42 Mapa con ubicación de puntos de muestreo



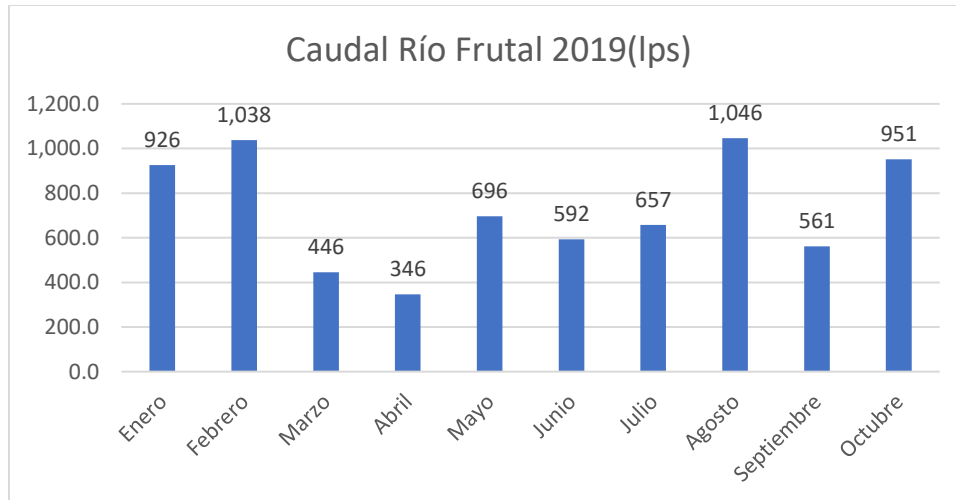
Resultados de Análisis de Caudales y cargas contaminantes

Los ríos de la cuenca del lago Amatitlán ha sido monitoreada anualmente por AMSA desde su fundación. Durante todo el período de monitoreo, la calidad de los ríos no ha variado significativamente. Por esta razón, en este análisis se usará principalmente el último informe del Estado de los Cuerpos de Agua de la Cuenca del lago Amatitlán, 2019 y parcialmente el informe de Diagnóstico de los Cuerpos de Agua de la Cuenca del Lago de Amatitlán del 2018. Se realiza un análisis por las cuencas principales y al final un análisis resumen de toda la cuenca.

8.1.1.1 Río Frutal

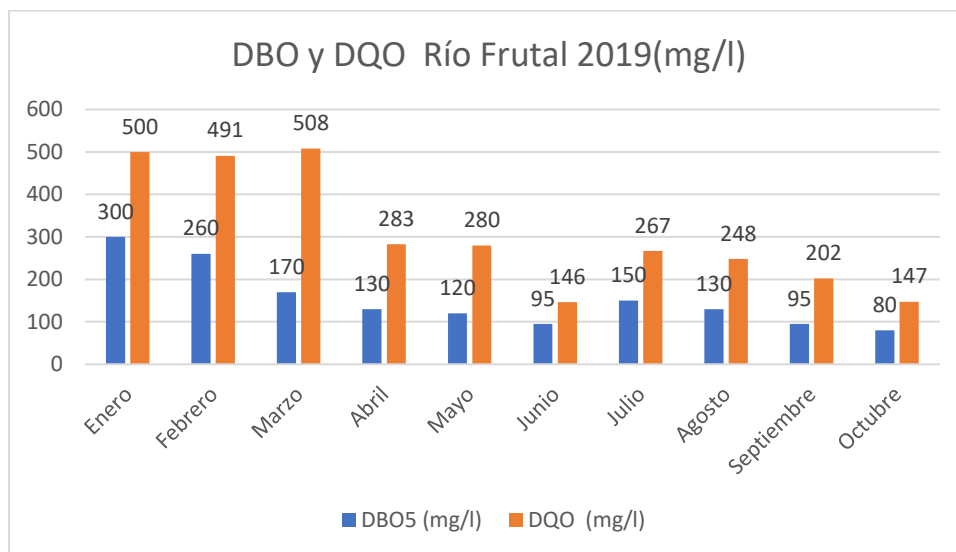
El río Frutal nace en el municipio de Guatemala y recibe las aguas residuales del sector oeste del municipio de Villa Nueva. Tiene una longitud de 8.37 Km antes de descargar al río Villalobos. Para el período de enero a noviembre del 2019 mostró un caudal promedio de 719 lps.

Ilustración 43 Caudal mensual río Frutal período enero-noviembre 2019



La demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) varió entre 80 y 300 mg/l, lo que denota una contaminación alta de aguas residuales, la relación DBO/DQO promedio fluctuó entre 1.67 y 2.99 con un promedio de 2.0, lo que confirma la procedencia de aguas principalmente domésticas.

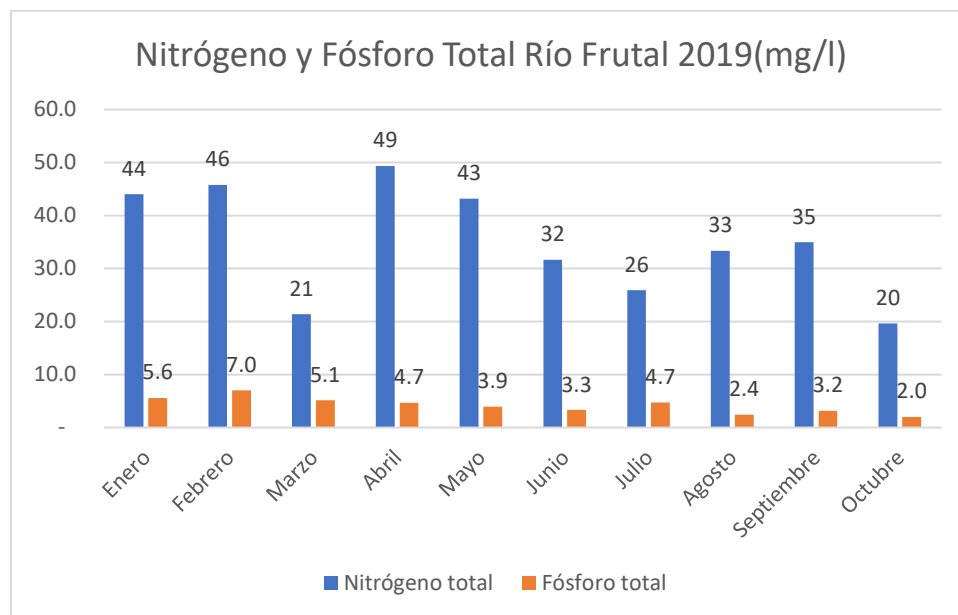
Ilustración 44 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Frutal período enero-noviembre 2019



El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes más importantes ya que promueven el proceso de Eutrofización, para el caso del río Frutal, ambos valores fueron excesivos para corrientes naturales y confirman la presencia de descargas de aguas residuales.

Es interesante notar que las concentraciones registradas son similares a las de aguas crudas de consistencia débil y la tasa promedio N/P de 8.4 también confirma la procedencia doméstica de la influencia de las descargas de las aguas residuales.

Ilustración 45 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Frutal período enero-noviembre 2019



El conteo de coliformes fecales varió entre $1.6E+06$ y $6.6E+07$ NMP/100 ml. Estos valores representan un riesgo para la salud humana y son un índice inequívoco de contaminación fecal.

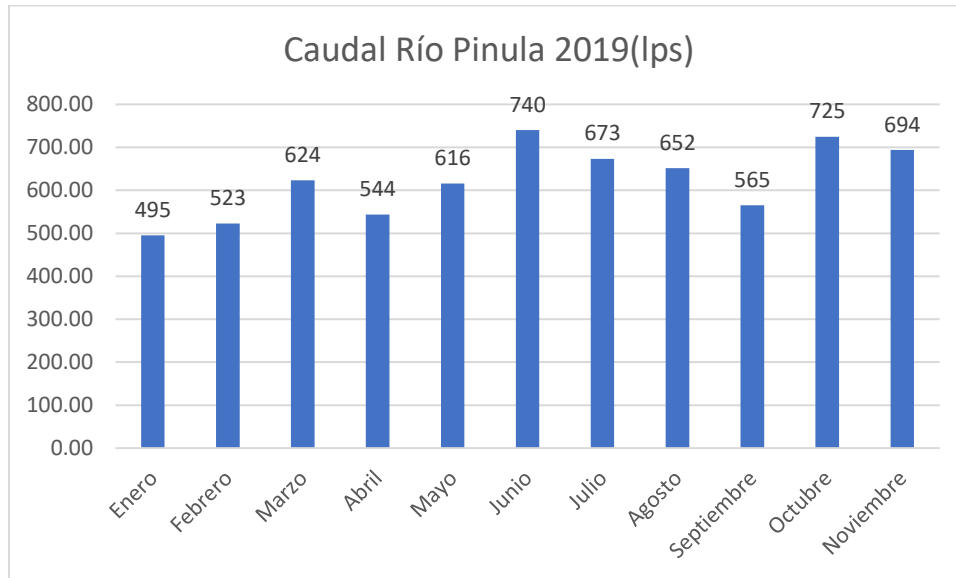
Respecto a los metales pesados, la mayoría de las concentraciones fueron menores o muy cercanos a los límites de detección, con la excepción de arsénico y zinc con concentraciones promedios de 0.061 y 0.098 mg/l respectivamente. Sin embargo, las concentraciones de hierro fueron altas con promedio de 8.26 mg/l.

El índice ICA de clasificación de aguas residuales varió entre 12 y 16, lo que clasifica al río como de calidad pésima.

8.1.1.2 Río Pinula

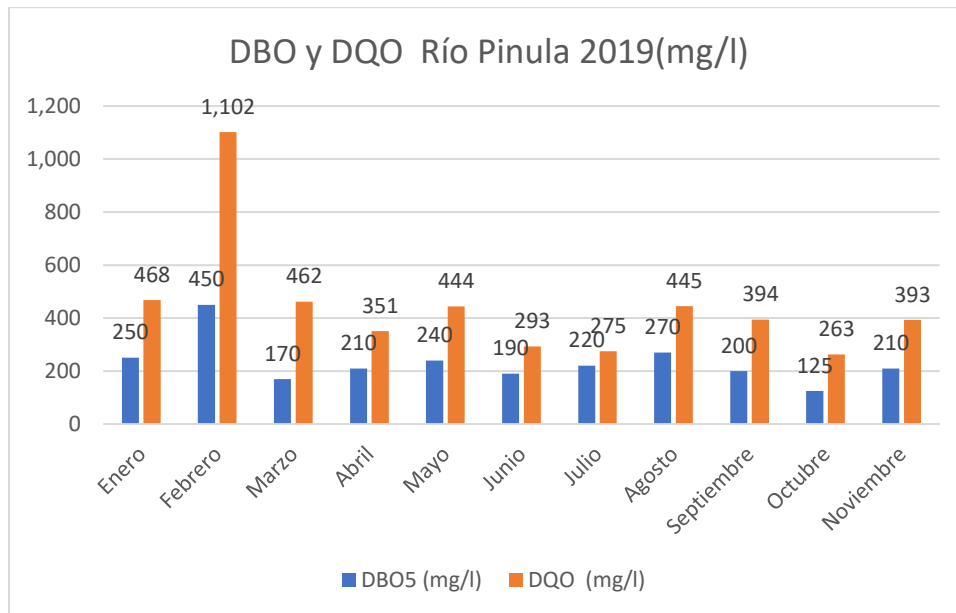
El río Pinula nace en el municipio de Santa Catarina Pinula y recibe aguas residuales de los municipios de Santa Catarina Pinula, Guatemala, Villa Canales y San Miguel Petapa. Tiene una longitud aproximada de 21.5 Km., recibe dos afluentes, el río Panasequeque y el río Guadrón. Para el período de enero a noviembre del 2019 mostró un caudal promedio de 622.6 lps. La poca variabilidad del flujo entre la época de estiaje y lluviosa revela que la mayor parte del agua afluente proviene de descargas de alcantarillado.

Ilustración 46 Caudal mensual río Pinula período enero-noviembre 2019



La DBO5 promedio fue de 230.45 mg/l y la DQO de 445.55mg/l para una relación DQO/DBO de 1,93. La concentración de estos parámetros es típica de aguas residuales crudas de consistencia media⁴²; en otras palabras el río se comporta como una alcantarilla o canal de recepción de aguas residuales crudas.

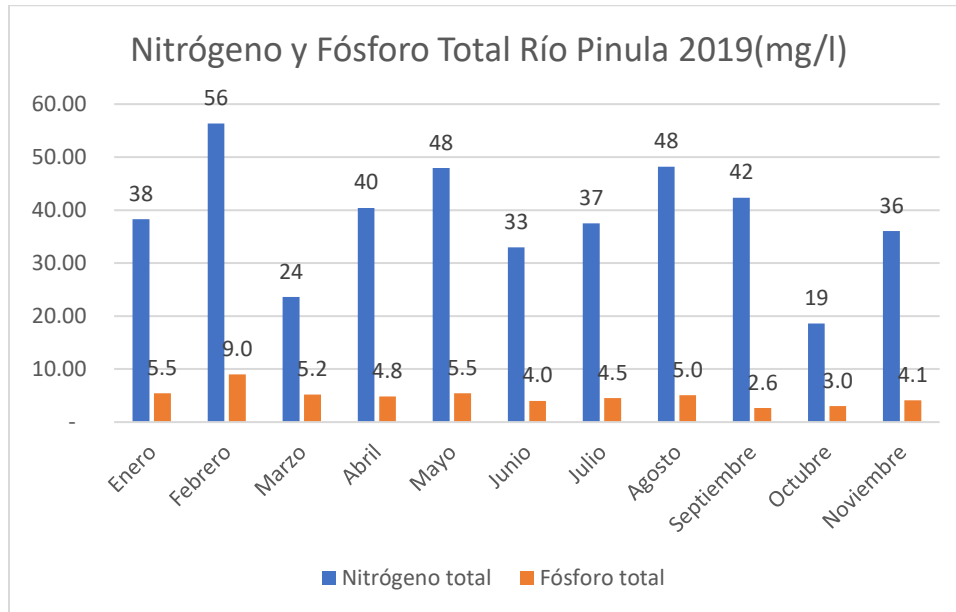
Ilustración 47 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Pinula período enero-noviembre 2019



Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total promedios fueron de 38.38 y 4.85 mg/l, típicas de aguas residuales crudas de consistencia media.

⁴² Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, Metcalf and Eddy, Third Edition, McGraw Hill, 1991

Ilustración 48 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Pinula período enero-noviembre 2019



El conteo de coliformes fecales varió entre 1.6E+06 y 6.0E+07NMP/100 ml. Estos valores representan un riesgo para la salud humana y son indicativos de contaminación fecal.

Respecto a los metales pesados, a pesar que algunas concentraciones fueron menores a los límites de detección, se encontraron rastros de arsénico, cromo total, cobre y zinc. La concentración de hierro fue excesiva, mayor a 50 mg/l.

Se concluye que estos valores proceden probablemente de descargas industriales.

Tabla 20 Concentración promedio de metales pesados río Pinula

Parámetro	Concentración promedio (mg/l)
Arsénico	0.075
Cadmio	ND
Cromo Total	0.007
Plomo	0.012
Mercurio	ND
Cobre	0.08
Níquel	ND
Zinc	0.237
Hierro	50.223

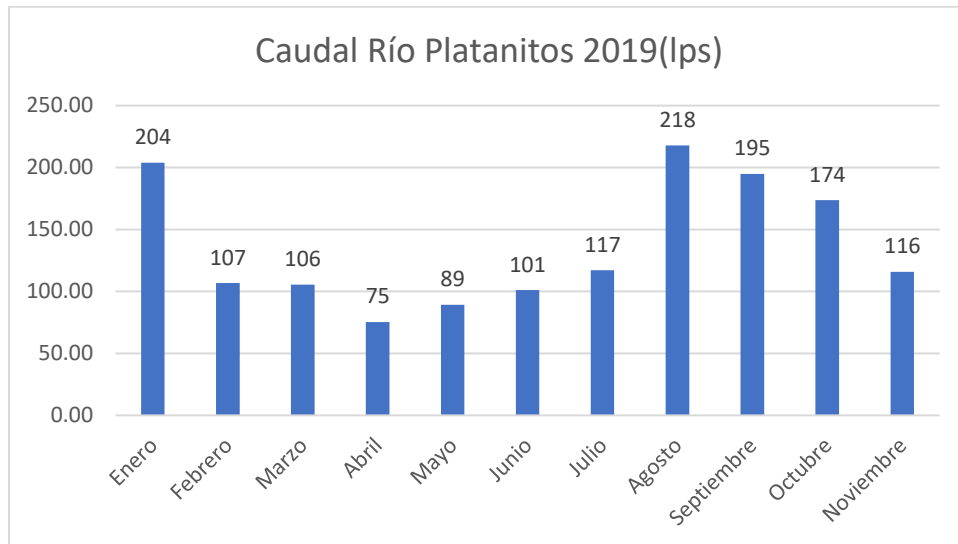
El índice ICA de clasificación de aguas residuales varió entre 9 y 11, lo que clasifica al río como de calidad pésima.

8.1.1.3 Río Platanitos

El río Platanito nace en los municipios de Santa Lucía y Magdalena Milpas Altas, del departamento de Sacatepéquez, abarca el 15.31% de la cuenca del Lago Amatitlán y recibe aguas residuales de los municipios de Villa Nueva y San Miguel Petapa. Para el período de enero a noviembre del 2019

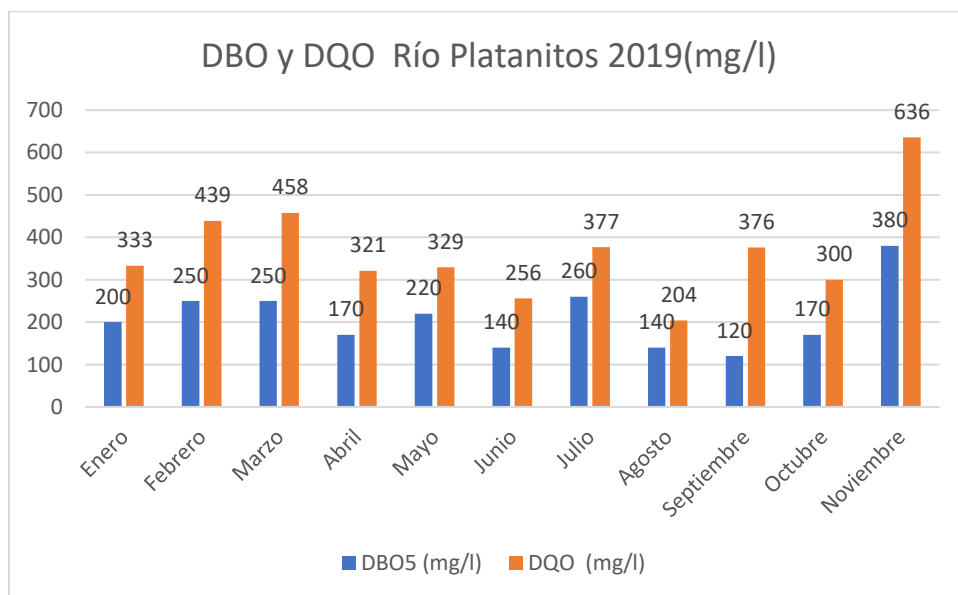
mostró un caudal promedio de 136.53 lps. La época de mayor caudal se dio entre agosto y enero y la de menor caudal entre febrero y julio.

Ilustración 49 Caudal mensual río Platanitos período enero-noviembre 2019



La DBO₅ promedio fue de 209.09mg/l y la DQO de 366.27 mg/l para una relación DQO/DBO de 1.75. La concentración de estos parámetros es típica de aguas residuales crudas de consistencia baja⁴³.

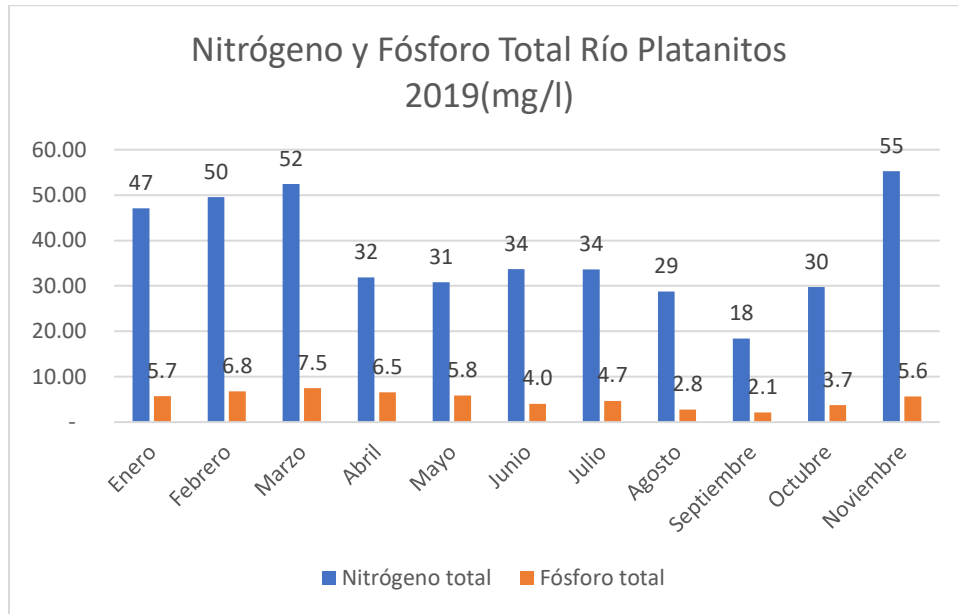
Ilustración 50 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Platanitos período enero-noviembre 2019



Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total promedios fueron de 37.39 y 5.02 mg/l, típicas de aguas residuales crudas de consistencia media.

⁴³ Ibid

Ilustración 51 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Platanitos período enero-noviembre 2019



El conteo de coliformes fecales varió entre $3.7E+06$ y $6.3E+07$ NMP/100 ml. Estos valores son semejantes a los encontrados en los otros ríos tributarios.

Respecto a los metales pesados, a pesar que algunas concentraciones fueron menores a los límites de detección, se encontraron rastros de arsénico, cromo total, cobre y zinc.

La concentración de hierro fue excesiva, mayor a 11 mg/l. Se sospecha que este valor procede de descargas industriales.

Tabla 21 Concentración promedio de metales pesados río Platanitos

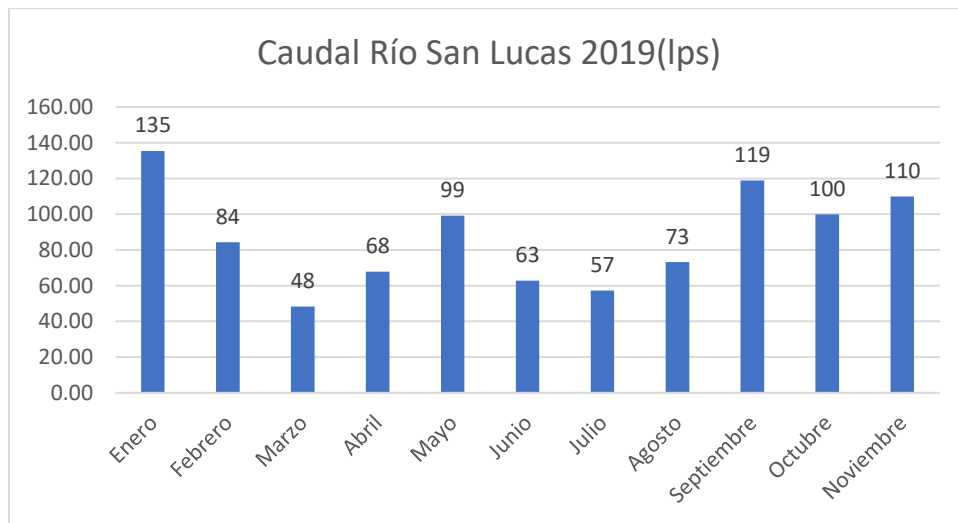
Parámetro	Concentración (mg/l)
Arsénico	0.02
Cadmio	ND
Cromo Total	0.00
Plomo	ND
Mercurio	ND
Cobre	0.01
Níquel	ND
Zinc	0.12
Hierro	11.63

El índice ICA de clasificación de aguas residuales varió entre 10 y 13, lo que clasifica al río como de calidad pésima.

8.1.1.4 Río San Lucas

El río San Lucas nace en el municipio de San Lucas de Sacatepéquez y recibe parte de las aguas residuales de este municipio, además de los municipios de Mixco y Villa Nueva, tiene una trayectoria aproximada de 13 kilómetros. Para el período de enero a noviembre del 2019 mostró un caudal promedio de 86.99 lps. La época de mayor caudal se dio entre septiembre y enero y la de menor caudal entre febrero y agosto.

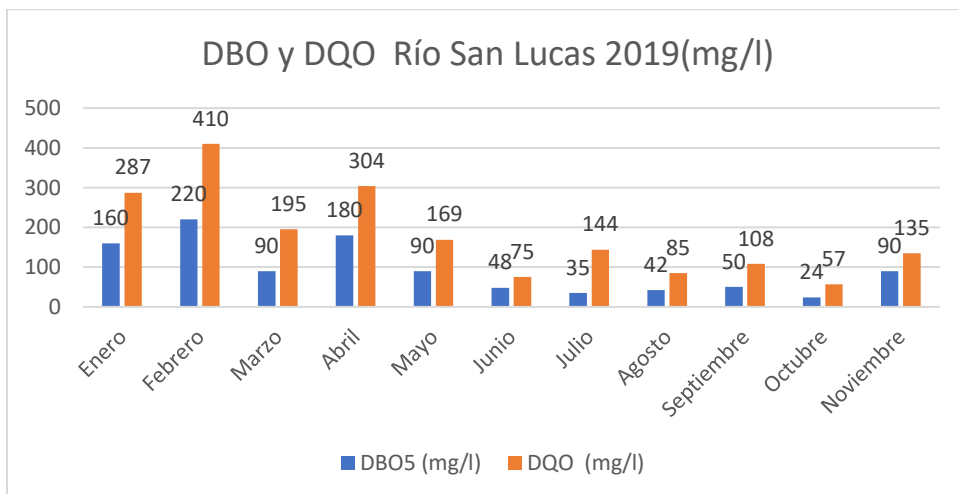
Ilustración 52 Caudal mensual río San Lucas período enero-noviembre 2019



La DBO₅ promedio fue de 93.55 mg/l y la DQO de 179 mg/l para una relación DQO/DBO de 1.91. La concentración de estos parámetros es típica de aguas residuales crudas de consistencia baja⁴⁴.

En la figura siguiente se muestra concentraciones altas entre los meses de enero a abril, lo cual coincide con la época de estiaje. Sin embargo, este patrón no se observa en las otras subcuencas.

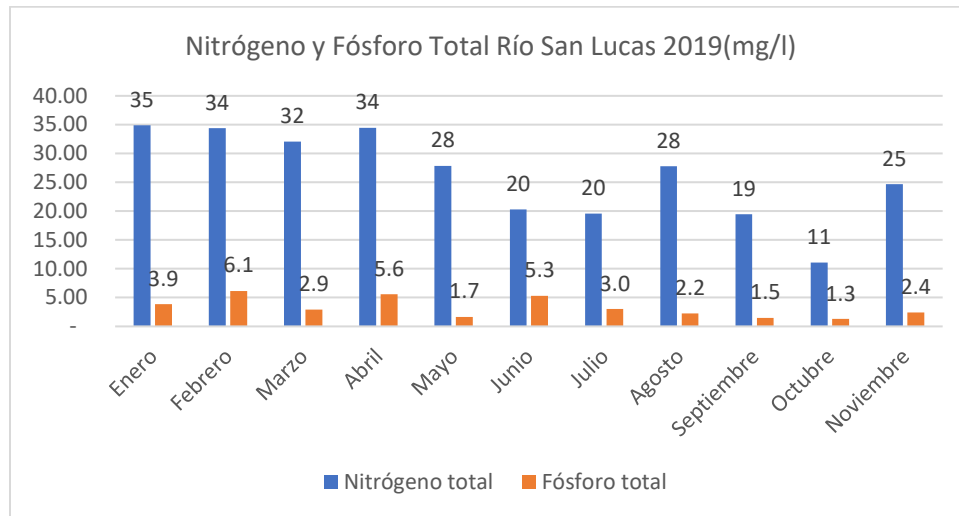
Ilustración 53 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río San Lucas período enero-noviembre 2019



⁴⁴ Ibid

Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total promedios fueron de 26.05 y 3.26 mg/l, típicas de aguas residuales crudas de consistencia baja.

Ilustración 54 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Platanitos enero-noviembre 2019



El conteo de coliformes fecales varió entre $1.4E+05$ y $1.4E+07$ NMP/100 ml. Al igual que para los ríos anteriores, estos valores representan un riesgo para la salud humana.

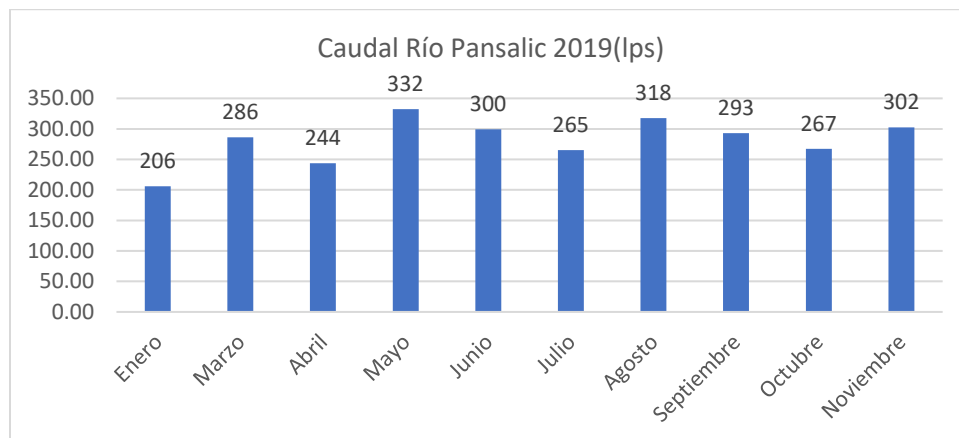
Respecto a los metales pesados, la mayoría de las concentraciones fueron menores a los límites de detección. La concentración de hierro también fue baja con un valor promedio de 0.96 mg/l.

Se concluye que esta microcuenca no recibe aguas industriales contribuyente con altas cargas metales pesados. El índice ICA de clasificación de aguas residuales varió entre 12 y 19, lo que clasifica al río como de calidad pésima.

8.1.1.5 Río Pansalic

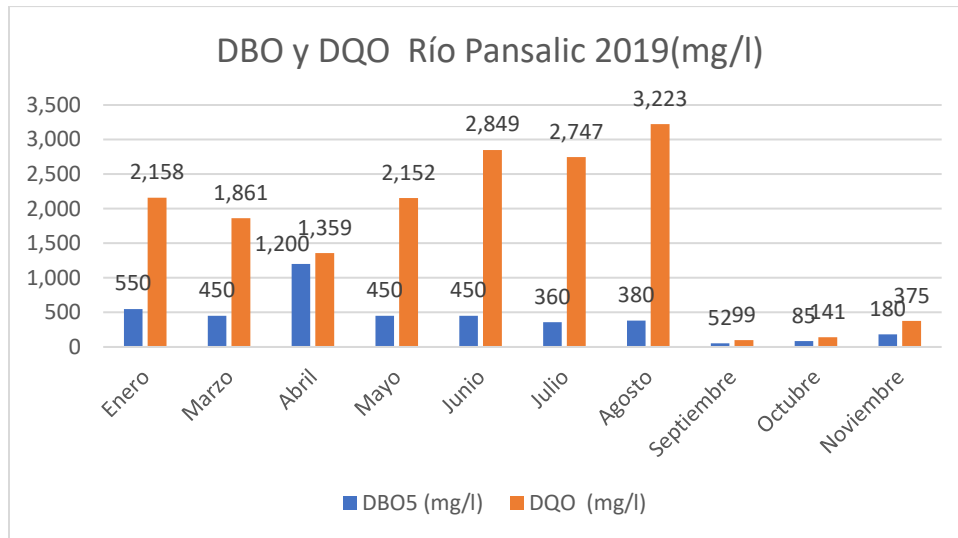
El río Pansalic nace cerca de Santiago de Sacatepéquez y recibe aguas residuales de los municipios de Mixco, Guatemala y Villa Nueva. Para el período de enero a noviembre del 2019 mostró un caudal promedio de 281.3 lps. La poca variabilidad del flujo entre la época de estiaje y lluviosa revela que la mayor parte del agua afluente proviene de descargas de alcantarillado.

Ilustración 55 Caudal mensual río Pansalic período enero-noviembre 2019



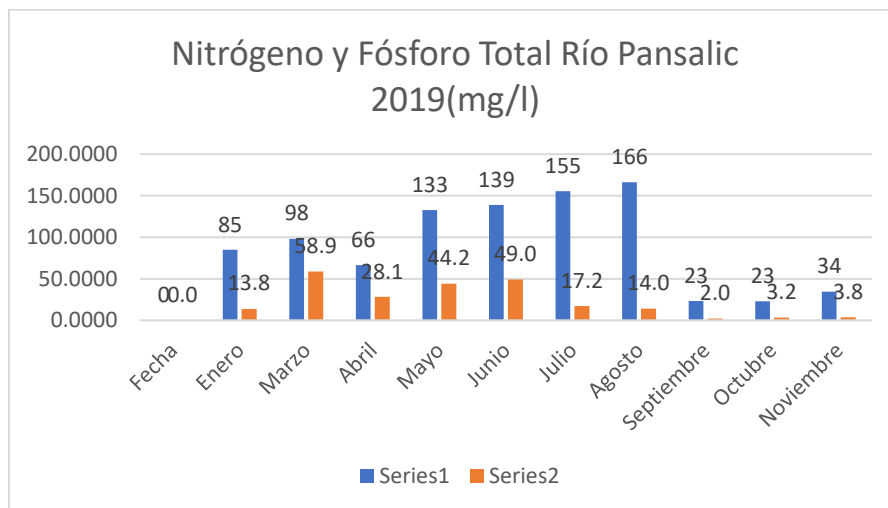
La DBO₅ promedio fue de 415.7 mg/l y la DQO de 1696.4 mg/l. La concentración de estos parámetros es excesivamente alta con concentraciones de DBO para aguas muy fuertes, la concentración de DQO es excesivamente alta y la relación DQO/DBO de 4.1 no deja dudas que el río recibe aguas industriales fuertes con altas concentraciones orgánicas y con sustancias de difícil biodegradabilidad. Entre los meses de mayo a agosto, las concentraciones de DQO son superiores a 2,100 mg/l, llegando a un máximo superior a 3,000 mg/l.

Ilustración 56 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Pansalic período enero-noviembre 2019



Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total promedios fueron de 92.3 y 23.4 mg/l, excesivamente altas que solo se producen con altas descargas de aguas industriales o de cargas de fertilizantes de origen agrícola, la relación N/P es de 3.9, atípicamente baja debido a las altas concentraciones de fósforo. Al igual que para el DBO y DQO, las mayores concentraciones ocurren entre los meses de mayo a agosto. La baja de concentración en los meses de septiembre a enero, sugiere una actividad intensiva estacional en los meses precedentes como procesamiento de alimentos.

Ilustración 57 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Pansalic período enero-noviembre 2019



El conteo de coliformes fecales varió entre 8.0E+05 y 4.5E+07 NMP/100 ml. Estos valores son un índice inequívoco de contaminación fecal.

Respecto a los metales pesados, también muestran la presencia de descargas industriales con concentraciones excesivas en comparación con aguas domésticas, la concentración promedio de hierro fue de 241.7 mg/l

Se concluye que estos valores proceden de descargas industriales.

Tabla 22 Concentración promedio de metales pesados río Pansalic

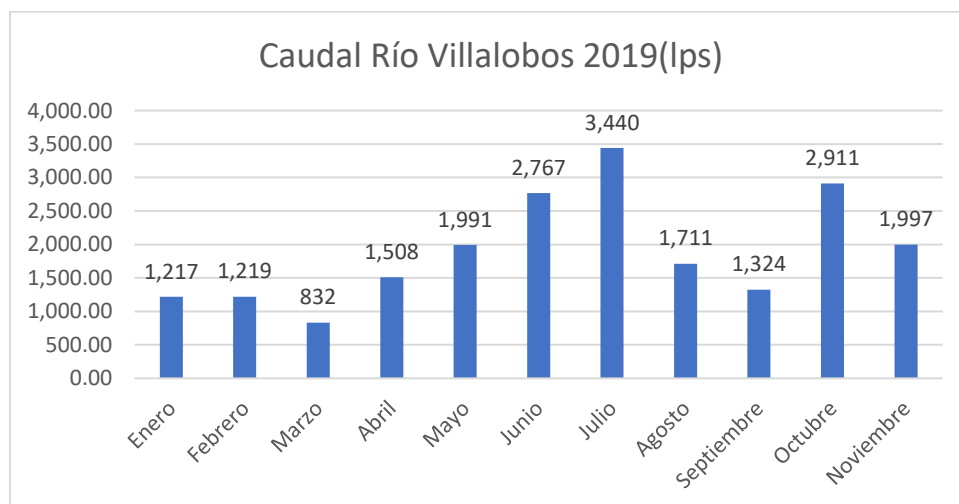
Parámetro	Concentración (mg/l)
Arsénico	1.634
Cadmio	ND
Cromo Total	0.050
Plomo	0.053
Mercurio	0.005
Cobre	0.611
Níquel	ND
Zinc	2.26
Hierro	241.7

El índice ICA de clasificación de aguas residuales varió entre 9 y 10, lo que clasifica al río como de calidad pésima.

8.1.1.6 Río Villalobos

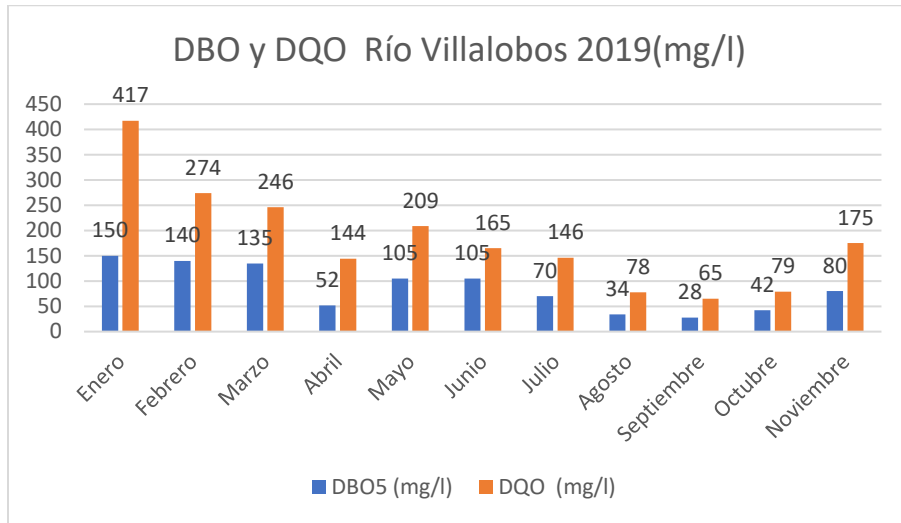
El río Villalobos nace de la confluencia de los ríos San Lucas y Pansalic/Molino y recibe aguas residuales de los municipios de Villa Nueva, Sam Miguel Petapa y Villa Canales, además recibe como ríos tributarios a todos los cueros de aguas considerados arriba. Para el período de enero a noviembre del 2019 mostró un caudal promedio de 1901.5 lps, con un valor mínimo de 832 lps para el mes de mayo y un valor máximo 3440 lps para el mes de julio.

Ilustración 58 Caudal mensual río Villalobos período enero-noviembre 2019



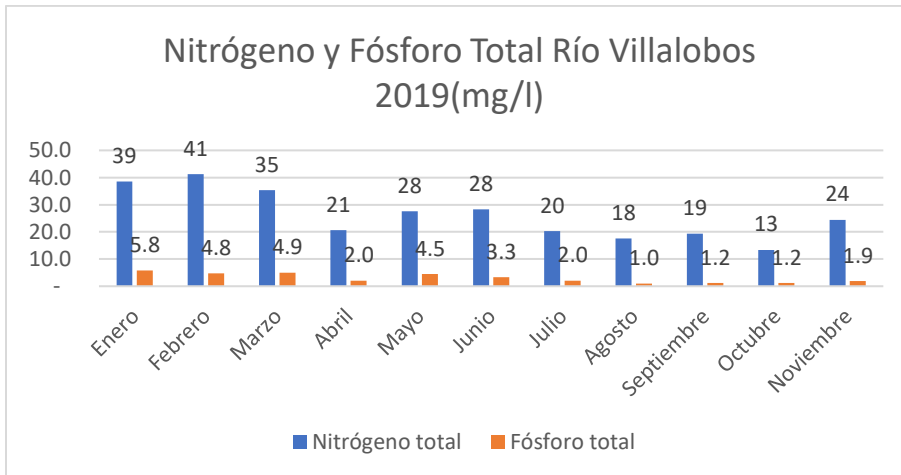
La DBO₅ promedio fue de 85.5 mg/l y la DQO de 181,6 mg/l y una relación DQO/DBO de 2.12. La concentración de estos parámetros es típica de aguas residuales crudas de consistencia baja⁴⁵. Las mayores concentraciones se producen entre los meses de noviembre a marzo coincidiendo con la época de estiaje y por el contrario las concentraciones menores se presentan entre los meses de abril a octubre coincidiendo con la época lluviosa. La explicación de las bajas concentraciones orgánicas comparado con los valores observados arriba, se debe al efecto de dilución producido por los innumerables quebradas y cauces, incluyendo los drenajes pluviales que ocurren en toda la cuenca en la época lluviosa.

Ilustración 59 Concentraciones mensuales de DBO y DQO río Villalobos período enero-noviembre 2019



Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total promedios fueron de 26.07 y 2.98 mg/l respectivamente, típico de aguas de consistencia débil. Al igual que para DBO y DQO, se observa el mismo patrón de los niveles de las concentraciones en las épocas secas y lluviosas.

Ilustración 60 Concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo totales río Villalobos enero-noviembre 2019



El conteo de coliformes fecales varió entre 1.6E+06 y 6.6E+07 NMP/100 ml. Estos valores representan un riesgo para la salud humana y son un índice inequívoco de contaminación fecal.

⁴⁵ Ibid

Respecto a los metales pesados, la mayoría estuvieron bajo los límites de detección, a excepción de arsénico y zinc. La concentración de hierro es relativamente alta (8.27 mg/l) al igual que en todos los ríos observados.

Tabla 23 Concentración promedio de metales pesados río Villalobos

Parámetro	Concentración (mg/l)
Arsénico	0.061
Cadmio	ND
Cromo Total	Cerca de límite ND
Plomo	ND
Mercurio	ND
Cobre	Cerca de límite ND
Níquel	ND
Zinc	0.077
Hierro	8.27

El índice ICA de clasificación de aguas residuales varió entre 10 y 16, lo que clasifica al río como de calidad pésima.

8.1.1.7 Resumen de la Cuenca del Río Villalobos

En la siguiente figura se presenta un resumen de los caudales de las principales subcuencas del río Villalobos.

Ilustración 61 Caudales promedios, máximos y Mínimos Cuenca Río Villalobos

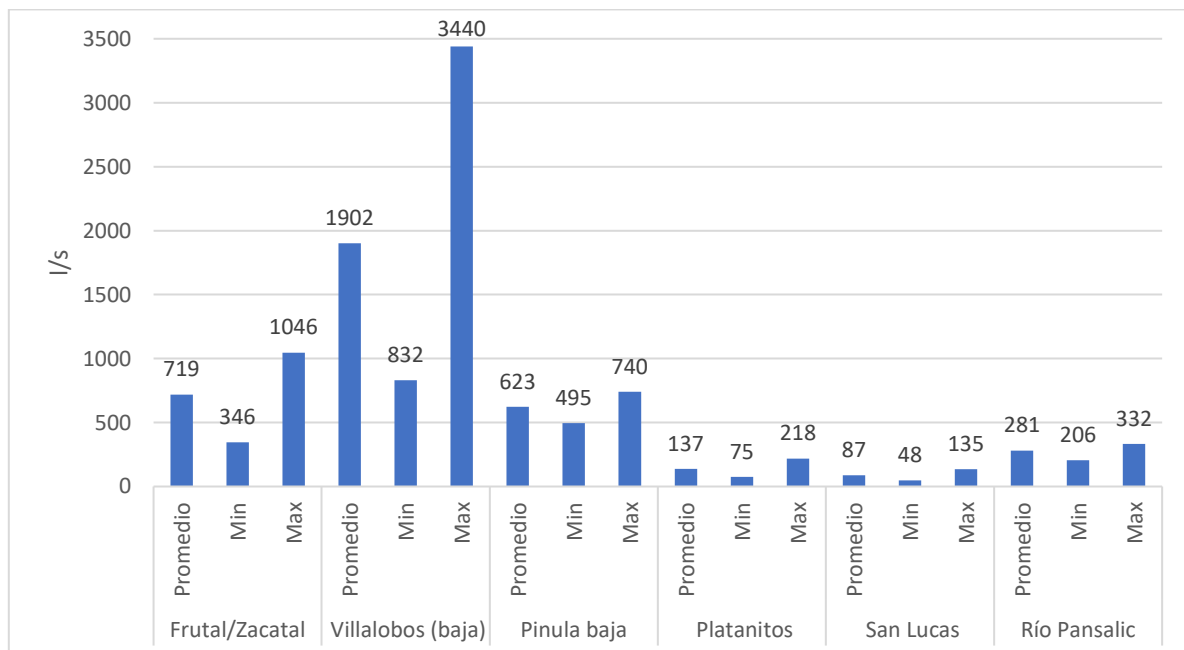


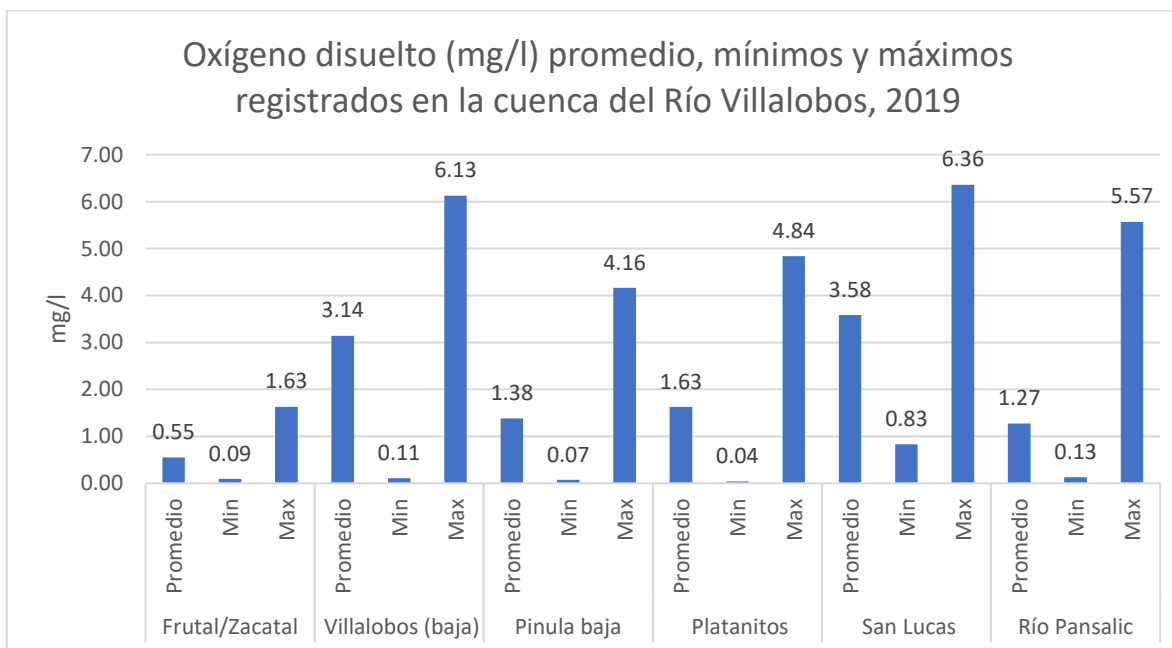
Tabla 24 Resumen de caudales medios aportantes al río Villalobos

Tributario/Río	Caudal medio	% el caudal
Frutal	719.04	37.81
Pinula	622.61	32.74
San Lucas	86.99	4.57
Pansalic	281.27	14.79
Platanitos	136.53	7.18
Otros	55.07	2.90
Total Villalobos	1,901.51	100%

Se observa que los tres tributarios con mayor aporte son el río Frutal, el Río Pinula y el río Pansalic, los cuales aportan un total del 85% del caudal total.

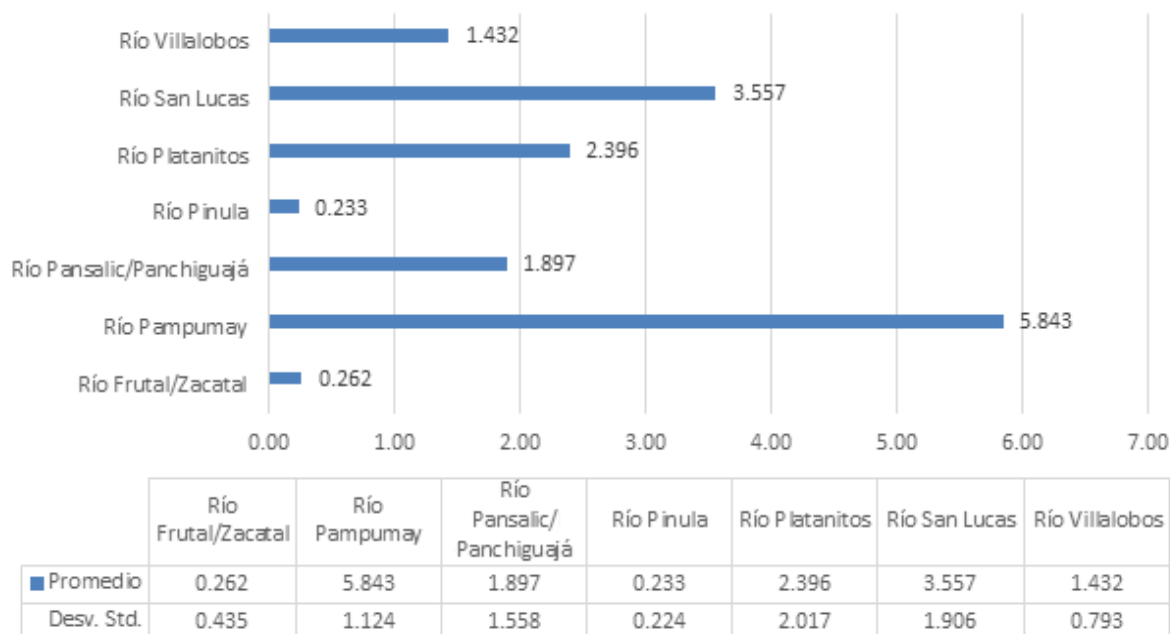
La concentración de oxígeno disuelto promedio para el año 2019 osciló entre 0.55 y 3.58 mg/l. y para todos los ríos los valores mínimos fueron menores a 0.9 mg/l; es decir que la condición de los ríos es anaerobia durante parte del año. El caso extremo del río El Frutal, que durante todo el año presentó una concentración de oxígeno disuelto menor a 2 mg/l. La condición anterior es completamente deplorable e impacta en la flora y fauna fluvial de los ríos de la cuenca.

Ilustración 62 Resumen de las concentraciones de oxígeno disuelto de ríos de la cuenca del lago Amatitlán, 2019



Los registros promedios de oxígeno disuelto para el año 2018, realizados por AMSA, confirma que la calidad de los ríos no ha variado. Solo el río san Lucas de la cuenca del Villalobos presento una concentración de saturación cercana al 50%; el resto de los ríos tributarios presentaron un promedio de 1.2 mg/l para un porcentaje de saturación de aproximadamente 17%.

Ilustración 63 Resumen de las concentraciones de oxígeno disuelto promedios de ríos de la cuenca del lago Amatitlán, 2018



Fuente: División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos, AMSA, 2018

Las siguiente dos tablas presentan las concentraciones de los parámetros trascendentales en cuanto a contaminación. Es de notar que todos los ríos presentan características típicas de aguas residuales crudas, es decir las concentraciones son equivalentes a aguas residuales sin tratamiento. De especial interés son las excesivas concentraciones de materia orgánica y de nutrientes del río Pansalic lo que solo puede ocurrir con descargas del tipo industrial o de agricultura intensiva sin control. Sin embargo, debido al recorrido de los ríos y al poco porcentaje de suelos agrícolas, los niveles elevados de contaminación se deben a descargas industriales

Tabla 25 Resumen de las concentraciones de DBO y DQO de ríos de la cuenca del lago Amatitlán

Tributario/Río	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO
Frutal/Zacatal	153	306	2.00
Pinula baja	230	445	1.93
Platanitos	209	366	1.75
San Lucas	94	179	1.91
Río Pansalic	416	1696	4.08
Villalobos	86	182	2.12

Los resultados del monitoreo del año 2018 realizados por AMSA, mostrados en la siguiente figura, muestran un patrón similar al 2019, con concentraciones excesivas tanto de DBO como de DQO del río Pansalic y una tasa DQO/DBO de 4.57.

Ilustración 64 Concentraciones de DBO y DQO en ríos tributarios del Villalobos, 2018

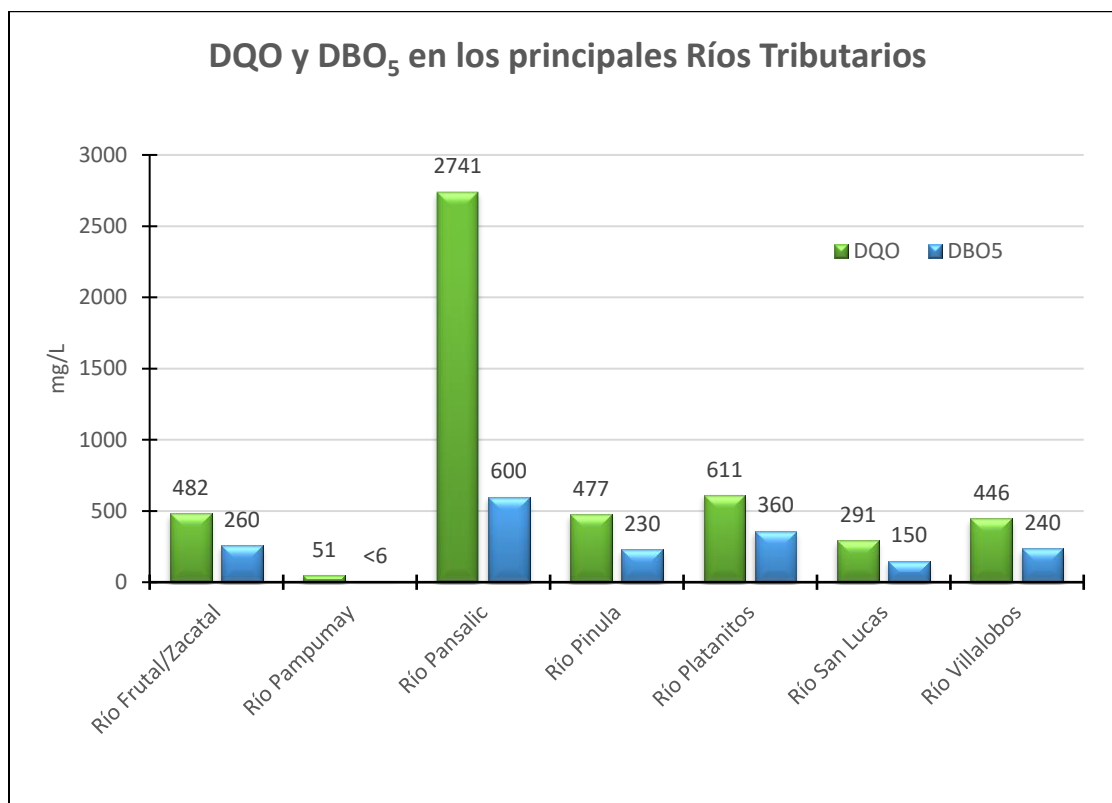


Tabla 26 Resumen de las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo de ríos de la cuenca del lago Amatlán

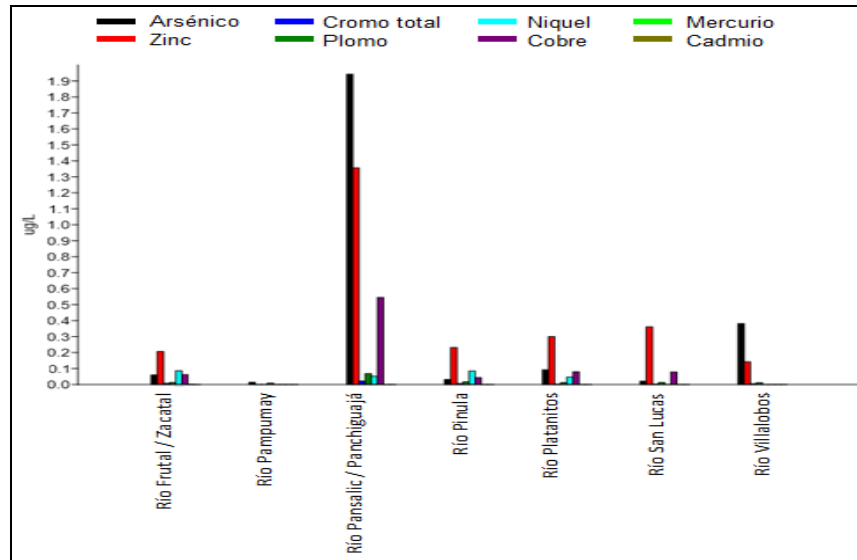
Tributario/Río	Nitrógeno total (mg/l)	Fósforo total (mg/l)	N/P
Frutal/Zacatal	34.28	4.06	8.45
Pinula baja	38.38	4.85	7.92
Platanitos	37.39	5.02	7.45
San Lucas	26.05	3.26	7.99
Río Pansalic	92.26	23.44	3.94
Villalobos (baja)	26.07	2.98	8.76

La siguiente ilustración resume los valores promedios de los metales pesados registrados por AMSA en el año 2018⁴⁶, el informe concluye lo siguiente:

⁴⁶ Diagnóstico de los Cuerpos de Agua de la Cuenca Del Lago De Amatlán, AMSA, 2018

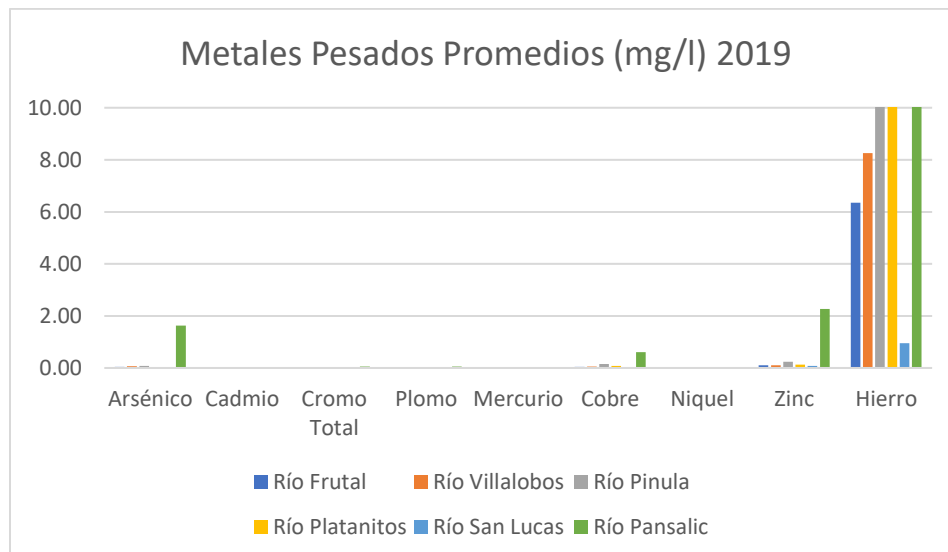
“se puede establecer que los metales pesados en los ríos analizados, presentan concentraciones bajas a lo largo del año con incrementos en su concentración para algunos ríos en la temporada lluviosa y posiblemente relacionados con descargas residuales industriales. Sin embargo, se realizó el análisis de valores máximos para los principales ríos monitoreados, identificando que el río Pansalic/ Panchiguajá presenta los valores máximos de metales reportados de enero a agosto 2018, sobresaliendo la presencia de arsénico, zinc y cobre. La presencia de níquel, hierro, cadmio, cromo y plomo, presentaron concentraciones de metales pesados por debajo del límite de detección”.

Ilustración 65 Metales Pesados ríos cuenca del Lago Amatitlán, 2018



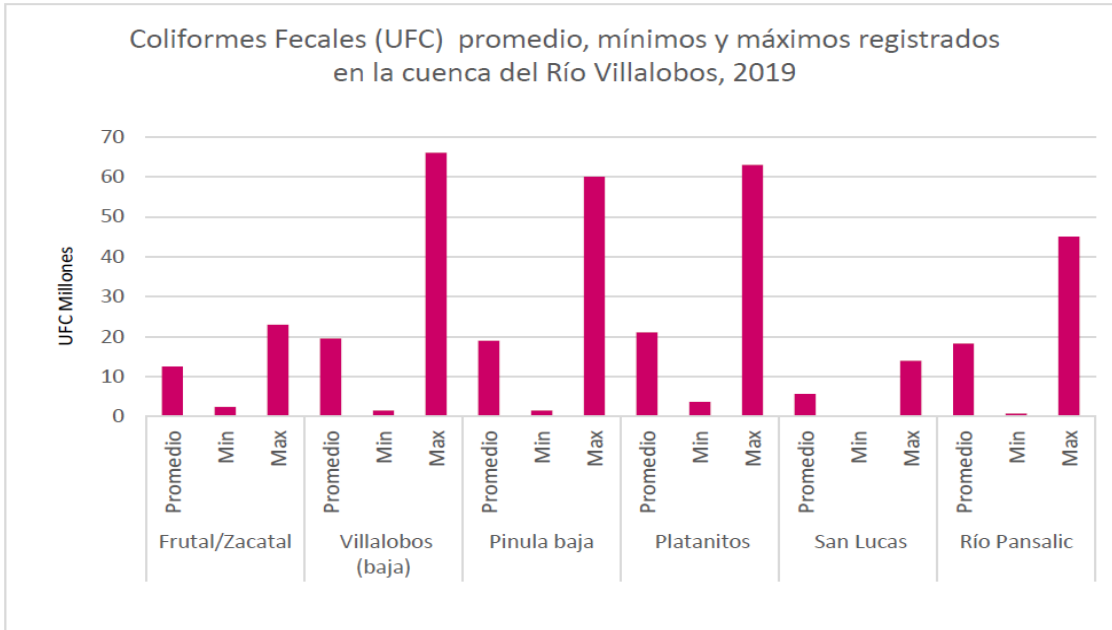
Las mediciones realizadas por AMSA en el año 2019, corroboraron lo encontrado en el año 2018. La mayoría de las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección a excepción del hierro y el Zinc. También se confirmó que el río Pinula es el que aportó mayor contaminación en arsénico, cobre, zinc y hierro.

Ilustración 66 Concentración promedio de metales pesados ríos Cuenca Villalobos, 2019



El resumen de Coliformes Fecales para todos los ríos, se muestra en la siguiente figura. Exceptuando el río San Lucas con una concentración promedio de 1.4×10^5 UFC/100 ml, el promedio de coliformes fecales para el resto de los ríos fue mayor a 1×10^7 UFC/100 ml.

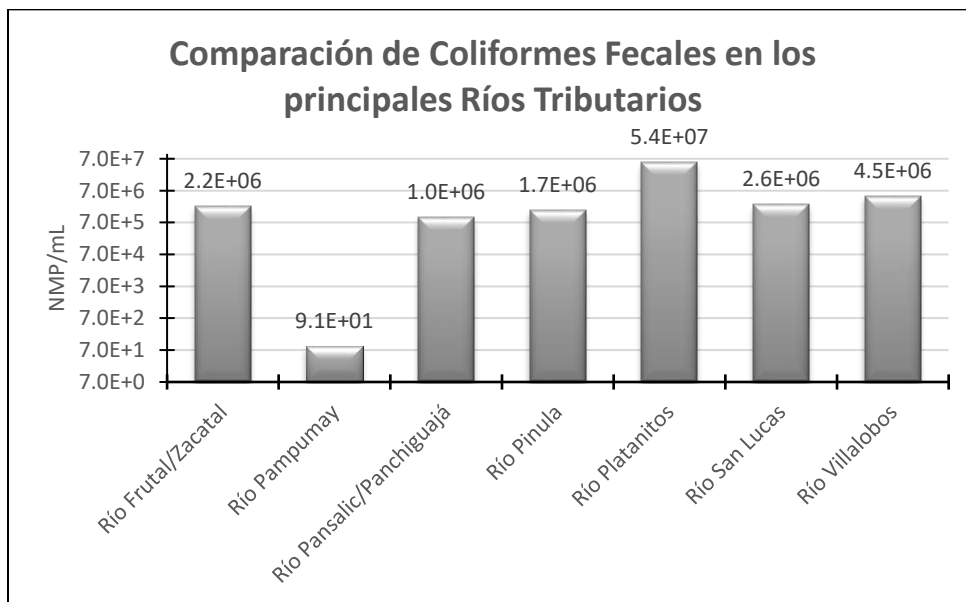
Ilustración 67 Concentraciones de Coliformes Fecales en Millones de UFC/100ml



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2019

Las mediciones el año 2018 son semejantes a los del año 2019, comprobando que la calidad de los ríos respecto a coliformes fecales no ha variado.

Ilustración 68 Concentraciones de Coliformes Fecales NMP/100 ml, 2018



Cargas Contaminantes del Río Villalobos al Lago Amatitlán

La siguiente tabla resume las cargas orgánicas y de nutrientes del río Villalobos antes de la desembocadura en el lago Amatitlán. La carga de DBO es de 13,053 Kg/d; basado en un aporte per cápita entre 45 a 50 g/hab/d, esto equivale a una población equivalente de aproximadamente 300,000 habitantes de descarga de aguas crudas.

Tabla 27 Resumen de cargas orgánicas y de nutrientes río Villalobos

Mes	DBO ₅ (Kg/d)	DQO (Kg/d)	N total (Kg/d)	Ptotal (Kg/d)
Enero	15772	43847	4052	614
Febrero	14745	28858	4346	505
Marzo	9700	17675	2540	354
Abril	6775	18762	2684	264
Mayo	18062	35953	4746	776
Junio	25102	39446	6774	787
Julio	20805	43394	6038	591
Agosto	5026	11531	2606	149
Septiembre	3203	7436	2210	139
Octubre	10563	19869	3367	305
Noviembre	13803	30195	4220	330
Diciembre	13075	26013	3975	558
Promedio	13053	26915	3963	448
Carga anual (ton/año)	4764	9824	1447	163

La carga orgánica de DBO y DQO es aportada principalmente por los ríos Pinula, Frutal y Pansalic que coincide con los ríos de mayor caudal. Sin embargo, la carga de nutrientes es bastante distribuida en toda la cuenca.

Tabla 28 Porcentaje aportante de cargas orgánicas y de nutrientes ríos tributarios

Tributario/Río	% carga DBO	% carga DBO	% carga Nt	% carga Pt
Frutal/Zacatal	28.27	21.32	10.10	8.43
Pinula baja	35.14	26.45	29.81	26.61
Platanitos	6.99	4.78	29.04	27.56
San Lucas	1.99	1.49	20.23	17.91
Río Pansalic	27.60	45.96	10.81	19.50

8.1.2 Cuenca Norte

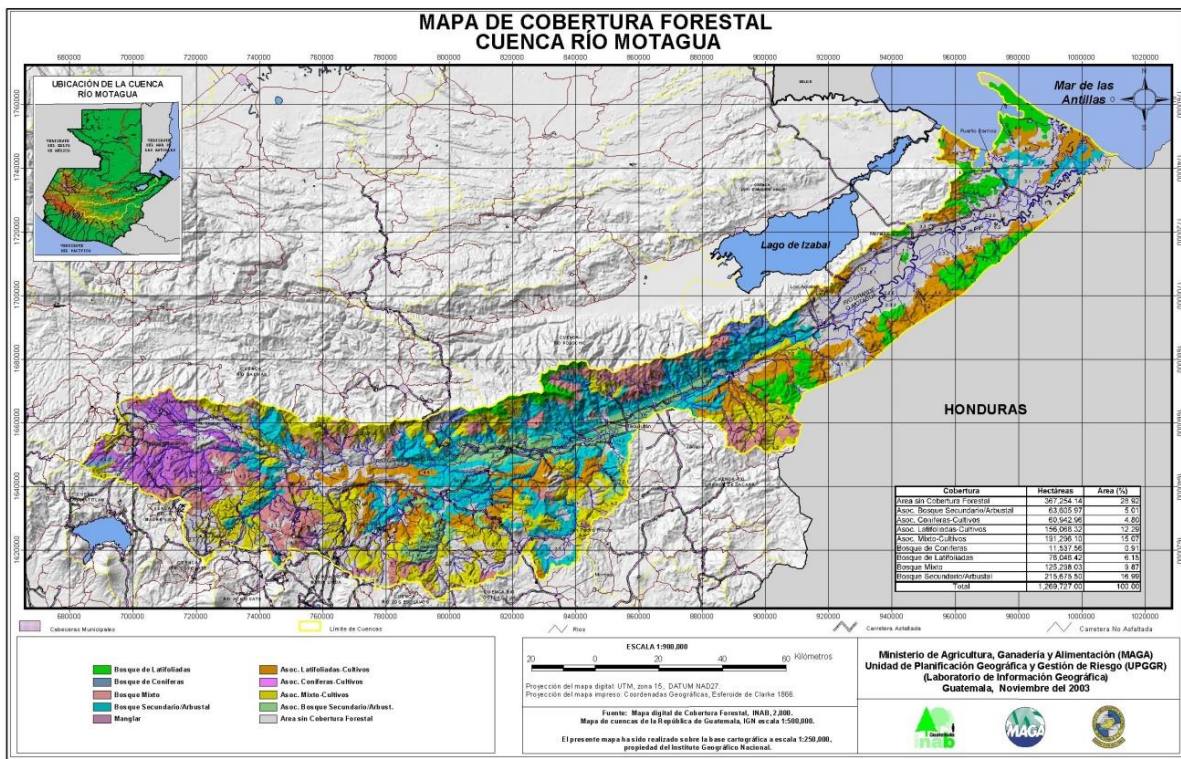
La Ciudad de Guatemala descarga las aguas residuales en dos cuencas siguiendo la Gran División de hidrográfica del país. La cuenca norte es la que recibe la mayor parte de las aguas residuales de la ciudad con un estimado del 67% de la generación de aguas residuales.

El Río Las Vacas, que inicia su recorrido a inmediaciones de la zona 15, cercano al Campo Marte circula de sur a norte y enfila hacia las poblaciones de Chinautla y Chuarrancho hasta la confluencia con el Río Motagua.

La cuenca del Río Motagua se inicia en las montañas del altiplano occidental de Guatemala, su área abarca 12, 697 km², forma parte de la cuenca del Mar de las Antillas o del Atlántico, ocupando un área que se extiende desde el nivel del mar hasta una altura de 3.315 metros en la parte más alta. Se estima que a lo largo de su trayectoria, el caudal del Río Motagua supera los 6,5 millones de M³ por año. 76 municipios de los departamentos que incluye al municipio de Guatemala forman parte de esta cuenca.

Entre sus características hidrográficas, el Río Motagua tiene 486 kilómetros de longitud, y delimita 493 microcuencas. Tomando como referencia el mapa de cobertura forestal elaborado por MAGA, INAB e IGN en el año 2003, solo el 28% del área no tenía cobertura forestal ese año⁴⁷.

Ilustración 69 Cuenca del Río Motagua INAB, MAGA, IGN 2003



El Río Motagua, recibe las aguas negras de todas las poblaciones situadas en su recorrido, pero principalmente de la ciudad capital.

⁴⁷ CREW+ Project, Anexo R, National Package for Guatemala

La cuenca norte del área del proyecto, es formada por dos subcuencas tributarias del río Motagua que son: El río Las Vacas y el río Plátanos.

Para la realización de este diagnóstico no se contó con información actualizada por lo que se recurrió a estudios anteriores⁴⁸.

La siguiente Tabla muestra que la calidad del río las Vacas, según muestreo realizado en el año 2003, no difiere mucho de la calidad de las aguas de la cuenca Sur, con valores de DBO similares a aguas crudas de textura débil para las muestras realizadas antes del río Zapote. En todos los casos, los coliformes fecales fueron mayores a 1E+11 NMP/100 ml.





Tabla 29 Calidad Físico-Química del río Las Vacas

RIOS	pH	OD (mg/l)	Sólidos Tot. (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	Coli. Fecales NMP/100ml
Río Chinautla	7,9	7	470	11,88	8,75	90	50	1,60E+11
Río Las Vacas (antes del Río Zapote)	7,7	6,8	427	14,52	2,23	170	120	1,60E+11
Río Las Vacas (después del Río Zapote)	7,7	7,6	539	10,12	6	179	125	1,60E+11
Río Las Vacas (antes de Descarga) Colector)	7,5	2,2	360	9,24	6	30	16	1,60E+11
Río Las Vacas (después de Descarga Colector)	7,2	4,6	686	24,2	14	410	300	1,60E+11

El cuadro también muestra el impacto antes y después de una descarga del colector con un incremento de DBO5 de 16 a 300 mg/l.

La siguiente ilustración⁴⁹ muestra la clasificación de los tributarios y el río Motagua, utilizando el índice Simplificado de la Calidad de Agua (ISQA) basado en 5 parámetros físico químicos, en el que se observa que el segmento del río en que ocurren las descarga de la Ciudad de Guatemala, la calidad del agua es pésima y luego permanece con calidad regular en el resto del río del área estudiada. El mismo informe refiere que el 67% de las aguas residuales producidas en el municipio de Guatemala, descargan a la cuenca del río Motagua.

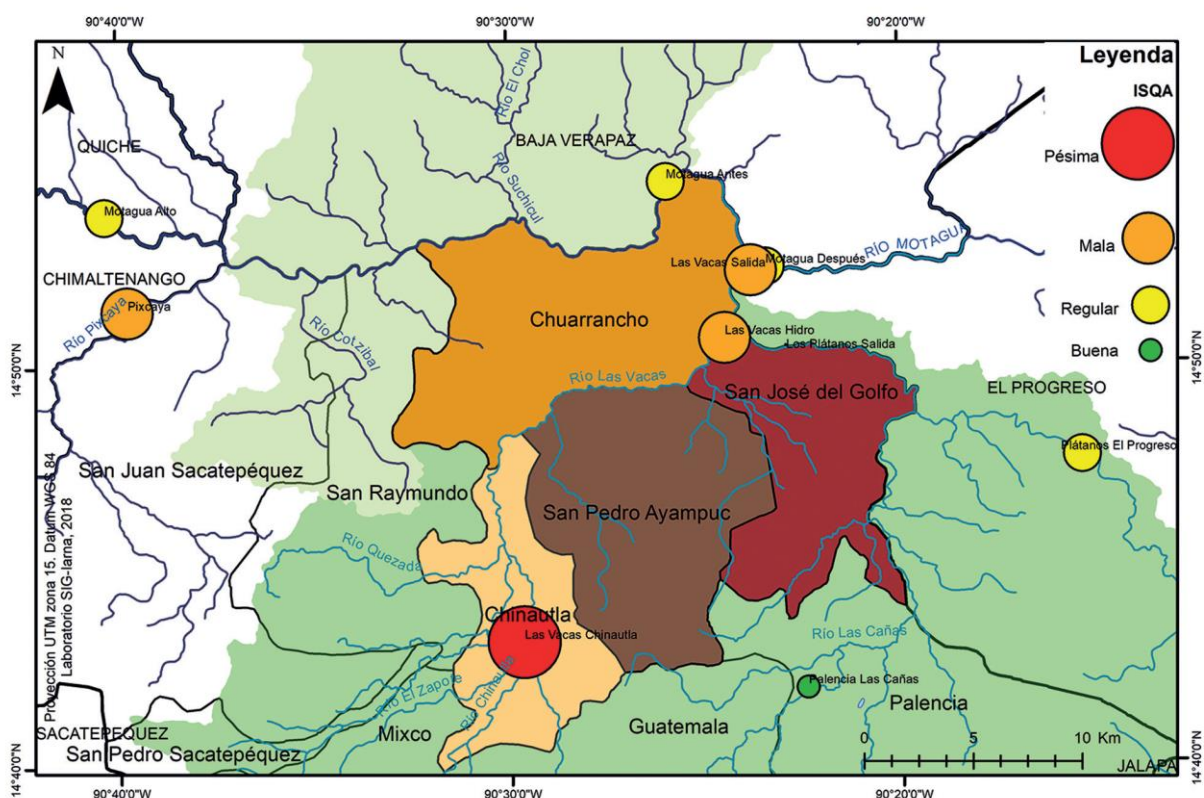
Tabla 30 Clasificación ISQA

Clasificación	Valor	Color
Pésima Aguas negras	0 - 25	
Mala Aguas contaminadas	26 - 50	
Agua Regular	51 - 75	
Agua Buena	76 - 100	

⁴⁸ Plan Marco de Manejo de Aguas Residuales 2003-2020, Empagua, 2003

⁴⁹ Evaluación ambiental estratégica (EAE) de las subcuencas Las Vacas y Beleyá-Plátanos-Motagua, IARNA, 2017

Ilustración 70 Estado de contaminación de ríos Cuenca Norte



8.1.3 Conclusiones

Los ríos de las cuencas del río Villalobos y del río Las Vacas se encuentran en alto grado de contaminación de manera que las concentraciones de contaminantes son similares a las concentraciones de las aguas crudas. El estado de los ríos es tal que se podría afirmar que los ríos en el área de estudio cumplen solamente la función de servir como canales abiertos de conducción de aguas residuales y de aguas pluviales.

Lo anterior trae consecuencias negativas no solamente para los cuerpos de agua en sí, y la flora y fauna asociada, sino también para la salud humana por las altas concentraciones de coliformes fecales.

En el caso de la Cuenca Norte, el río Vacas y Plátanos, con la recepción del 67% de las aguas residuales de la Ciudad de Guatemala son los principales contribuyentes en la degradación de la calidad del río Motagua, el cual se ve afectado en toda su longitud hasta su descarga en el Golfo de Honduras.

En el caso de la Cuenca Sur, los ríos son una de las principales fuentes de contaminación por el aporte de nutrientes y de cargas orgánicas que afecta los usos benéficos del cuerpo de agua.

Es de especial interés, que los resultados de metales pesados de los últimos años, muestran que las cargas aportantes al Lago Amatitlán no son tan altas como se esperaba de una zona altamente industrializada, esto no solamente sucede con la descarga del río Villalobos hacia el Lago Amatitlán, sino también con los ríos tributarios a excepción del río Pansalic.

Este fenómeno de disminución de las cargas de metales pesados industriales se ha observado en otras ciudades como Santo Domingo, Guayaquil, Quito y Managua entre otros, que hace un par de décadas mostraban altos niveles de contaminación tanto de metales pesados como de cargas orgánicas, pero que en la actualidad esta se ha reducido a niveles aceptables. Los datos muestran que posiblemente la descarga de concentraciones de metales pesados en la MGCS ha disminuido por las buenas prácticas que las industrias han implementado; principalmente considerando, que la tecnología ha avanzado en la sustitución de elementos químicos y en la recuperación de metales pesados, los cuales tienen un valor comercial alto.

Respecto a los contaminantes industriales del tipo orgánico, se nota una marcada diferencia entre las diferentes subcuencas hidrográficas. A pesar que todas presentan altos niveles de contaminación orgánica, la subcuenca del río Pansalic presentó niveles de DBO y DQO casi el doble del resto de subcuencas y mayores a las concentraciones típicas de aguas residuales crudas, lo que implica que esta subcuenca es altamente impactada por descargas industriales del tipo alimenticio o agroindustrial.

8.2 Retos

La situación de los ríos es tan degradante que el reto principal es la reducción drástica de las descargas contaminantes principalmente de aguas residuales doméstica e industriales.

Los retos identificados son los siguientes:

- Definición, como política sanitaria, de los niveles de calidad aceptables en los ríos basado en programas graduales de descontaminación
- Reducir los niveles de contaminación de los ríos en cuanto a cargas orgánicas, nutrientes, y carga bacteriana.
- Adicionalmente, el control de los desechos sólidos y de los contaminantes agroquímicos que descargan a los cuerpos de agua

9 Diagnóstico del Lago Amatitlán.

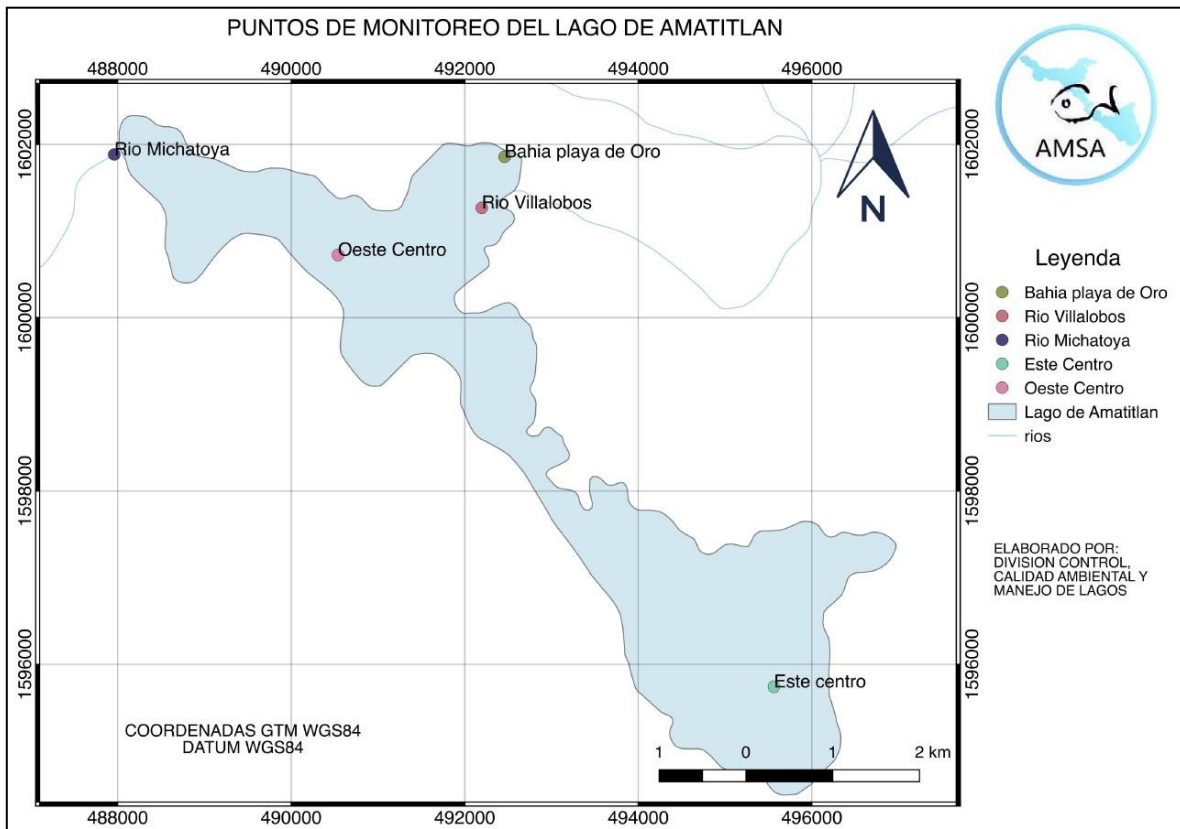
Uno de los objetivos primordiales del saneamiento de la región de la MGCS es la recuperación del Lago Amatitlán.

El lago de Amatitlán tiene un área superficial de 15 Km² y una profundidad media de 18 m. Su principal afluente natural y fuente de contaminación es el Río Villalobos al cual confluyen los ríos tributarios que se distribuyen por 14 municipios que conforman la Cuenca del Lago de Amatitlán arrastrando no solo sedimentos, basuras, y desechos sólidos sino principalmente las aguas residuales domésticas e industriales descargadas en los ríos y quebradas tributarias del río Villalobos convirtiendo a este río en un afluente de aguas negras cargado de contaminantes químicos y biológicos. El Lago de Amatitlán se localiza en el municipio de Guatemala con el mismo nombre (Latitud Norte 14°23'25" y Longitud Oeste 90°41'25"). La cuenca con una extensión de 381 km², abarca 14 municipios del área metropolitana extendiéndose dentro de las coordenadas 14°42 a 14°22 75 latitudes norte y 90°42 a 90°16 86 longitud oeste (AMSA, 2009).

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA), a través de la división de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos realiza el monitoreo constante de las características fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del agua no solo del Lago de Amatitlán sino también de sus afluentes, para establecer el estado en que se encuentra el Lago y los Ríos. AMSA realiza el monitoreo en 5 diferentes puntos los cuales se muestra su localización en la

siguiente Ilustración. El monitoreo se realiza una vez al mes, tomando parámetros de calidad a nivel superficial –epilimnio-, a nivel medio –metalimnio- y en la profundidad –hipolimni

Ilustración 71 Puntos de muestreo del monitoreo de calidad del agua del lago de Amatitlán.



Fuente: Estado de los Cuerpo de Agua de la Cuenca del lago Amatitlán, 2019.

El Lago de Amatitlán tiene dos afluentes superficiales, el Río Villalobos que descarga en la zona noreste y el río Pampumay que descarga en la zona sur y tiene únicamente un efluente superficial, el Río Michatoya en la zona norte, río que a vez descarga al río María Linda. El Lago de Amatitlán tiene una forma de 8, el cual es dividido por una construcción llamada "El Relleno", realizado para construir una vía ferroviaria.

9.1 Calidad de Agua en el Período 2008-2014

AMSA cuenta con una base de datos desde el 2004 hasta la fecha, tomando datos una vez al mes en los 5 puntos de monitoreo a nivel superficial, medio y a profundidad.

Las siguientes tablas muestran los promedios anuales registrados entre los años 2008 al 2014⁵⁰, para las muestras superficiales de las estaciones Este Centro y Oeste Centro del Lago Amatitlán.

Se observa lo siguiente para las estaciones ubicado en los lagos:

- Los niveles de pH son del tipo alcalino, típico de lagos de alta productividad.
- En ambas estaciones el nivel de oxígeno es mayor al nivel de saturación, lo que denota,

⁵⁰ Análisis de la Calidad de Agua 2008-2013 Lago de Amatitlán, Mosquera Virginia, Sep. 2014

- alta producción de oxígeno por presencia de algas y/o vientos fuertes.
- La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) es mayor a 15 mg/l, a pesar del alto nivel de oxigenación. Esto se debe a la carga orgánica significativa proveniente del río Villalobos
- Los niveles tanto de fósforo como de nitrógeno son excesivos, muchos mayores de los niveles mínimos para inducir eutrofización. (0.025 mg/l para fósforo)

Tabla 31 Datos Físico-químicos Estación **Punto Este** Lago Amatitlán (2008-2014)

Año	pH	Cambio en temp (°C)	OD (% saturac)	DBO (mg/l)	Turbidez (NTU)	Ptotal (mg/l)	Nt (mg/l)	TDS (mg/l)
2008	9.18	7.3	133	15.35	17.6	0.08	3	576
2009	8.82	7.00	134	23.67	60.5	0.07	2.1	315
2010	9.01	6.10	124	17.30	23.3	0.14	2.31	330
2011	9.34	4.30	132	24.67	12.6	0.19	3.44	312
2012	9.14	5.20	124		7.1	0.18	2.3	302
2013	9.06	4.30	117	12.25	20.0	0.08	2.7	293
2014	8.39	4.13	44	9.42	12.4	0.30	1.21	302
promedio	8.99	5.48	115	17.11	21.9	0.15	2.44	347
Máximo	9.34	7.30	133.63	24.67	60.50	0.30	3.44	576.34
Mínimo	8.39	4.13	44.30	9.42	7.10	0.07	1.21	292.82

Fuente: Análisis de la Calidad de Agua 2008-2013 Lago de Amatitlán, Mosquera, Virginia, 2014

Tabla 32 Datos Físico-químicos Estación **Punto Oeste** Lago Amatitlán (2008-2014)

Año	pH	Cambio en temp (°C)	OD (% saturac)	DBO (mg/l)	Turbidez (NTU)	Ptotal (mg/l)	Nt (mg/l)	TDS (mg/l)
2008	8.76	6.30	132	17.21	20.9	0.34	2.93	669
2009	8.59	8.10	112	13.60	10.7	0.41	2.74	391
2010	8.61	5.60	113	22.00	22.3	0.43	2.36	379
2011	8.76	4.50	131	28.00	28.3	0.30	1.62	350
2012	8.68	5.30	116	34.00	16.3	0.19	1.1	350
2013	8.61	3.50	127	2.00	9.6	0.30	2.08	357
2014	8.14	3.47	41	7.00	17.8	0.55	1.31	344
promedio	8.59	5.25	110	17.69	18.0	0.36	2.02	406
Máximo	8.76	8.10	131.64	34.00	28.31	0.55	2.93	669.18
Mínimo	8.14	3.47	40.71	2.00	9.64	0.19	1.10	344.45

Fuente: Análisis de la Calidad de Agua 2008-2013 Lago de Amatitlán, Mosquera, Virginia, 2014

El mismo estudio referenciado, presenta los resultados de la descarga del río Villalobos, tomados en el mismo período de la toma de muestras en el lago Amatitlán. La siguiente tabla y figuras muestran el impacto de las concentraciones de contaminantes al lago.

Tabla 33 Datos Físico-químicos Estación Descarga Río Villalobos (2008-2014)

Año	pH	Cambio en temp (°C)	OD (% saturac)	DBO (mg/l)	Turbidez (NTU)	Ptotal (mg/l)	Nt (mg/l)	TDS (mg/l)	Coliformes Fecales (CFU/100 ml)
2008	8.48	7.10	68.4	37.30	59.5	0.49	7.04	677	6.78E+07
2009	7.66	6.30	17.6	99.58	190.8	2.43	15.05	403	2.40E+11
2010	7.68	12.80	23.4	134.45	180.8	1.62	12.5	356	1.21E+12
2011	7.96	8.30	32.6	44.91	127.3	1.17	5.61	306	1.21E+12
2012	7.88	8.10	22.4	43.67	60.3	1.94	9.96	346	2.40E+12
2013	7.79	7.20	20.4	52.27	65.3	1.55	12.4	348	5.50E+10
2014	7.96	6.30	27.8	60.25	68.2	5.00	1.28	361	
promedio	7.92	8.01	30.4	67.49	107.4	2.03	9.12	400	1.21E+11
Máximo	8.48	12.80	68.44	134.45	190.75	5.00	15.05	676.78	2.40E+12
Mínimo	7.66	6.30	17.59	37.30	59.46	0.49	1.28	305.92	6.78E+07

Fuente: Análisis de la Calidad de Agua 2008-2013 Lago de Amatitlán, Mosquera, Virginia, 2014

La Tabla anterior muestra valores de DBO₅ en el rango de 38 a 135 mg/l, con un promedio de 67.5 mg/l, cargas de fósforo y nitrógeno total promedios de 2.03 y 9.12 mg/l respectivamente. Valores excesivos causantes de la alta productividad del Lago. Finalmente se observa que la concentración de coliformes fecales es del orden de 1E+11 CFU/100 ml.

Las siguientes figuras, contrario a lo esperado, exhiben que las concentraciones de DBO₅, Ptotal y Ntotal son similares en las estaciones Este y Centro del Lago. Las figuras también muestran la dilución y degradación de dichos contaminantes en el cuerpo del agua.

Ilustración 72 Registro de la concentración de DBO₅ Período 2008-2014

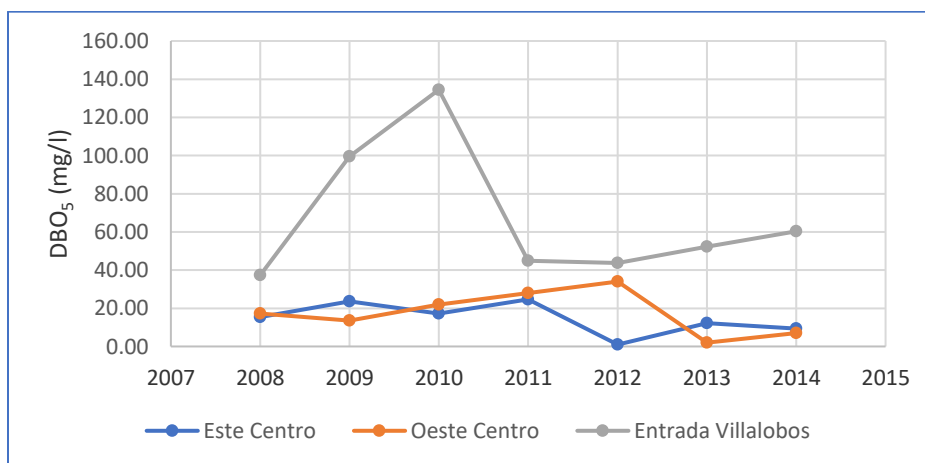


Ilustración 73 Registro de la concentración de Fósforo Total Período 2008-2014

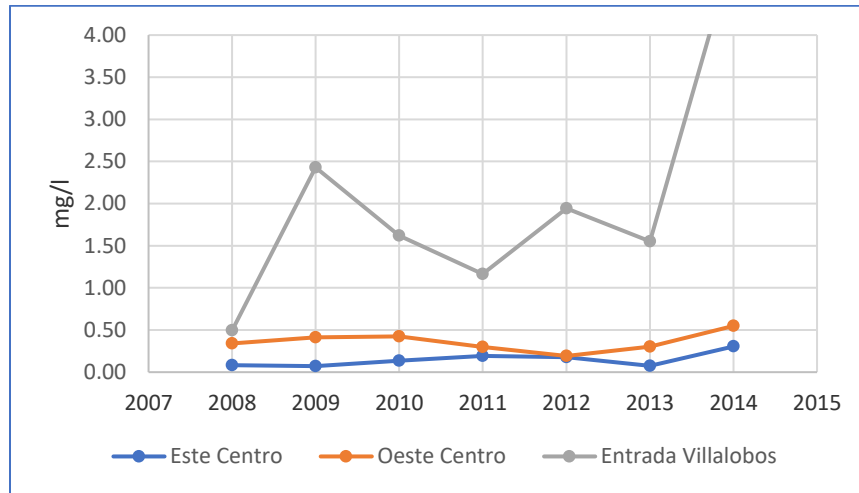
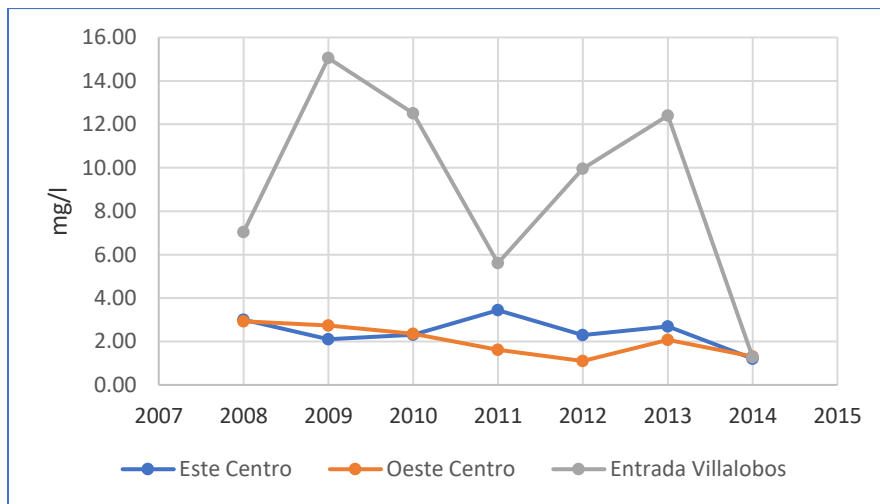


Ilustración 74 Registro de la concentración de Nitrógeno total Período 2008-2014



9.2 Clasificación de Calidad del lago

Varios métodos se han desarrollado para determinar la calidad de un lago, los estudios que se han realizado para el lago Amatitlán han usado dos métodos: estado trófico y el Índice de calidad de agua ICA o WQI por sus siglas en inglés.

9.2.1 Clasificación basada en el Índice de Eutrofización

Para la clasificación del estado trófico de los puntos muestreados se utilizó el Índice de Carlson Modificado por Aizaki, 1981 que calcula el índice en base a la clorofila alpha, el fósforo total y el nivel de transparencia o disco secchi. La clasificación se establece con los siguientes valores

Tabla 34 Valores de Clasificación de índice de Carlson

Clasificación		Rango de Índice
Ultra oligotrófico	Baja producción primaria, baja concentración de nutrientes, aguas claras, poco sedimento y crecimiento de micrófitos.	< 20
Oligotrófico		20 - 40
Mesotrófico	Baja producción primaria, baja concentración de nutrientes, aguas claras, poco sedimento y crecimiento de micrófitos.	40 - 60
Eutrófico	Alta producción primaria y concentración de nutrientes, altas densidades de algas, baja transparencia, y situaciones severas de falta de oxígeno	60 - 80
Hipertrófico	Florecimientos de algas, falta de oxígeno permanente que involucran procesos anaeróbicos, baja diversidad de especies	> 80

La aplicación del índice de Carlson modificado a los puntos este y oeste del Lago Amatitlán, exhibe que en los 6 años monitoreados el lago se clasifica como eutrófico o de alta productividad, notándose una leve mejoría en el lado este.

Tabla 35 Estado de Eutrofización Estación Oeste Centro Período 2008-2013

Parámetro	Unidad	Año					
		2008	2009	2010	2011	2012	2013
Fosforo Total	(mg/l)	0.3	0.41	0.43	0.3	0.19	0.3
Nitrógeno Total	(mg/l)	3	2.1	2.31	3.44	2.3	2.7
Clorofila a	(mg/m ³)		21.4	30.75	33.42	31.56	62.8
Clorofila a Pico-	(mg/m ³)		69.4	61.95	120	144.69	170.9
Transparencia Secchi	(m)	0.5	1.02	0.74	0.78	1.13	1.5
Índice de Carlson modificado Aizaki 1981			70	73	72	68	71
Nivel trófico			Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico

Tabla 36 Estado de Eutrofización Estación Este Centro Período 2008-2013

Parámetro	Unidad	Año					
		2008	2009	2010	2011	2012	2013
Fosforo Total	(mg/l)	0.08	0.07	0.13	0.19	0.17	0.076
Nitrógeno Total	(mg/l)	2.93	2.74	2.36	1.62	1.1	2.08
Clorofila a	(mg/m ³)	...	24.5	44.84	93.79	26.6	53.96
Clorofila a -Pico-	(mg/m ³)	...	85.38	127.8	380	128.89	86.37
Transparencia Secchi	(m)	0.67	1.12	0.69	1.15	0.96	0.6
Índice de Carlson mod. Aizaki 1981			62	69	71	67	68
Nivel trófico			Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico

9.2.2 Clasificación basada en el índice ICA

Este método consiste en la simplificación de varios parámetros de calidad en una sola expresión numérica que logra describir las características positivas o negativas de diferentes fuentes de agua. El ICA fue desarrollado en 1970 en los Estados Unidos por la National Science Foundation (NSF) y luego ha sido modificado tal como se aplicó para la clasificación del Lago Amatitlán para el período 2008 a 2014.

Para calcular el ICA para el Lago de Amatitlán se utilizó el método geométrico con 9 parámetros⁵¹.

Tabla 37 Clasificación calidad del agua Método ICA

Calidad de Agua	Valor
Excelente	91-100
Buena	71-90
Regular	51-70
Mala	26-50
Pésima	0-25

⁵¹ Ibid

Tabla 38 Clasificación Calidad de Agua Índice ICA Lago Amatitlán (2008-2014)

Año	Estación Este Centro		Estación Oeste Centro		Estación Descarga Villalobos	
	Índice de Calidad	Clasificación	Índice de Calidad	Clasificación	Índice de Calidad	Clasificación
2008	44.32	Mala	38.19	Mala	42.79	Mala
2009	38.61	Mala	39.39	Mala	24.40	Pésima
2010	38.53	Mala	38.08	Mala	21.99	Pésima
2011	44.41	Mala	44.73	Mala	25.25	Mala
2012	42.66	Mala	39.35	Mala	25.99	Mala
2013	42.97	Mala	49.27	Mala	26.71	Mala
2014	51.47	Regular	51.00	Regular	35.97	Mala
Promedio	41.92	Mala	41.50	Mala	27.85	Mala

Resumen: Ambos métodos utilizados para clasificar la calidad del Lago Amatitlán en el período 2008 – 2014 concluyeron que el cuerpo de agua tiene una alta productividad o un estado eutrófico para todos los años considerados.

El índice de calidad de agua clasifica ICA realizado para el mismo período concluye que la calidad del agua tanto en la estación Este Centro como en la estación Oeste Centro es mala, aunque se observó una ligera mejoría para el año 2014. El índice para la descarga del río Villalobos arrojó una calidad de mala a pésima para todo el período.

9.3 Calidad de Agua en el Período 2017-2019

Durante el período 2017 al 2019, la clasificación de la calidad del agua se mantuvo similar a los años anteriores.

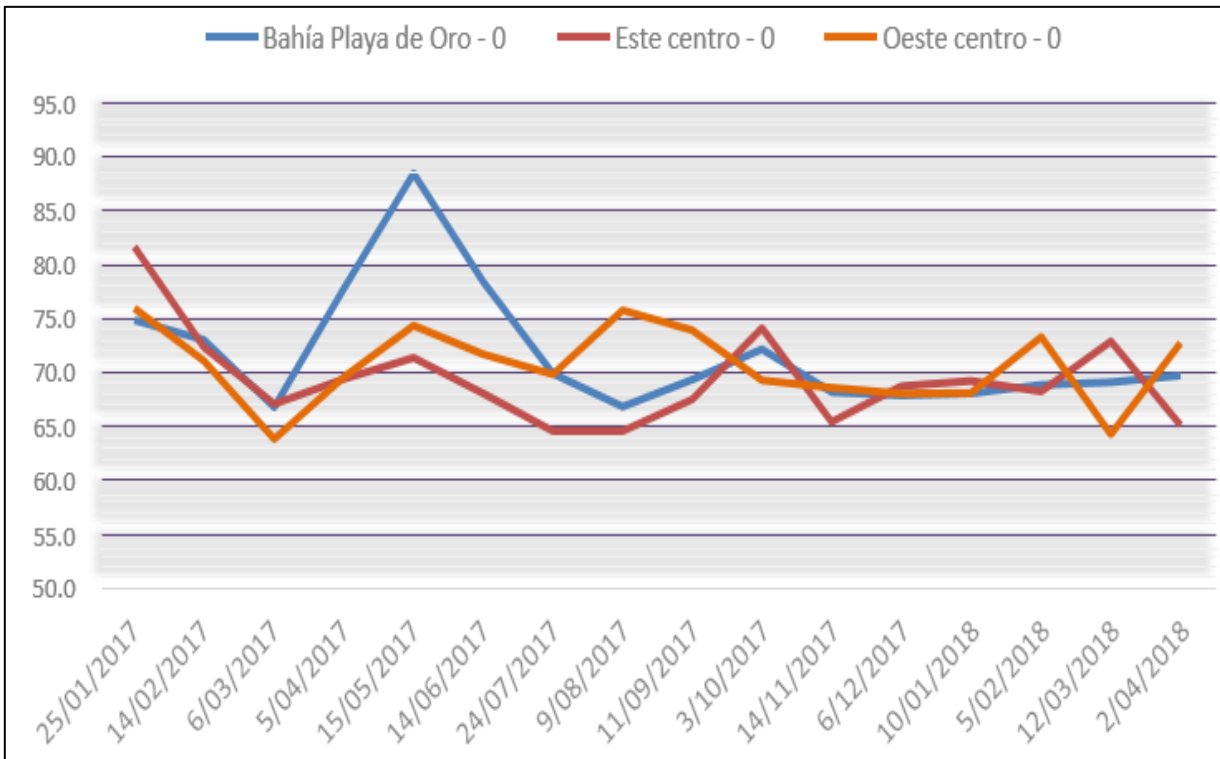
El método usado para calcular el estado trófico es Carlson Modificado por Lamparelli 1977 utilizando el contenido de fósforo total y la clorofila alpha.

Tabla 39 Valores de Clasificación de índice de Carlson Modificado Lamparelli, 1977

Clasificación	Rango de Índice
Ultra oligotrófico	< 47
Oligotrófico	47 - 52
Mesotrófico	52 -59
Eutrófico	59 - 63
Supereutrófico	63 - 67
Hipereutrófico	> 67

Los valores del Índice de Carlson, medidos en el período 2017 a abril del 2018⁵², variaron entre 64 y 82 para la Estación Este Centro, y entre 64 y 76 para la Estación Oeste Centro; lo que clasifica al Lago como Supereutrófico a Hipereutrófico.

Ilustración 75 Valores del Índice de Carlson 2017 – 2018 Lago Amatitlán

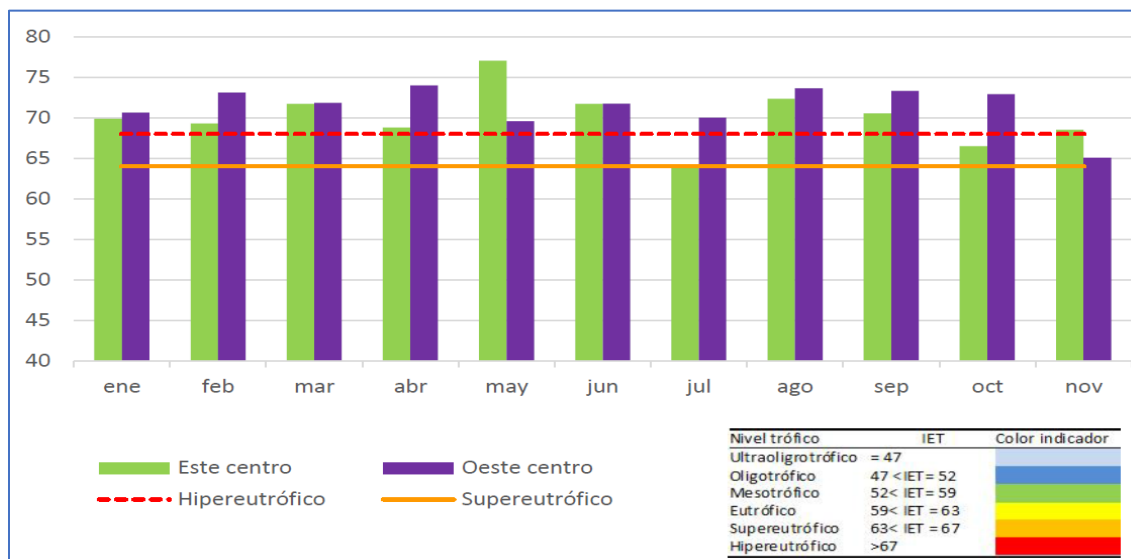


Para el período comprendido entre enero a noviembre del 2019⁵³, el índice de Carlson Modificado varió entre 63 y 77, muy similar a los dos años anteriores y el Lago se sigue clasificando como supereutrófico a hipereutrófico.

⁵² Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Lago Amatitlán, AMSA, 2018

⁵³ Estado de os Cuerpos de Agua de la Cuenca del Lago Amatitlán, AMSA, 2019

Ilustración 76 Estado trófico Estaciones Este y Oeste Centro Lago Amatitlán 2019



Metales Pesados

Las concentraciones de metales pesados en el cuerpo de agua para los componentes de cadmio, cobre, cromo total, níquel, mercurio, plomo y zinc se encontraron la mayor parte del tiempo por debajo o muy cercanos a los límites de detección. Solamente el arsénico se encontró a niveles del orden de 0.01 µg/l. por debajo de estándar de calidad de agua para consumo humano.

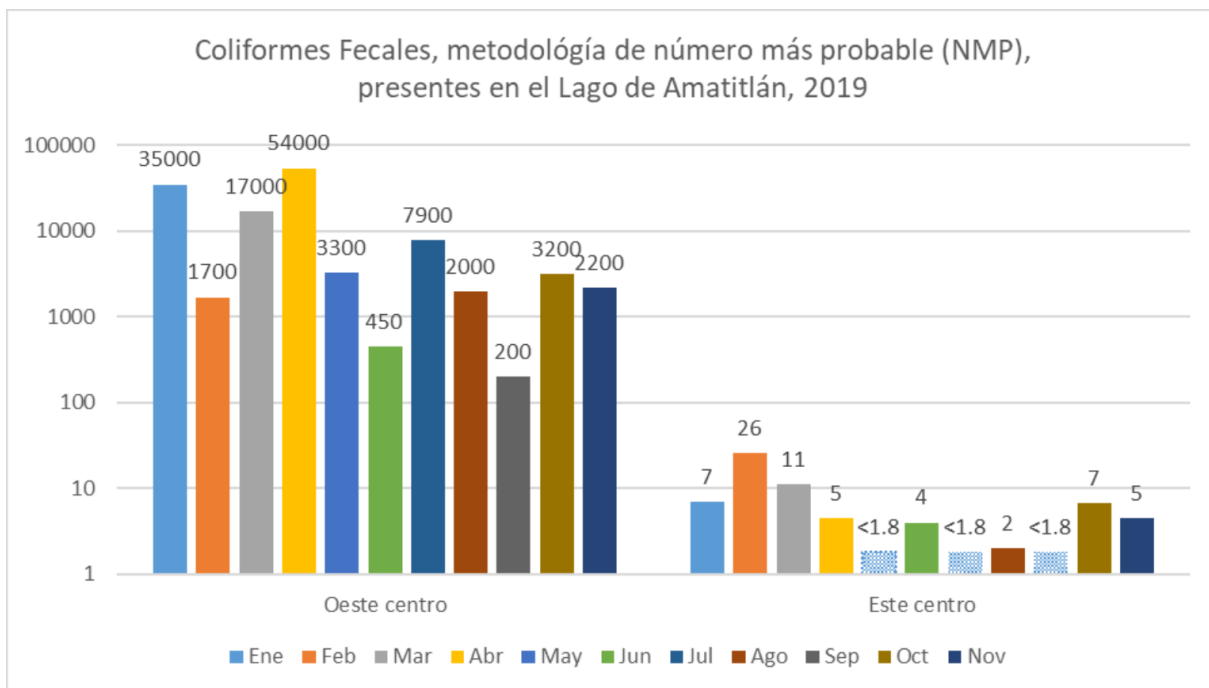
Los metales pesados fueron encontrados principalmente en los sedimentos. Este fenómeno es común debido a precipitación de los metales y también a la concentración en los sedimentos orgánicos. Los metales con mayores concentraciones máximas fueron: Zinc (560 mg/Kg), Cobre (509.9 mg/Kg), Arsénico (411.4 mg/Kg) y Níquel (181 mg/Kg).

Lo anterior es un signo de contaminación industrial, que puede causar problemas por la bioconcentración de algunos de estos metales en las conchas y ostras. Análisis realizados en caracoles mostraron concentraciones de cobre y zinc con valores promedios aproximados de 5 y 15 mg/Kg respectivamente.

Contaminación Bacteriana

Las mediciones de coliformes fecales a través del año muestra una marcada diferencia entre los puntos ubicados al este y el oeste. El lado este alejado de la descarga del río Villalobos, muestra niveles de coliformes bajos igual a los sistemas naturales. Por el contrario, el lago oeste, es más impactado por la descarga del río Villalobos.

Ilustración 77 Concentración de Coliformes Fecales Lago Amatitlán, año 2019



9.4 Características del Lago Amatitlán en Monitoreo del año 2019

Basado en los estudios extensivos que se han realizado en el Lago Amatitlán a continuación se lista algunas de sus características:

El lago es poco transparente, los últimos resultados de monitoreo del año 2019, dieron resultados de disco secchi entre 0.29 a 1.25 m, lo que significa poca penetración de luz solar debido al crecimiento de algas en la superficie.

El lago se comporta como estratificado entre los meses de febrero y octubre, la estratificación produce variaciones en los niveles de oxígeno con supersaturación en la superficie debido a las algas y valores cercanos a cero a partir de los 10 metros. La estratificación también significa poca mezcla de la columna de agua. La superproducción sedimentada como materia muerta produce una demanda de oxígeno en los sedimentos, que es la causa de las condiciones anaerobias en las profundidades.

En los meses cuando casi no se produce estratificación, entre noviembre y enero, se promueve el mezclado de la columna de agua, lo que produce condiciones de bajo niveles de oxígeno (anaerobia) en toda la columna. Esto se debe a resuspensión de los sedimentos, los cuales por su condición orgánica ejercen una demanda de oxígeno excesiva que consume el oxígeno hasta la superficie.

Las concentraciones de fósforo para la Estación Oeste Centro variaron entre 0.3 a 1.2 mg/l, estos valores son similares a los observados desde el 2008. Los meses con mayor afectación fueron mayo a agosto y las mayores concentraciones se dieron en profundidades mayores a 10 metros. Las concentraciones de fósforo para la Estación Este Centro fueron sorprendentemente mucho menores que la estación Oeste Centro con valores entre 0.2 a 0.7 mg/l. En ambos casos los valores son suficientemente altos para inducir producción de algas.

Los coliformes fecales fueron menores que en años anteriores. Para la zona oeste, la concentración varió entre 200 y 5.4×10^4 NMP/100 ml. Para la zona este fueron bastante bajos oscilando entre 1 y 26 NMP/100 ml. Estos últimos valores son aptos para recreacional con contacto directo. Estos datos muestran que ha habido una disminución significativa en la población bacteriológica en los últimos años.

De especial interés es el estudio de la concentración de cianotoxinas (microcistinas) debido a que tienen la capacidad de producir una diversidad de toxinas naturales, tanto desde el punto de vista químico como toxicológico. A pesar de su origen acuático, la mayoría de las cianotoxinas que se han identificado hasta la fecha parecen ser más peligrosas para los mamíferos terrestres que para la biota acuática.

El monitoreo del año 2019 detectó concentraciones de cianobacterias en el lado este del orden de 10 ppb, valor muy superior al valor de 1 ppb establecido como máximo permisible por la OMS. La misma tendencia se observó en el Oeste Centro, excepto en los meses de enero y agosto cuando se registraron concentraciones por debajo de este límite.

Impacto en el Lago Amatitlán

El lago Amatitlán es el principal reservorio de agua de la región de la MGCS y está ubicado en un enclave turístico, no solo por la cercanía a la Ciudad de Guatemala (26 km) y demás ciudades de la MGCS, sino también por la belleza paisajística y las actividades turísticas y recreativas de su entorno, además de la ubicación de parques ubicados en la cuenca, manantiales de aguas termales, sitios arqueológicos y práctica de deportes acuáticos y paseos en lancha, y hasta la pesca tradicional controlada.

El agua del lago ha sido utilizada para uso doméstico, generación de electricidad, pesca y para fines recreativos y turísticos. Este recurso hídrico también ha sido utilizado para realizar deportes acuáticos. Ha sido varias veces sede de Juegos Deportivos Centroamericanos y de Juegos Centroamericanos y del Caribe además de muchas competencias internacionales. Con el mantenimiento del lago se forma un embalse el cual puede tener otros usos como navegación recreativa, y centro de atracción el cual ha sido promovido por turicentros como el Rocarena, el Morlón y el IRTRA para hacer uso directo e indirecto del lago para atraer visitantes y clientes a sus instalaciones.

Como se expresó anteriormente, alrededor de la ribera del lago se encuentran organizaciones como el Club Guatemala, el Club Hípico, el Club Mayan Golf (que utiliza el agua del lago para el riego de los jardines) y la Federación Nacional de Remo y Canotaje.

A pesar de todos los usos actuales, las altas concentraciones de materia orgánica, así como de nutrientes, ha favorecido el desequilibrio ecológico del lago y la cadena trófica, incrementando las poblaciones de fitoplancton y plantas acuáticas, lo cual ha llevado a la eutrofización del mismo. Esta sobrepoblación de microalgas y macrófitas en el lago afecta el equilibrio ecosistémico del mismo, ocasionando daños a los recursos hidrobiológicos y a las personas que se benefician de él.

De acuerdo al informe Diagnóstico de los cuerpos de agua de la cuenca del lago de Amatitlán; AMSA,

“La alta carga de contaminantes ha favorecido al incremento de la concentración de sales inorgánicas que sirven de nutrientes para las diferentes formas de vida dentro del lago de Amatitlán, lo cual ha llevado a la eutrofización del mismo. Consecuentemente, la alteración de la cadena trófica por incremento desmedido de microalgas y macrófitas en el lago afecta el equilibrio ecológico del mismo, ocasionando daños a los recursos hidrobiológicos y a las personas que se benefician de él. Sumado a esto, las concentraciones de microalgas representadas en más del 90 % por cianobacterias, se

acumulan en las orillas de las playas, ocasionando malos olores, pudrición de la materia orgánica, disminución de la calidad del agua, proliferación de vectores entre otros. Sin embargo, los efectos más dañinos que podemos llegar a encontrar es la liberación de toxinas al ambiente por la ruptura celular”.

Ilustración 78 Cianobacterias en Playa Pública, mayo, 2018



Fuente: División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos, AMSA, 2018

Como resultado de la contaminación, se limita los posibles usos benéficos del cuerpo de agua, con las siguientes afectaciones:

1. Disminución de la transparencia de la columna de agua
2. Condiciones no estéticas con la presencia de algas y color verdoso de las aguas en ciertas zonas del lago
3. Condiciones de riesgo para la salud humana por alto contenido de bacterias patógenos
4. Afectación a flora y fauna acuática
5. Pérdidas de oportunidad de los usos benéficos del lago incluyendo los usos
 - Abastecimiento para Agua potable
 - Recreacional con contacto directo
 - Pesca
 - Pérdidas de Turismo nacional e internacional
 - Limitaciones en riego
 - Limitaciones en el desarrollo de zona costera

La recuperación de la calidad del Lago Amatitlán, es uno de los retos de los vecinos de la MGCS y de AMSA para aprovechar al máximo el potencial de este cuerpo de agua con escenas y miradores únicos.

Ilustración 79 Valor paisajístico del Lago Amatitlán



En conclusión

- El lago es completamente eutrófico. El Lago de Amatitlán se encuentra en estado eutrófico por lo menos desde el año 2008 y ha mantenido esta categoría hasta el presente.
- Los contaminantes de mayor impacto son los nutrientes nitrógeno y fósforo y los coliformes fecales.
- Los nutrientes son los causantes de la eutrofización existente, estado que puede aumentar en el futuro hasta expresarse en formación de capas superficiales presentes en algunos sectores del lago pero que todavía no se ha generalizado
- Los coliformes fecales son de interés por el posible contacto primario que representa un riesgo inminente para la población que vive en los alrededores del lago y que hace uso del mismo.
- Los metales pesados, en el cuerpo de agua, no representan un peligro. Esto se debe a que dichos elementos se han concentrado en los sedimentos, donde si representan un riesgo en caso de remoción de los mismos.
- Los niveles anóxicos en el fondo del Lago de Amatitlán son permanentes a través del año y en el periodo completo del 2008 al 2019, provocando condiciones anaeróbicas en el fondo y liberando nutrientes de los sedimentos a la columna de agua.
- El lago presenta estratificación estacional. Así como mezclado también estacional. Esto afecta principalmente los niveles de oxígeno.
- La contaminación del lago limita los posibles usos benéficos no solo de los usos directos en el lago, sino también del potencial turístico existente en su entorno.

Retos

El reto principal es recuperar la calidad del agua para los usos actuales, lo que solo se logra con la reducción de las cargas contaminantes de los ríos y otras acciones en la cuenca del Lago Amatitlán. De especial importancia es la reducción bacteriana y de nutrientes.

10 Agua Potable

El servicio de abastecimiento y distribución de agua potable, representa un reto para la MGCS debido principalmente al excesivo crecimiento poblacional y la gradual sobre explotación de las fuentes de agua que ha impuesto presiones sobre los acuíferos y los cuerpos de agua superficiales.

A continuación, se resume el estado de cobertura por municipio seguido por un análisis de visión integral basado en los estudios que se han realizado sobre los recursos de agua.

10.1 Santa Catarina Pinula

De acuerdo a los Censos del INE año 2018 el 88 % de las viviendas tiene acceso a agua potable por tubería. Un 8.9 % adicional se abastece con pozos privados y el resto 2.8% de otras fuentes.

Para el año 2015, el sistema municipal de agua para este municipio contaba con 23 pozos mecánicos, 5 de estos en área urbana y 18 en área rural y 3 nacimientos para una producción de 14,416 m³/día. Los usuarios registrados ascendían a 9300 que equivale a un 46% del total de viviendas del municipio.

Sin embargo, la cobertura de los servicios es más alta debido a varias prácticas en el municipio que dificultan su cuantificación, por ejemplo, no hay obligatoriedad de conectarse a la red pública, algunos edificios y familias arrendatarias solo tiene un servicio, y adicionalmente la existencia de prestadores privados autónomos cuya gestión no es controlada.

El monitoreo de los pozos se realiza mediante convenio con AMSA en el cual se estableció un programa para 25 pozos. El resultado de la calidad del agua de 10 pozos muestreados en el 2019 fue en general buena a excepción de cuatro pozos: El Cementerio, La Cuchicha del Carmen, el Sector IV Lote 14 y Sector IV Lote 19 con valores de dureza ente 140 y 160 mg/l como carbonato de calcio. Dos de los pozos resultaron con alto contenido de nitratos 38 y 90 mg/l respectivamente.

Se cuenta con medición de lecturas de consumo.

10.2 San Miguel Petapa

De acuerdo a los Censos del INE año 2018 el 96.11 % de las viviendas tiene acceso a agua potable por tubería. Un 1.5 % adicional se abastece con pozos privados y el resto 2.39% de otras fuentes.

Para el año 2015, el sistema municipal de agua para este municipio contaba con 30 pozos mecánicos para una producción⁵⁴ de 23,051 m³/día. Los usuarios registrados ascendían a 11,980 lo que equivale al 35% de las viviendas del municipio, o aproximadamente el 38% de la población. Sin embargo, informes anteriores⁵⁵ han reportado que la Municipalidad opera el 85% del acueducto ya que esta ha absorbido parte del sistema que eran originalmente operados por privados pero la comunidad ha venido solicitando la presencia del municipio por los altos costos. En dicho estudio se determinó que uno de los problemas que se ha tenido es que los urbanizadores construyen sus pozos, pero cuando se empiezan a agotar, desaparecen dejándole el problema a la municipalidad. Los otros casos se han dado por los altos costos de los servicios privados, que han hecho que algunas colonias hayan migrado al servicio municipal.

⁵⁴ Diagnóstico Inicial de Agua Potable, MGCS, 2015.

⁵⁵ Base para la Estructuración de Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico para la Gran Ciudad del Sur y La Ciudad De Guatemala, Triana, Feb. 2014

El número de usuarios en la base de datos, es menor que el número de viviendas de acuerdo a los datos de los censos y sus proyecciones. Esta situación se da debido a que varias familias comparten una acometida.

En el pasado la Municipalidad ha tenido problemas en el suministro continuo del agua, y se considera que se requiere en primera instancia mejorar la operación de los pozos existentes.

La calidad del agua de los pozos es muy buena a excepción del parámetro de dureza. De 6 pozos muestreados por AMSA en 2019 y 2020, 5 presentaron valores entre 120 y 180 mg/l como CaCO₃ que califica a las aguas como duras. Solamente un pozo presentó valores de nitratos altos (pozo Centro de Salud con un valor de nitrato de 21.4 mg/l).

No se cuenta con medición de lecturas de consumo.

10.3 Villa Canales

De acuerdo a los Censos del INE año 2018 el 83.9 % de las viviendas tiene acceso a agua potable por tubería. Un 5.67 % adicional se abastece con pozos privados y el resto 10.43 % de otras fuentes.

Para el año 2015, el sistema municipal de agua para este municipio contaba con 35 pozos mecánicos y 4 fuentes superficiales para una producción de 23,051 m³/día. Los usuarios registrados ascendían a 18,750 que equivale a un 50% del total de viviendas del municipio.

Estudios anteriores han reportado que solo la cabecera municipal cuenta con servicio continuo, el resto de las viviendas tienen cisternas de almacenamiento para compensar por la discontinuidad del servicio. En dicho estudio se determinó que la Municipalidad consideraba que tenía suficiente agua por sus fuentes subterráneas y que la falta de recursos económicos para mejorar la infraestructura de suministro era la razón de la discontinuidad del servicio.

La calidad del agua se monitoreo en 31 pozos por AMSA 2019-2020, todos los pozos mostraron valores entre 75 y 275 mg/l como CaCO₃ lo que clasifica a las aguas entre duras y muy duras. Cinco de los pozos presentaron valores de nitratos entre 22 y 37 mg/l, mayor al límite de 10 mg/l establecido como seguro para agua potable.

La información disponible para el año 2014⁵⁶, relata que aún no había planes de rehabilitación de redes. Solo se tenía récord para algunos pozos, pero en la red no se tenían datos, excepto por los costos de las reparaciones. Tampoco se llevaba el control de cloro residual. Por falta de medición no había controles de agua no contabilizada, aunque se sabía de la existencia de agua no contabilizada debido a conexiones fraudulentas.

El servicio prestado por privados en teoría cubre todos los aspectos de la dotación de agua potable.

No se cuenta con medición de lecturas de consumo.

10.4 Amatitlán

De acuerdo a los Censos del INE año 2018 el 92.69 % de las viviendas tiene acceso a agua potable por tubería. Un 4.08 % adicional se abastece con pozos privados y el resto 3.23 % de otras fuentes.

Para el año 2015, el sistema municipal de agua para este municipio contaba con 11 pozos mecánicos y 1 fuente superficial para una producción de 13,939 m³/día. Los usuarios registrados ascendían a 7,800 que equivale a un 27% del total de viviendas del municipio.

De acuerdo al estudio del 2014 referenciado arriba, el servicio es continuo, aunque por la noche con el fin de ahorrar energía, y aprovechando la disminución de la demanda apagan algunos

⁵⁶ Ibid.

bombeos en pozos. Lo que si no garantizan es la presión en el frente servido, ya que en algunos sitios la presión no es suficiente para alimentar directamente una segunda planta. En los servicios privados, se encuentran casos de racionamiento, no solo para disminuir los costos del servicio, sino en algunos casos hay restricciones en el caudal de abastecimiento.

Durante el año 2019, en cooperación con AMSA se tomaron muestras en 9 pozos y tres puntos dentro de la red de distribución incluyendo un tanque de almacenamiento. Los resultados mostraron que el agua es dura con concentraciones entre 90 y 170 mg/l de CaCO₃. Seis pozos fueron muestreados para arsénico, todos mostraron una concentración entre 0.047 y 0.053 mg/l. Este valor está en el límite máximo recomendado por la OMS. Finalmente, solo un pozo mostró una concentración elevado de nitrato con un valor de 24.9 mg/l.

El mantenimiento se hace directamente por los funcionarios, a menos que requieren reparaciones como bombas, etc.

Se tiene planos de redes de acueducto en físico.

No se cuenta con medición de lecturas de consumo.

10.5 Villa Nueva

De acuerdo a los Censos del INE año 2018 el 94.56 % de las viviendas tiene acceso a agua potable por tubería. Un 2.44 % adicional se abastece con pozos privados y el resto 3.0 % de otras fuentes.

Para el año 2015, el sistema municipal de agua para este municipio contaba con 43 pozos mecánicos y 1 fuente superficial para una producción de 33,202 m³/día. Los usuarios registrados ascendían a 23,700 que equivale a un 22% del total de viviendas del municipio.

De acuerdo al estudio del año 2014, referido arriba, la Municipalidad planeaba implementar un sistema de macro - circuitos con el fin de flexibilizar toda la red, volver más eficiente la operación del sistema.

Durante el año 2019, en cooperación con AMSA se tomaron muestras en 48 pozos. Los resultados mostraron que el agua es dura a muy dura en todos los puntos muestreados con valores entre 100 y 230 mg/l de CaCO₃. Al menos 15 pozos arrojaron valores de nitratos entre 14 y 55 mg/l. Todos los demás parámetros presentaron valores bajos o normales.

10.6 Mixco

De acuerdo a los Censos del INE año 2018 el 94.68 % de las viviendas tiene acceso a agua potable por tubería. Un 2.79 % adicional se abastece con pozos privados y el resto 2.54 % de otras fuentes.

Para el año 2015, el sistema municipal de agua para este municipio contaba con 90 pozos mecánicos y 1 fuente superficial para una producción de 56,284 m³/día. Los usuarios registrados ascendían a 46,706 que equivale a un 40% del total de viviendas del municipio.

En el año 2014⁵⁷, la continuidad no era de 24 horas, existiendo un racionamiento por sectores, al cual se le suministra de 3 a 5 horas diarias, tiempo que se considera suficiente para llenar los tanques de almacenamiento y permitir a los usuarios no ser impactados por este racionamiento.

En la actualidad se cuenta con 11 plantas de tratamiento de agua potable administradas por la municipalidad⁵⁸.

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Formulario de saneamiento recibido de la Municipalidad

La Dirección de Aguas y Drenajes de la Municipalidad es consciente de que se han presentado casos en los cuales los pozos han bajado dramáticamente su capacidad de producción, pero la asocian a que no hay control de la densidad de pozos permitidos en cada zona, y han encontrado cuando sucede esta situación, está asociada a la construcción de nuevos pozos para nuevos condominios.

En términos de la calidad del agua para consumo humano, según un reporte de la municipalidad de Mixco, del año 2014, se encontraron diferentes contaminantes con incidencia en la salud, en pozos de suministros de agua para consumo humano.

Tabla 40 Contaminantes encontrados en pozos de suministro de agua para consumo humano, Municipio Mixco, Guatemala⁵⁹

Registro	Colonia	N.º Pozo	Dirección	Contaminante
ZONA 1				
1	CABECERA	1	4ta Calle 1-20, parquecito Zona 1 ciudad de Mixco	Nitratos
ZONA 1				
2	CABECERA	4	5ta Avenida 5-00, parque central Zona 1 ciudad de Mixco	Nitratos
3	CABECERA	5	7ma. Calle "A" 11-74, Zona 1 ciudad de Mixco	Nitratos
4	CIENEGA 1 Y 2		Aldea el Manzanillo zona 1	Nitratos, Hierro
ZONA 2				
5	MOLINO DE LAS FLORES I	1	4ta. Calle "A" 52-30, área verde Colonia Molino de las Flores I, Zona 2 de Mixco	Arsénico
6	MOLINO DE LAS FLORES I	2	4ta. Calle "A" 52-32, área verde Colonia Molino de las Flores I, Zona 2 de Mixco	Hierro
7	SANTA MONICA	1	11 Avenida 2-00 "A" Interior, Colonia Santa Mónica, Zona 2 de Mixco	Nitratos
ZONA 3				
8	RESIDENCIALES EL ROSARIO	1	3ra. Avenida 11-68, Colonia El Rosario, Zona 3 de Mixco	Nitratos
9	NUEVA MONSERRAT	7	14 Avenida "A" 1-25, Colonia Nueva Monserrat, Zona 3 de	Nitratos
ZONA 4				
10	MONSERRAT I	1	1ra. Calle 1-01, Colonia Monserrat I, Zona 4 de Mixco	Arsénico
11	MONSERRAT II	5	2da. Avenida 7-30, Colonia Monserrat II, Zona 4 de Mixco	Nitratos

⁵⁹ Documento conceptual para Manejo Integrado de Recursos Hídricos en los municipios que conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, 2016

Registro	Colonia	N.º Pozo	Dirección	Contaminante
12	MONSERRAT I		2 Avenida 9 -07, Colonia Monserrat I, Zona 4 de Mixco	Arsénico
	BOULEVARD BOSQUES DE SAN NICOLAS	1	3ra calle 13-21 Boulevard Bosques de San Nicolas zona 4	
13		(Nuevo)		Hierro

El contaminante de mayor preocupación encontrado en las muestras mencionadas es arsénico, por lo que se llevó un monitoreo específico para dicho contaminante en los años 2019 y 2020. Los resultados de AMSA confirman la presencia de arsénico mayores a 0.05 mg/l en 17 pozos monitoreados en el año 2019 y en 5 pozos en el año 2020.

Tabla 41 Resultados monitoreo de arsénico en

Año	No muestras tomadas en pozos	Muestras con presencia de arsénico	Promedio (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	No muestras con valores > 0.05 mg/l
2019	161	76	0.043	0.0061	0.295	17
2020	94	72	0.024	0.0092	0.197	5

Fuente: Registros de AMSA, 2019, 2020

10.7 Municipio de Guatemala

De acuerdo a los Censos del INE año 2018 el 94.9 % de las viviendas tiene acceso a agua potable por tubería. Un 2.05 % adicional se abastece con pozos privados y el resto 3.06% de otras fuentes.

A diferencia de las otras municipalidades de la MGCS, el municipio de Guatemala cuenta con la empresa municipal de agua descentralizada EMPAGUA que cubre no solamente toda la gestión del agua potable, sino también el alcantarillado sanitario.

La ciudad de Guatemala es abastecida por fuentes superficiales y subterráneas en una proporción de 42.49 y 57.51% respectivamente⁶⁰. El agua superficial se obtiene básicamente de ríos y las aguas subterráneas se obtienen de los acuíferos por medio de pozos perforados. Para distribuir el agua potable a todas las zonas de la ciudad de Guatemala, EMPAGUA, abastece a al 85% de los habitantes; luego están las empresas privadas y la más grande es la Empresa de Agua del MARISCAL, que abastece principalmente a la zona 11 y 8. Existen otras empresas que distribuyen agua, pero en menor cantidad.

El estudio de “Evaluación del consumo de agua potable en la Ciudad de Guatemala y los efectos del cambio climático”, Guzmán&Quiñonez, 2014 determinó que la distribución se efectúa por medio de una red de tuberías de diámetros de 2 pulgadas hasta 28 pulgadas, de hierro y PVC; dentro de sus accesorios hay válvulas y llaves que se utilizan para compensar las fluctuaciones diarias de la demanda. Existen más de 28 tanques de distribución y almacenamiento, con un volumen total de 152,000 metros cúbicos. Se determinó que este almacenamiento representa más del 65% de la producción de un día. La red de distribución cubre en su totalidad la ciudad de Guatemala, parte de Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales y Chinautla. Tiene una longitud de 1,900

⁶⁰ Plan Maestro de Saneamiento, Miranda Jeovany, EMPAGUA, 2019

kilómetros de tubería. Se estima en un 43% de pérdidas en el volumen de agua producida a causa de fugas, conexiones ilícitas, daños, etc.

Parte de la red de distribución de agua potable se ha deteriorado con el tiempo y por el uso que se le da a la misma, se trata de una red de distribución que se encuentra sin información; a la fecha se cuenta con proyectos para la Administración Dinámica de la Red – ADR, con el propósito de ir minimizando el índice de agua no contabilizada – ANC⁶¹.

Para la utilización del agua de superficie, EMPAGUA dispone de las plantas Lo de Coy, Santa Luisa, El Cambray y Las Ilusiones, mientras que, en el caso del líquido subterráneo, cuenta con campos de extracción y bombeo como Ojo de Agua, y los pozos que han sido perforados en diferentes zonas de la ciudad.

Con esta producción de 10 millones de m³ mensuales, EMPAGUA satisface las necesidades de más de dos millones y medio de personas que efectúan alguna actividad económica en la urbe. Además, brinda el suministro a pobladores de varios sectores de los municipios cercanos, (Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Chinautla, Palencia y San José del Golfo) lo que convierte a EMPAGUA en la empresa regional que más personas atiende con agua apta para el consumo humano, a bajo precio.

Sin embargo, el déficit estimado de agua es de 40% según el Informe Laboral 2018 de EMPAGUA.

La siguiente tabla muestra las fuentes principales y la producción de agua⁶² de EMPAGUA, aunque aparte de los registros de EMPAGUA, existe un número indeterminado de pozos privados para la provisión de agua para uso industrial, para oficinas y para uso industrial.

Tabla 42 Producción de agua por sistema de captación y planta de tratamiento de EMPAGUA (2016).

Sistema	Fuente	Zonas que abastece	Producción (m³/s)
Lo de Coy	Ríos Xayá y Pixcayá	1, 2, 3, 6, 7, 8, 11 y 19 4 y 18 parcialmente	1.209
Santa Luisa	Embalse Teocinte (ríos San Antonio, Las Pilas, La Manguita, La Piedrona, la Iglesia), Pozos a lo largo de la línea de conducción, río Acatán, río Canalitos (y pozo)	5 y 6 en su totalidad 1, 4, 10 y 17 parcialmente	0.249
Las Ilusiones	Río los Ocotes (estación de bombeo El Atlántico)	17 y 18	0.170
El Cambray	Río Pinula (estación de bombeo Hincapié), río las Minas	9, 10, 13, 14, 15	0.065
Ojo de Agua	Campo de pozos Ojo de Agua y Diamante	1, 3, 8, 9, 12, 13, 14, 21 y caserío El Frutal, San Miguel Petapa.	0.859
Pozos de la ciudad	Acuífero	1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 8, 19, 21	0.308

⁶¹ Memoria de Labores 2018, EMPAGUA

⁶² Plan de Conservación de Agua. Región Metropolitana de Guatemala, FuncAgua, 2018

Sistema	Fuente	Zonas que abastece	Producción (m ³ /s)
Agua en bloque	Pozos electromecánicos, acuífero.		0.912
Pozos de Emergencia I	Acuífero nororiente del valle de la Ciudad		0.338
La Brigada	Río Brigada, Milagro, Yumar, las Flores, Pansalic	7, 11 y 19	0.000
	TOTAL		4.110

En este cuadro, también se describen los nueve sistemas de producción de agua que administra EMPAGUA, algunos conformados únicamente por estructuras de captación y otros, además, con planta de tratamiento. De estos, los que tienen fuentes superficiales son Lo de Coy, Santa Luisa, Las Ilusiones, El Cambray y La Brigada, esta última sin aporte en 2016. Y los que tienen fuentes subterráneas son Ojo de agua, Pozos de la ciudad, agua en bloque, y pozos de Emergencia.

De acuerdo con estos registros de EMPAGUA, se considera importante el aporte del sistema de captación y planta de tratamiento Lo de Coy, con el 29 % del caudal total anual para 2016. Este caudal proviene de las subcuencas Xayá y Pixcayá en el departamento de Chimaltenango.

En la actualidad, EMPAGUA maneja un conjunto de alrededor de 94 pozos localizados en el área urbana de la ciudad, los cuales incluyen los 34 pozos que conforman el sistema emergencia en el área noreste de la región, (Microcuencas Las Cañas, Teocinte y Los Ocotes) 12 pozos en el área de Ojo de Agua y Diamante (Microcuenca Villalobos y Amatitlán).

Respecto al uso del agua subterránea el 92% de las extracciones de agua subterránea son para fines domésticos y municipales, el 7% para la industria y comercio y el 2% para riego.

El consumo per cápita por mes fue estimado en 5.10 metros cúbicos. Para el nivel residencial el promedio es de 6.65 metros cúbicos por persona al mes, lo que representa un valor de 222 litros/persona/día. Para este caso, las zonas 13 y 10 son las que mayor consumo por habitante registran. En cuanto al nivel comercial, la zona 2 y 13 registran mayor consumo. A nivel industrial es la zona 25. Ver siguiente Tabla⁶³.

Tabla 43 Consumo promedio por usuario y persona al mes de agua potable en la ciudad de Guatemala

zona	Consumo Promedio por usuario				Consumo Promedio por persona			
	Residencial	Comercial	Industrial	Otro	Residencial	Comercial	Industrial	Otro
1	17	22	84	0	2.13	1.10	1.71	0.00
2	25	156	346	0	4.17	31.20	5.16	0.00
3	26	48	118	0	5.20	1.55	2.07	0.00
4	34	395	24	2945	5.67	4.76	4.00	8.90
5	103	119	163	177	8.58	8.50	6.27	11.80
7	39	51	55	84	5.57	2.22	1.67	0.17
8	45	150	207	174	7.50	5.36	1.25	0.10
10	66	104	243	0	13.20	8.67	9.35	0.00
11	42	127	668	600	8.40	11.55	4.77	0.12
12	21	89	77	2133	3.50	1.51	1.54	1.12
13	123	370	185	1648	17.57	17.62	8.41	10.30
14	76	225	372	0	4.47	1.13	1.10	0.00
15	153	82	26	125	4.78	0.71	5.20	2.05

⁶³ Evaluación del consumo de agua potable en la Ciudad de Guatemala y los efectos del cambio climático, Guzmán&Quiñonez, 2014

zona	Consumo Promedio por usuario				Consumo Promedio por persona			
	Residencial	Comercial	Industrial	Otro	Residencial	Comercial	Industrial	Otro
16	1748	335	0	3028	5.58	4.53	0.00	1.01
17	46	59	115	0	7.67	3.69	1.11	0.00
18	34	81	86	105	5.67	9.00	0.56	1.12
21	56	86	0	107	2.24	12.29	0.00	0.39
24	52	61	35	0	8.67	8.71	5.83	0.00
25	29	42	428	45	5.80	5.25	17.12	7.50
	143.95	136.95	170.11	587.95	6.65	7.33	4.06	2.35
	Promedio 259.74				Promedio 5.10			

Índices de Desempeño año 2018 reportados en la Memoria laboral 2018 de EMPAGUA

- Índice de micro medición: 85%
- Índice de recaudación: 73.17 % de lo facturado
- Índice de facturación: 67.68% de la producción de agua
- Costo de agua por m³: 2.47 Q/m³

10.8 Revisión de Impactos y uso a nivel regional

10.8.1 Impactos sobre el recurso hídrico

De acuerdo al estudio de Conservación del Agua en la Región Metropolitana de FuncAgua, 2018, se identificaron las siguientes presiones e impactos sobre el recurso hídrico

- Contaminación de los cuerpos de agua. Esta contaminación disminuye la oferta hídrica principalmente de las fuentes superficiales. Además, se ha observado rastras de contaminación de las fuentes subterráneas en lo que respecta a nitratos, hierro y arsénico.
- Disminución de la oferta hídrica (fundamentalmente la baja continua en los niveles freáticos). Los acuíferos de los que se abastece la Región Metropolitana de Guatemala presentan un déficit promedio anual de 362.5 millones de metros cúbicos. La explotación de acuíferos promedio es de 502.3 millones de metros cúbicos, mientras que la recarga disponible es de 139.8 millones de metros cúbicos
- La expansión del área urbana y el crecimiento poblacional. En la actualidad los recursos hídricos ya se encuentran estresados, la demanda se incrementará con el crecimiento de la población y las demandas asociadas domiciliarias, comerciales, institucionales e industriales.
- Perdida de cobertura forestal. Entre 2006 y 2010 hubo pérdidas en cobertura forestal entre las que destacan las ocurridas en los municipios de Guatemala (1,473.21 ha), Amatitlán (1,247.67 ha), Villa Canales (648.72 ha) y Villa Nueva (619.56 ha) .
- Falta de normativas sobre el recurso hídrico y/o la debilidad de las existentes. A nivel nacional, más allá del nivel municipal, la legislación y normativa en el régimen del agua se encuentra dispersa en diversas entidades gubernamentales.
- Insuficiente pago de los usuarios del agua en relación al costo del recurso. El pago de los usuarios del agua es insuficiente en relación al costo del recurso. Todas las municipalidades subsidian el costo de operación y mantenimiento del servicio de agua.
- Cambio climático. De no tomar acciones, el cambio climático tendrá implicaciones negativas en términos de cantidad de agua en épocas secas, y un incremento de la erosión severa y los deslaves en épocas muy lluviosas o con eventos extremos. Un estudio reciente (Gondor et al., 2017) estimó para todas las microcuencas una reducción en el rendimiento hídrico, que

en promedio podría ser 26% menor que el actual, bajo un escenario de cambio climático para el año 2050.

Los impactos y presiones mencionadas tienen que ser abordadas por las municipalidades. La búsqueda de acuíferos más profundos y fuentes superficiales más alejadas implica mayores costos de inversión y de operación y mantenimiento. Se prevé la necesidad de un Plan Maestro de Agua Potable para tener una visión conjunta de la explotación racional y planificada del recurso.

Al respecto, ya se tiene conciencia de este problema y la MGCS con el apoyo de la Fundación para la Conservación del Agua –FUNCAGUA-, durante los años 2018 y 2019, realizó análisis piezométrico de los pozos públicos de los municipios de la Mancomunidad, análisis que servirá para orientar las acciones que las municipalidades deberán realizar en los próximos años para asegurar la provisión de agua para consumo humano.

El análisis piezométrico realizado evaluó la dinámica de los niveles piezométricos de los pozos públicos de los municipios de la Mancomunidad a los que se tuvo acceso, determinando el comportamiento de las líneas de flujo del agua subterránea en los últimos cuarenta años, partiendo de un estudio de referencia del año 1978, en contraste con los niveles piezométricos estáticos y dinámicos del monitoreo realizado en la época seca y lluviosa del año 2018.

Uno de los problemas que los estudios anteriores han encontrado es la existencia de un gran número de pozos por cuencas y microcuencas, el estudio de Conservación del Agua en la Zona Metropolitana menciona que existen más de 500 pozos en algunas microcuencas.

10.8.2 Identificación de Retos

El principal reto de agua potable es la reducción de la oferta hídrica que obligará a las más Municipalidades a explorar nuevas fuentes de abastecimiento más profundas, más lejanas y más costosas.

Otros retos comunes a todos los servicios es la falta de gobernabilidad del recurso debido al desbalance de ingresos y egresos que obliga al subsidio.

11 Alcantarillado Sanitario y Tratamiento

Según el diagnóstico realizado por la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, para efectos del Plan Maestro de Aguas Residuales (Garrido, 2015), los cuerpos receptores se siguen contaminando en tanto no existan las inversiones específicas en sistemas de tratamiento tanto públicas como privadas y no se lleven adecuadamente los controles sobre vertimientos no controlados, así como el monitoreo permanente para garantizar la calidad de aguas.

En el caso de las aguas residuales, según el plan maestro de aguas residuales de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, realizado en el período 2015- 2016, indica que en su conjunto los municipios del sur del departamento de Guatemala tratan únicamente el 5% de las aguas residuales domésticas producidas, lo que conlleva a estimar que todos los ríos que atraviesan dicho territorio están muy por debajo sus índices de calidad, aspecto que ha sido corroborado por los estudios que ha realizado en ese mismo año la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca del Lago de Amatitlán-AMSA- (2016).

Aunado a ello el área metropolitana posee un parte aguas (división continental) que aporta aproximadamente el 30% de su área tributaria, lo produce una fuerte contaminación de los diferentes cuerpos de agua que atraviesan los municipios del sur del Departamento de Guatemala, que finalmente drenan directamente a la cuenca del lago de Amatitlán (MGCS, 2015).

Adicionalmente, los alcantarillados han sido diseñados como combinados o como residuales, pero que trabajan como combinados, con sus correspondientes problemas de capacidad.

En esta sección se analiza la situación sanitaria de cada uno de las municipalidades de la MGCS en cuanto al alcantarillado sanitario y el tratamiento de las aguas residuales. No se analiza los proyectos regionales y propuestas de planes maestros, los cuales se abordan en otra sección.

11.1 Municipalidad de Santa Catarina Pinula

De acuerdo a los Censos del INE año 2018 el 49.1 % de las viviendas tiene acceso redes de drenaje, un 27.61 % tiene fosas sépticas o sumideros y el resto descarga en letrinas o pozos ciegos.

Según el Estudio Técnico de Caracterización de Aguas Residuales 2016, preparado por la Municipalidad como requisito para cumplir con el AG 236-2006, el municipio de Santa Catarina Pinula genera un caudal aproximado de 23,804 m³/d de agua doméstica al día, de los cuales 13,092 m³/d (55%) son generados en colonias residenciales, fincas, urbanizaciones, u otros que, según la licencia de construcción autorizada, son entidades privadas responsables del tratamiento de sus aguas.

Del efluente total de aguas residuales 10,711 m³/d (45%) son responsabilidad municipal, sin embargo, únicamente 3,309 m³/d (31%) de las aguas residuales a cargo de la administración municipal es tratada en plantas de tratamiento de aguas residuales previo a su desfogue final.

Para ello se cuentan con 14 PTARs, 8 de ellas con sistemas lodos activados por medio de aireación extendida y 4 con sistema anaerobio; sin embargo, solamente 8 se encuentran operando. Ver la Ilustración de ubicación y tablas de ubicación y calidad a continuación.

Ilustración 80 Ubicación de las PTAR Municipio Santa Catalina Pinula

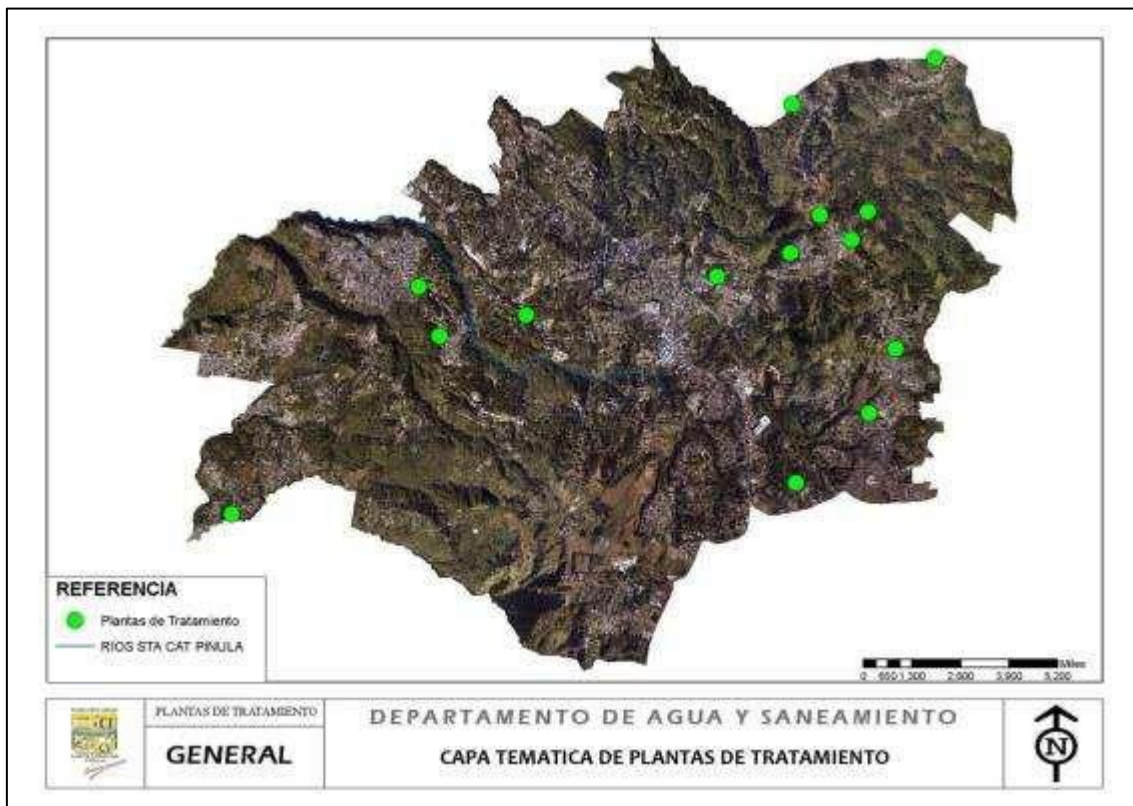


Tabla 44 Ubicación de PTAR Santa Catalina Pinula

PLANTAS DE TRATAMIENTO MUNICIPALES				
No.	UBICACIÓN	NOMBRE	TIPO DE SISTEMA	ESTATUS
1	Cabecera Municipal	El Huisital	Aerobia	Eliminada
2	Aldea El Pueblito	La Joya	Aerobia	Fuera de operación
3	Aldea El Carmen	Sector VI	Anaerobia	En Operación
4	Aldea Nueva Concepción	La Nueva	Aerobia	Eliminada
5	Aldea Puerta Parada	Los Franciscanos	Aerobia	Eliminada
6		Santo Domingo	Aerobia	Eliminada
7		Cristo Rey	Aerobia	Eliminada
8	Aldea Piedra Parada Cristo Rey	Cristo Rey (Nueva)	Anaerobia	En ejecución
9		Los Cipreses	Anaerobia	En operación
10	Aldea Piedra Parada El Rosario	El Rosario	Aerobia	En operación
11	Aldea San José El Manzano	El Manzano	Aerobia	En operación
12	Aldea Laguna Bermeja	Laguna Bermeja	Aerobia	En operación
13	Aldea El Pajón	El Riito	Aerobia	En operación
14	Aldea Don Justo	La Laguneta	Anaerobia	En ejecución

Tabla 45 Calidad del agua residual de las plantas de tratamiento en operación del municipio de Santa Catarina Pinula

PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA PLANTA DE TRATAMIENTO				SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO			
		SAN JOSÉ EL MANZANO	ROSARIO	LAGUNA BERMEJA	PROMEDIO	SAN JOSÉ EL MANZANO	ROSARIO	LAGUNA BERMEJA	PROMEDIO
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/l	130	400	240	257	70	330	30	143.3
Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	250	1200	510	653	200	690	70	320.0
Fósforo total	mg/l	7.7	15	4.6	9	5.6	11	5.8	7.5
Nitrógeno Total	mg/l	37	51	21	36	37	40	38	38.3
Sólidos en suspensión	mg/L	97	160	140	132	37	160	48	81.7
Aceites y grasas)	mg/L	13	73	38	41	5.8	56	<2	30.9
Grupo coliforme fecal	NMP/100mL	9.3E+07	4.6E+09	2.0E+08	1.6E+09	9.3E+07	2.4E+08	9.0E+05	1.1E+08
Grupo coliforme total	NMP/100mL	9.3E+07	4.6E+10	2.0E+08	1.5E+10	9.3E+07	2.4E+08	9.0E+05	1.1E+08

Análisis de la información de PTAR's operando

Basado en la reglamentación actual del AG 236-2006, modificado en el 2017 y en el 2019, se cumple con todos los límites de descarga para todos los parámetros físico-químicos para la primera fecha de cumplimiento a excepción de la PTAR El Rosario, por lo que se asume un problema operativo. Los valores promedios de remoción de las dos PTAR operativa fueron de 66% para DBO, 53% para DQO, 63% para SST y 75 % para grasas y aceites. La remoción de coliformes fecales fue ineficiente en dos PTAR, solamente la PTAR de Laguna de Bermeja cumplió con este parámetro.

La siguiente tabla muestra las PTAR fuera de operación al momento del informe del 2016.

Tabla 46 Calidad del agua residual de las plantas de tratamiento sin operación del municipio de Santa Catarina Pinula

No.	PARÁMETRO	UNIDAD	EL HUISITAL	LA JOYA	NUEVA CONCEPCIÓN	LOS FRANCISCANOS	SANTO DOMINGO	P.P. CRISTO REY	LA LAGUNETA	PROMEDIO
1	Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/l	450	260	41	560	340	570	670	413
2	Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	1000	590	830	1100	690	1100	1200	930
3	Fósforo total	mg/l	8.8	7	7.8	5.8	15	9.6	8.2	8.9
4	Nitrógeno Total	mg/l	55	52	50	53	40	60	67	53.9
5	Color	Unidades Pt-Co	940	460	630	720	500	800	100	592.9
6	Sólidos en suspensión	mg/L	390	170	320	500	380	260	350	338.6
7	Aceites y grasas	mg/L	62	43	46	86	49	36	83	57.9
8	pH	Unidades pH	6.4	6.8	6.1	6.5	6.6	6.5	7.1	6.6
9	Temperatura	°C	23	23	23	23	23	23	24	23.1
11	Grupo coliforme fecal	NMP/100mL	1.10E+10	7.50E+08	2.30E+08	9.30E+08	2.40E+08	9.30E+08	4.30E+08	2.07E+09
12	Grupo coliforme total	NMP/100mL	1.10E+10	7.50E+08	2.30E+08	9.30E+08	2.40E+08	9.30E+08	4.30E+08	2.07E+09

El análisis de cumplimiento con el AG 236-2006 y sus modificaciones muestra que de las siete plantas fuera de operación todas cumplen con el límite de fósforo y nitrógeno, y a pesar de ser aguas crudas, algunas cumplen con los límites de DBO₅, sólidos en suspensión y grasas y aceites. La excepción fueron los coliformes fecales, que no fue cumplido por ninguna de las 7 PTAR's.

Tabla 47 Cumplimiento de plantas fuera de operación con AG 236-2006

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR DE CUMPLIMIENTO 2017	No de PTAR que cumple	No de PTAR que no cumple
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/l	250	3	4
Fósforo total	mg/l	40	7	
Nitrógeno Total	mg/l	150	7	
Sólidos en suspensión	mg/L	275	2	5
Aceites y grasas	mg/L	50	4	3
pH	Unidades pH	6 a 9	7	0
Grupo coliforme fecal	NMP/100mL	< 1x10 ⁷	0	7

Lo anterior es significativo porque revela que la regulación existente es bastante generosa en cuanto a los límites de descarga, lo cual se debe a la gradualidad del Acuerdo Gubernamental que pretende aumentar la exigencia de tratamiento en tres fases, hasta el año 2032. Aun así, las Municipalidades deben de hacer la planificación estratégica poniéndose como meta el alcanzar dicho objetivo.

Las características de las aguas crudas se estimaron como el promedio de la entrada a las 14 PTAR y se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 48 Características de las Aguas Residuales Crudas de Entrada a las PTAR, Santa Catalina Pinula

Parámetro	Unidad	PROMEDIO
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	mg/l	366
Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	847
DQO/DBO		2.31
Fósforo total	mg/l	9
Nitrógeno Total	mg/l	49
Sólidos en suspensión	mg/L	277
Aceites y grasas	mg/L	53
pH	Unidades pH	6.6
Temperatura	°C	23
Grupo coliforme fecal	NMP/100mL	1.9E+09
Grupo coliforme total	NMP/100mL	6.1E+09

Los datos muestran que las aguas residuales se clasifican de contextura media a alta⁶⁴.

La Carga de DBO descargada por las PTAR's se exhibe en la siguiente tabla. La carga total promedio es de 782 Kg de DBO/día para un caudal total de 36.02 lps

Tabla 49 Carga de Demanda Bioquímica de Oxígenos en desfogue de las plantas de tratamiento municipales

No.	Sitio Muestreado	Ubicación	DBO mg/l O2	Caudal l/s	Carga Demanda Bioquímica de Oxígeno kg/día
1	Planta de tratamiento	El Huisital	450	3.90	151.63
2	Planta de tratamiento	La Joya	260	4.10	92.10
3	Planta de tratamiento	Nueva Concepción	41	13.14	46.54
4	Planta de tratamiento	Los Franciscanos	560	2.50	120.96
5	Planta de tratamiento	Santo Domingo	340	6.70	196.81
6	Planta de tratamiento	P.P. Cristo Rey	570	2.70	132.96
7	Planta de tratamiento	La Laguneta	670	0.52	30.10
8	Planta de tratamiento	San José El Manzano	70	0.33	1.99
9	Planta de tratamiento	P.P. El Rosario	330	0.13	3.70
10	Planta de tratamiento	Laguna Bermeja	30	2-0	5.18
TOTAL					781.97

⁶⁴ Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery McGraw Hill, 5th Ed., 2014

En el año 2018, la Municipalidad estaba finalizando las gestiones para la aprobación del diseño de 6 plantas de tratamiento a ubicarse en el Sector La Frontera y La Joya de la Aldea el Pajón, Aldea La Salvadora II, Aldea El Carmen, Zona 2 de Cabecera Municipal y Aldea Piedra Parada.

Información de AMSA revela que el municipio hay 122 entes generadores que incluye industrias, comercios y edificios públicos o religiosos.

11.2 Municipalidad de San Miguel Petapa

San Miguel Petapa es un Municipio con 145,861 habitantes⁶⁵ posee una aldea, 5 caseríos, 28 colonias 8 condominios, 28 residenciales, 5 parajes y 15 granjas, fincas y cerros.

El 83.02 % de las viviendas⁶⁶ tiene acceso redes de drenaje, un 7.10 % tiene fosas sépticas o sumideros y el resto (9.88) descarga en letrinas o pozos ciegos.

La red de alcantarillado sanitario solo se sirve a un 40% de la población⁶⁷. No hay red pluvial, pero hay conexiones que hacen que en época de lluvias funcionen como combinados (pero con capacidad solo de residuales). Las aguas de lluvias mayoritariamente drenan superficialmente por las vías.

No se tiene datos completos de la longitud de redes y solo hasta el 2015, se empezó a exigir a los constructores que entreguen planos de los sistemas construidos. Las reparaciones por fugas de agua potable se solucionan de inmediato, pero si es en alcantarillado puede ser demorado dependiendo del tipo de arreglo.

San Miguel Petapa recibe los desagües tanto de Villa Nueva (por el río Platanitos), y de la ciudad de Guatemala por el río Villalobos. No existe coordinación sobre el manejo del drenaje a nivel regional y no solo se desconoce las actuaciones de los otros municipios, sino también de las entidades que han realizado proyectos en esta cuenca, como AMSA.

Según el Estudio Técnico elaborado como requisito para cumplir con el AG 238-2006, la municipalidad de San Miguel Petapa se cataloga como un ente generador de aguas residuales de tipo ordinario, puesto que las descargas de aguas residuales hacia las redes de alcantarillado público son originarias de las viviendas de los residentes del municipio en sus distintos lugares poblados.

La Municipalidad opera una planta de tratamiento de aguas residuales intervenida, cuyo afluente es originario de los Residenciales Fuentes del Valle 1 y Altos de Fuentes 1, 2 y 3 con descarga en el río Villalobos. Esta planta tiene una eficiencia de remoción de DBO de 28.89%, registrando valores del afluente de 222.23 mg/L DBO5 y a su salida 158 mg/ L DBO5.

Dentro del municipio de San Miguel Petapa se han determinado 33 descargas de aguas residuales, de las cuales tan solo una cuenta con un tratamiento por intervención municipal, 3 con tratamiento deficiente por entidades privadas considerados como un plan de monitoreo de calidad de agua y las restantes 29 son descargas que no cuentan con tratamiento alguno, no cuentan con dispositivos de descarga adecuados y vierten sus aguas directamente a los cuerpos receptores que atraviesan el territorio municipal, siendo estos el río Pínula, río Villa Lobos y río Platanitos, que convergen en un mismo punto ubicado en cercanías del poblado Santa Inés Petapa, para descargar hacia el lago de Amatitlán

⁶⁵ Proyecciones de Población INE

⁶⁶ Censos 2018 INE

⁶⁷ Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala.

Se realizó la caracterización de efluentes por medio de análisis fisicoquímico, bacteriológico y determinación de metales pesados. A 7 de estas descargas se les realizó el análisis de metales pesados por su proximidad a zonas industriales y/o incidencia por estar en límites municipales. El resultado mostró que a excepción de zinc y níquel no se detectaron concentraciones más allá del límite de detectabilidad. La concentración de níquel máxima fue de 0.25 mg/l y la concentración máxima de zinc fue de 0.23 mg/l.

Las descargas de aguas residuales identificadas con la caracterización se presentan a continuación⁶⁸:

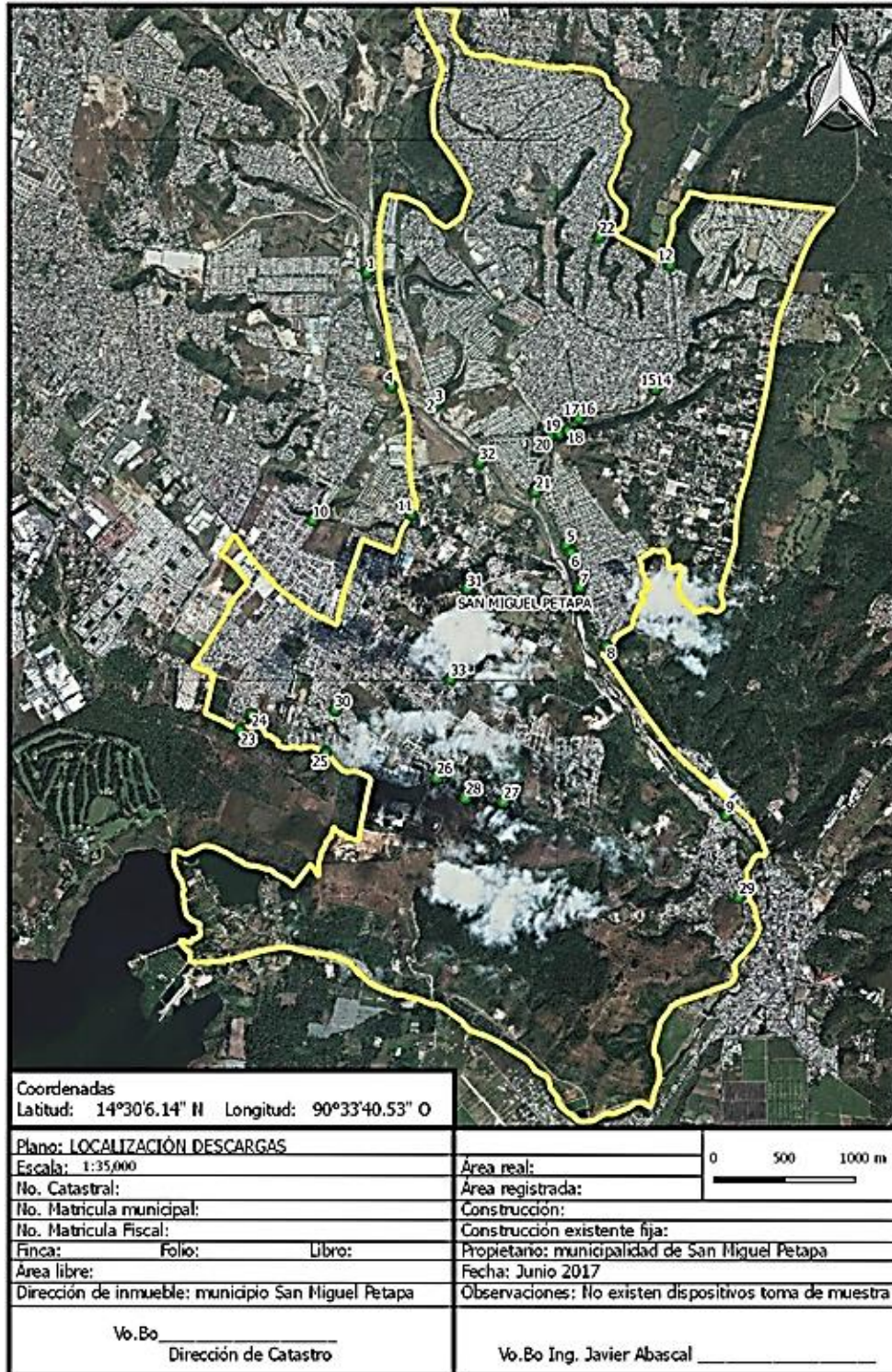
Tabla 50 Caracterización de descargas de aguas residuales a cuerpos de agua, San Miguel Petapa

ID	Descarga	Población	Caudal (lps)	Dotación (LPPD)	GyA (mg/l)	DBO (mg/l)	SST (mg/l)	Ntotal (mg/l)	Ptotal (mg/l)	Coli fecales (NMP/100 ml)	DQO (mg/l)	DBO / DQO
1	Descarga Fuentes del Valle (PTAR)		3.8		27	223	86	67	7.8	3.50E+07	535	2.40
2	Descarga Comunidad La Paz	2125	18.8	764	5	17	10	4.2	0.44	2.40E+04	27	1.59
3	Descarga Paseo de Las Fuentes		4		14	216	162	67	7.55	2.40E+07	380	1.76
4	Descarga Quinel Villa Nueva		55.1		26	323	280	96	10.6	2.40E+07	517	1.60
5	Descarga PTAR Cañadas del Rio		3.55		27	195	128	53	7.05	9.20E+06	488	2.50
6	Descarga Quinel Ribera del Rio		1.07		26	547	90	35	4.6	2.40E+06	875	1.60
7	Descarga PTAR 2 Ribera del Rio		2.09		13	144	86	53	5.95	5.40E+06	233	1.62
8	Descarga PTAR 1 Ribera del Rio		2.21		5	74	52	27	3.45	2.40E+05	186	2.51
9	Descarga Portales de Santa Inés 1 y 2	1600	0.41	22	13	270	102	72	7.9	3.50E+07	478	1.77
10	Descarga San Antonio	3060	2.61	74	25	672	268	36	6.7	5.40E+05	1075	1.60
11	Descarga Bifurcación VN y SMP en Gerona	2700	6.55	210	15	435	152	56	7.5	5.40E+08	714	1.64
12	Descarga Alamedas de Villa Flores		9.56		18	240	174	72	8.05	5.40E+06	404	1.68
13	Descarga desconocida procedencia		2.74		5	168	268	40	4.9	9.20E+05	255	1.52
14	Descarga Villa Hermosa 1 sector 2	2385	13.4	485	44	450	296	96	13.4	2.40E+06	678	1.51
15	Descarga Villa Hermosa 1 sector 4	5640	23.43	359	18	314	146	67	9.85	9.20E+06	503	1.60
16	Descarga Villa Hermosa 2 sector 2 (tercera)	8550	20.9	211	5	296	262	45	6.6	2.40E+07	473	1.60
17	Descarga Villa Hermosa 1 y 2 Quinel El Dinosaurio	16275	132.79	705	30	265	510	72	10	2.40E+07	424	1.60
18	Descarga Villa Hermosa 2 sector 2 (segunda)	3495	8	198	32	231	210	42	6.1	1.30E+06	370	1.60
19	Descarga Villa Hermosa 2 sector 2	6715	20.5	264	27	459	242	71	12	3.50E+06	735	1.60
20	Descarga Villa Hermosa 2 sector 1	7475	9.24	107	14	274	235	95	12.2	2.40E+07	439	1.60
21	Descarga Jardines de La Mansión		6.26		23	330	246	51	8.55	2.40E+07	600	1.82
22	Descarga inicio Quinel el Dinosaurio sector 6 Villa Hermosa 1	16275	132.79	705	5	360	226	45	8	3.50E+07	508	1.41
23	Descarga Valles de María		0.42		8	300	170	75	8.9	1.10E+07	578	1.93
24	Descarga PTAR Las Margaritas	2565	5.65	190	69	360	168	63	8.8	9.20E+07	621	1.73
25	Descarga Los Arcos		2.27		5	270	175	56	6.4	3.50E+07	453	1.68
26	Descarga Quinel-Cementerio	5460	9.24	146	34	405	174	59	78	2.20E+07	606	1.50
27	Descarga La Arenera 3ra calle z3	570	0.21	32	77	960	305	25	6.9	2.40E+06	1660	1.73
28	Descarga Quebradas de San Miguel	2015	2.74	117	43	315	400	65	8.2	5.40E+06	633	2.01
29	Descarga Santa Inés Petapa	1420	0.25	15	27	330	218	55	7.5	9.20E+07	600	1.82
30	Descarga Quinel Finca Guillen	500	0.01	2	11	102	422	30	3.7	4.60E+06	174	1.71
31	Descarga Brisas Gerona	600	0.72	104	20	229	462	46	7.85	3.50E+06	367	1.60
32	Descarga Dique Gerona	2300	5.87	221	26	300	283	52	8.95	1.30E+07	547	1.82
33	Descarga final calle del estadio	2360	0.01		54	2250	6510	80	45	9.20E+05	3600	1.60
	Total	94085	503.39									
	Promedio			380	24	315	219	56	10	3.37E+07	628	1.7

La siguiente Ilustración, exhibe gráficamente los puntos de las descargas.

⁶⁸ Estudio Técnico San Miguel Petapa, 2017

Ilustración 81 Puntos de descarga San Miguel Petapa



Las características de las aguas crudas se clasifican como el promedio de las 33 descargas y se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 51 Características de las Aguas Residuales San Miguel Petapa

PARÁMETRO	UNIDAD	PROMEDIO
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	mg/l	315
Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	628
DQO/DBO	mg/l	2.0
Fósforo total	mg/l	10
Nitrógeno Total	mg/L	56
Sólidos en suspensión	mg/L	219
Aceites y grasas	mg/L	24
Grupo coliforme fecal	NMP/100mL	3.4E+07

Los datos muestran que las aguas residuales se clasifican de contextura media a alta⁶⁹.

La Municipalidad propone en el Informe Técnico la planificación de 8 plantas de tratamiento ubicados en La Paz, Santa Inés, San Antonio, Villa Hermosa, Las Margaritas, Petapa Bajo, Dique Gerona, Santa Inés Petapa y Finca Guillén.

Información de AMSA revela que el municipio hay 104 entes generadores que incluye 57 industrias, y el resto entre comercios y edificios públicos o religiosos.

11.3 Villa Canales

Según los datos del CENSO 2018, el 36.3 % de las viviendas tiene acceso redes de drenaje, un 16.32 % tiene fosas sépticas o sumideros y el 47.38 descarga en letrinas o pozos ciegos. Villa Canales cuenta con 2 poblados (Villa Canales y Aldea Boca del Monte), 13 aldeas, 10 caseríos y 150 fincas.

El sistema de saneamiento de Villa Canales consiste de tres sistemas de alcantarillados sanitarios para igual número de centros poblados.

Estos cuentan con dos plantas de tratamiento con filtros percoladores y una con sistema de lodos activados convencionales, brindándole tratamiento primario y secundario de tipo biológico. Posteriormente son descargadas a cuerpos receptores según las características topográficas de cada uno de los lugares poblados.

⁶⁹ Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery McGraw Hill, 5th Ed., 2014

Tabla 52 Características del Afluente PTAR's de Villa Canales, 2017

Parámetro	Unidad	Promedio Finca San Agustín	Santa Elena Barillas	Promedio
Tipo		Lagunas y Biofiltro	Filtros Percoladores	
Descarga		Río Las Minas	Zanjón Santa Elena	
Caudal	lps	88.22	191.74	279.96
GyA	mg/l	30.40		30.40
SST	mg/l	330.00	400	365.00
Ntotal	mg/l	46.00	72	59.00
Ptotal	mg/l	4.83	12	8.41
DBO5	mg/l	579.50	530	554.75
DQO	mg/l	876.00	1100	988.00
DBO /DQO		1.65	2.08	1.86
Coli fecales		1.60E+07		1.60E+07

En los años 2019 y 2020, AMSA tomó muestras de los afluentes en ambas plantas, estos datos se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 53 Caracterización afluente PTAR's Villa Canales, 2019 y 2020

Nombre de Planta de Tratamiento	San Agustín	San Agustín	Santa Elena Barrilas	Santa Elena Barrilas	Promedio
Fecha	22/5/2019	22/6/2020	22/5/2019	22/6/2020	
Nitrógeno total (mg/L)	39.2383	72.8452	66.0036	74.7110	63.20
Fósforo Total (mg/L)	4.8787	10.0650	12.1563	11.0111	9.53
DBO (mg/L)	90	550	700	650	497.50
DQO (mg/L)	243	1156	1029	1322	937.50
DQO/DBO					1.88
Coliformes fecales NMP/100mL	8.10E+04	1.10E+06	1.60E+08	2.30E+06	4.09E+07
Arsénico (mg/L)	0.0282	0.0109	0.0292	0.0117	
Cadmio (mg/L)	ND	0.0007	ND	0.0007	
Cianuro (mg/L)	0.006	ND	0.007	ND	
Cobre (mg/L)	ND	ND	ND	ND	
Cromo Hexavalente (mg/L)	ND	ND	ND	ND	
Mercurio (mg/L)	ND	ND	0.002	ND	

Nombre de Planta de Tratamiento	San Agustín	San Agustín	Santa Elena Barrilas	Santa Elena Barrilas	Promedio
Níquel (mg/L)	ND	ND	ND	ND	
Plomo (mg/L)	ND	0.029	ND	0.0249	
Zinc (mg/L)	0.0139	ND	0.2485	ND	

Fuente: AMSA, 2020

De los datos medidos tomando los promedios se obtiene la caracterización de las aguas crudas.

Tabla 54 Características de las aguas residuales crudas, Villa Canales

Parámetro	Año 2017	Años 2019-2020	Promedio
GyA	30.40		30.40
SST	365.00		365.00
Ntotal	59.00	63.20	61.10
Ptotal	8.41	9.53	8.97
DBO5	555	498	526
DQO	988	938	963
DBO /DQO	1.86	1.88	1.87
Coli fecales	1.60E+07	4.09E+07	2.84E+07

Las aguas residuales de Villa Canales son de contextura bastante fuerte, significante que los valores de DBO y DQO tienen carga industrial del tipo de procesamiento de alimentos o agroindustrial. Esto se confirmó con otros puntos muestreados en el año 2017.

El informe técnico⁷⁰ de aguas residuales identificó, además de las descargas de las tres PTAR, 14 puntos no controlados. En la siguiente Tabla se muestran los 14 puntos

Tabla 55 Características de los desfuegos no controlados identificados, Villa Canales

	Puntos No controlados	Usuarios Alcant. Sanit.	Caudal (lps)	Generación (LPPD)	Usuarios sin AS
1	Chimichemecas	2977	2.50	72.56	3555
2	Monja Blanca	1977	0.75	32.78	910
3	Caserío Rustrán	1395	2.08	129.03	895
4	Los Dolores	3060	2.08	58.82	2315
5	El Jocotillo	10465	7.00	57.79	8215
6	Los Llanos	1450	2.42	144.00	940
7	Par. San Rafael	2905	2.50	74.35	3005
8	Colmenas	2540	2.50	85.04	

⁷⁰ Estudio Técnico aguas Residuales, Municipio Villa Canales, 2015

	Puntos No controlados	Usuarios Alcant. Sanit.	Caudal (lps)	Generación (LPPD)	Usuarios sin AS
9	el Porvenir	16800	6.67	34.29	
10	Los Positos	3306	2.08	54.45	2360
11	Cumbre San Nicolás	1867	2.08	96.41	1330
12	El Durazno	1637	0.67	35.19	1150
13	El Zapote	2017	1.42	60.68	2255
14	San Cristóbal				1375
	Total	52,396	34.75	71.95	28,305

Información de AMSA revela que el municipio hay 159 entes generadores que incluye 21 industrias, y el resto entre comercios y edificios públicos o religiosos.

Aunque no hay sistema de alcantarillado pluvial, cuando llueve es evidente la falta del sistema porque las vías se vuelven canales de drenaje, con algunos problemas de inundaciones.

La oficina de servicios públicos municipales no tiene conocimiento del funcionamiento del colector hacia la Planta de La Serra construido por AMSA.

Una de las limitaciones para la operación y planeación de la infraestructura de servicio es la no existencia de cartografía del sistema de abastecimiento, ni de redes⁷¹. Lo anterior implica la necesidad de adelantar el catastro tanto de usuarios como el de redes.

11.4 Amatitlán

Según datos del censo municipal realizado en el año 2018, y las proyecciones realizadas por INE Amatitlán cuenta con una población aproximada de 148,330 habitantes, el 68.25 % de las viviendas tiene acceso redes de drenaje, un 8.75 % tiene fosas sépticas o sumideros y el 23 descarga en letrinas o pozos ciegos.

Según información del Departamento de Obras y Drenajes de la municipalidad de Amatitlán a la fecha de elaboración del Estudio Técnico⁷² en el año 2016, se encuentran 14,712 drenajes domiciliarios instalados. En el área urbana los drenajes se encuentran canalizados y distribuidos por un alcantarillado que drena hacia el río Michatoya, el cual no es parte de la cuenca del Lago Amatitlán.

El municipio de Amatitlán tiene en funcionamiento 2 plantas de tratamiento de aguas residuales que se están manejando de forma privada, uno de la colonia La Mariposa y la segunda en la colonia San Jorge. La Municipalidad no está administrando ninguna planta de tratamiento.

Caracterización de Aguas Residuales

⁷¹ Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala, Triana, 2014

⁷² Estudio Técnico de Aguas Residuales del Municipio de Amatitlán, Dic. 2016

Para la caracterización de las aguas residuales del municipio de Amatitlán, Guatemala se han obtenido 10 muestras de aguas residuales en diferentes puntos del municipio, los cuales fueron previamente identificados por personeros de la municipalidad de dicho municipio.

Ilustración 82 Ubicación de desfogues seleccionados para caracterización de las aguas residuales



Calidad del Agua de las descargas de aguas residuales del municipio de Amatitlán, Guatemala

Tabla 56 Caracterización de desfogues sin control.

Análisis	DBO5	DQO	DQO/DBO	Grasas y Aceites	Ptotal	Nitrógeno Total	SST	Coliformes Fecales
Dimensional	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100mL
Colonia Lolita 4ta calle A	216	376	1.7	28	6.5	7.7	56	2.40E+07
Colonia Lolita 5ta. Calle	300	581	1.9	55	8	20.2	76	2.40E+07
Colonia Villas del Rosario Puente mercado 1	340	604	1.8	9	7.5	15	68	2.40E+07
Colonia Villas del Rosario Puente mercado 2	450	767	1.7	71	10	16	162	9.20E+06
Antiguo Edificio Amates 9na Calle Final 1	480	860	1.8	47	6.9	20.6	68	2.40E+07
Antiguo Edificio Amates 9na Calle Final 2	144	279	1.9	9	5.3	16.5	36	9.20E+06
Puente la Unión (Tubo) Cantón Ingenio	320	531	1.7	45	5.9	25	70	2.40E+07
Puente la Unión Azul	74	130	1.8	<5	4.8	30.6	14	3.50E+06
Colonia Loma El Pito	300	510	1.7	35	5.7	31.2	44	9.20E+06
Residenciales La Mariposa y Altos de la Cruz	240	424	1.8	24	7.8	27.9	42	3.50E+07
Promedio	286	506	1.78	36	6.8	21.1	63.6	1.86E+07

Estos valores clasifican a estas aguas residuales como del tipo normal de contextura media sin mucha influencia industrial.

Al análisis de metales pesados mostró que los parámetros de cianuro, cadmio, cobre, mercurio y níquel estuvieron para todos los casos bajo el límite de detección, la siguiente tabla muestra el resto de los parámetros.

Tabla 57 Metales pesados detectables en muestras de puntos de descarga

Análisis Dimensional	Arsénico	Cromo (VI)	Plomo	Zinc
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Colonia Lolita 4ta calle A	0.011	0.05	0.116	0.173
Colonia Lolita 5ta. Calle	0.015	0.05	0.129	0.27
Colonia Villas del Rosario Puente mercado 1	0.574	0.06	0.136	0.304
Colonia Villas del Rosario Puente mercado 2	0.347	0.08	0.108	0.202
Antiguo Edificio Amates 9na Calle Final 1	0.222	0.05	0.133	0.282
Antiguo Edificio Amates 9na Calle Final 2	0.059	0.03	0.113	<0.095
Puente la Unión (Tubo) Cantón Ingenio	0.023	0.06	0.104	0.249
Puente la Unión Azul	0.0093	0.04	0.098	<0.095
Colonia Loma El Pito	0.012	0.04	0.105	0.21
Residenciales La Mariposa y Altos de la Cruz	0.023	0.05	0.111	0.156
Promedio	0.12953	0.051	0.1153	0.1846

A excepción del arsénico (> 0.1 mg/l), el cromo, plomo y zinc están dentro del rango de los límites de descarga.

La carga orgánica de los diez desfogues aludidos es de 8,369 Kg/día.

Tabla 58 Carga de DBO5

Puntos de Descarga	DBO5	Caudales	Carga diaria
	mg/L O2	L/s	Kg/día
Colonia Lolita 4ta calle A	216	66.48	1241
Colonia Lolita 5ta calle	300	22.8	591
Colonia Villas del Rosario Puente Mercado 1	340	29.14	856
Colonia Villas del Rosario Puente Mercado 2	450	0.13	5.1
Antiguo Edificio Amates 9na Calle Final 1	480	12.937	537
Antiguo Edificio Amates 9na Calle Final 2	144	2.78	35
Puente La Unión, (Tubo) Cantón Ingenio	320	54.791	1515
Puente La Unión Azul	74	132.43	847
Colonia Loma El Pito	300	104.17	2700
Residenciales La Mariposa y Altos de la Cruz	240	2.08	43
TOTAL	286	427.7	8369

Información de AMSA revela que el municipio hay 21 entes generadores que incluye principalmente comercio e instituciones públicas, hospitales, centros recreativos y similares.

Respecto al alcantarillado sanitario, una parte es combinado y otra separada⁷³. El sistema combinado en época de invierno colapsa, especialmente en la parte baja del municipio. Son muy pocas las áreas que ya tiene separado el sistema de alcantarillado. Algunas colonias ya tienen alcantarillado separado.

En alcantarillado no hay planos, excepto para algunos tramos nuevos. Sin embargo, se ha creado una oficina de catastro para que actualice los planos.

Los programas de rehabilitación o renovación se hacen como resultado de los reclamos, o cambio de carpeta asfáltica, pero no hay programas planeados previamente.

11.5 Villa Nueva

Según datos del censo municipal realizado en el año 2018, y las proyecciones realizadas por INE Villa Nueva cuenta con una población aproximada de 466,922 habitantes, el 75.51 % de las viviendas tiene acceso redes de drenaje, un 14.4 % tiene fosas sépticas o sumideros y el 10.8 descarga en letrinas o pozos ciegos.

El Municipio de Villa Nueva cuenta con un sistema complejo de plantas de tratamiento y desfuegos sin control debido al excesivo número de los mismos y la variedad de operadores de los sistemas.

Durante la preparación del Informe Técnico, el Municipio contaba con 76 plantas de tratamiento para una capacidad total de 423.5 lps y una población contribuyente estimada en aproximadamente 294,000 habitantes.

El 55 % de los sistemas de tratamiento, operaban en buen estado, 14.5 % regular y 30% en condiciones malas.

Tabla 59 Plantas de tratamiento Municipio de Villa Nueva

Tipo	No sistemas	Caudal (lps)	Población	Estado		
				Bueno	Malo	Regular
Lodos Activados	19	106	77835	16	2	1
RAFA	12	58	41080	5	6	3
Filtros Percoladores	5	69	49925	3	2	0
RAFA + FP	14	79	44840	8	1	3
Fosas Sépticas	21	47	33765	9	10	2
Primario	4	15	9975	1	2	1
Lagunas	1	50	36000	0	0	1
Total	76	423.49	293420	42	23	11

El estimado de la capacidad de tratamiento según el tipo de operador se presenta a continuación.

⁷³ Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala, Triana, 2014

Tabla 60 Cobertura por tipo de operador

OPERADOR	POBLACION	COBERTURA
Municipalidad	88,030	18.8%
Entidades Estatales	99,595	20.5 %
Sector Privado	109,115	23.4%
TOTAL	296,740	62.7%

* La población base actualizada al 2020 es 466,922

Durante el estudio se identificaron al menos 193 desfogues a zanjones, quebradas y ríos y al menos 89 desfogues a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, para un total de 282 desfogues. Ver siguientes tablas con ubicación de las descargas.

Tabla 61 Inventario de Desfogues a Zanjones y fosas, Villa Nueva

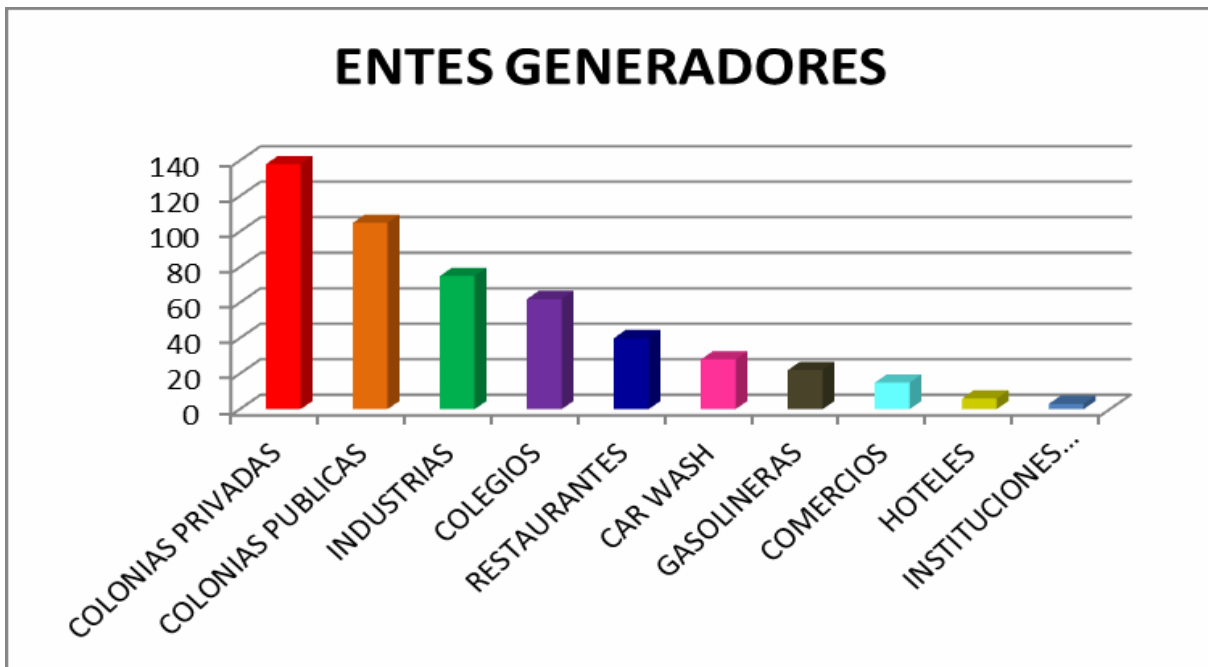
Zanjón Río Villalobos	7
Zanjón Marianita	15
Zanjón Monte María	56
Zanjón Río Platanitos	24
Zanjón Eterna Primavera	3
Zanjón el Zacatal	22
Zanjón Linda Vista	1
Zanjón Alioto	16
Zanjón La Palin	7
Zanjón Río San Lucas	16
Campo de infiltración	16
Fosas Gran Mirador	3
Zanjón Santa Isabel I	1
Fosa Jerusalén	2
Fosa La Esperanza	1
Fosa Ulises Roja	2
Fosa Villas del Amanecer II	1
Sub total	193

Tabla 62 Ubicación de desfogues a 8 PTAR's, Villa Nueva

PTAR Alamedas de San Miguel	1
PTAR El Frutal	39
PTAR ENCA	3
PTAR Mezquinal	1
PTAR Paraíso del Frutal	5
PTAR Peronia	5
PTAR San José	32
PTAR Villa lobos I	3
Sub total	89

El municipio cuenta con más de 400 entes generadores⁷⁴ con aproximadamente 70 industrias, 32 restaurantes y 14 gasolineras

Ilustración 83 Entes generadores, Municipio de Villa Nueva



La caracterización de las aguas residuales se estimó con un muestreo basado en dos grupos clasificados como grupos controlados, constituido por las plantas de tratamiento de aguas residuales y grupos no controlados.

Tabla 63 Caracterización del Afluente en Grupos controlados

PUNTO	CAUDAL	GRASAS Y ACEITES	DBO5	SOLIDOS SUSPENDIDOS	NITROGENO TOTAL	FOSFORO TOTAL	COLIFORMES FECALES
PTAR SAN JOSE	24	67	660	220	63	8.92	1.60E+07
PTAR ENCA	8.47	97	1020	540	75	8.6	1.60E+07
PTAR PERONIA	2.82	74	1360	567	64.1	16.96	3.50E+08
PTAR VILLALOBOS I	3.84	< 5	78	32	29.4	5.36	1.70E+07
PTAR PARAISO DEL FRUTAL	8.36	52	444	184	4.07	12.28	9.20E+06
PTAR EL FRUTAL	79	33.8	390	280	40.1	16.08	5.40E+07
PTAR MEZQUITAL	2.72	52	410	138	19.4	5.72	1.30E+07
PTAR ALAMEDAS SAN MIGUEL	6.56	< 5	68	28	32.3	6.16	1.60E+07
FOSA VILLAS AMANECER II	1.18	54	360	122	33.2	6.72	5.40E+07
FOSA GRAN MIRADOR	2.1	109	1540	508	54.1	15.76	3.50E+07
FOSA JERUSALEM	0.14	75	390	297	28.2	7.44	9.20E+07

⁷⁴ Estudio Técnico, AG 236-2006, Municipalidad de Villanueva, Jun. 2017

PUNTO	CAUDAL	GRASAS Y ACEITES	DBO5	SOLIDOS SUSPENDIDOS	NITROGENO TOTAL	FOSFORO TOTAL	COLIFORMES FECALES
FOSA LA ESPERANZA	0.23	32	510	186	130	20.08	2.40E+06
FOSA ULISES ROJAS	0.73	32	480	118	44	8.12	2.40E+07
Promedio	11	61	569	250	55	13	5.37E+07
Total	140						

Tabla 64 Caracterización del Afluente en Grupos no controlados

PUNTO	CAUDAL	DBO5	SOLIDOS SUSPENDIDOS	GRASAS Y ACEITES	NITROGENO TOTAL	FOSFORO TOTAL	COLIFORMES FECALES
PERONIA (DES. SAN LUCAS)	5.24	66	110	9	28.5	5.64	1.60E+07
EL ARENAL (ZANJON SIN NOMBRE)	244.3	390	172	11	30.6	4.88	2.40E+07
LA MORA (ZANJON EL ZARZAL)	57.21	330	300	21	46.6	7.64	3.50E+07
VILLALOBOS NORTE (DES. SAN	121.37	156	622	10	9.3	5.68	5.40E+06
DESFOGUE QUINEL MARIANITA	6.88	330	162	21	18.3	4.96	3.10E+06
DESFOGUE COVITIGSS	0.08	320	170	27	29.2	7.12	3.50E+07
DESFOGUE NUEVA ESPERANZA	0.28	800	340	72	35.5	10.84	2.40E+07
DESFOGUE TERRAZAS	1.61	485	222	45	44.5	10.4	3.50E+07
DESFOGUE UNIDOS 8 DE MARZO	0.5	390	254	50	22.3	3.88	5.40E+06
DESFOGUE LINDA VISTA	0.37	700	329	17	15.6	4.32	4.90E+05
DESFOGUE QUINEL LINDA V	0.09	525	746	23	20	4	1.10E+08
DESFOGUE EL ZARZAL	1.51	420	218	60	39.5	7.52	7.90E+06
DESFOGUE QUINEL METRO	0.43	156	64	8	24.9	4.64	1.70E+07
DESFOGUE LOMA REAL	9.7	330	136	25	22	5.12	2.40E+07
DESFOGUE ETERNA PRIMAVERA	0.29	330	260	28	24.1	4.92	9.20E+06
DESFOGUE ALIOTO	2.56	390	156	37	30.4	7.4	1.60E+07
DESFOGUE SANTA ISABEL I	0.06	390	182	21	21.8	5.2	5.40E+06
DESFOGUE QUINEL BARCENAS	14.68	440	94	48	37	4.4	9.20E+05
DESFOGUE TERMIBUS	0.15	480	340	22	19	6	5.40E+05
DESFOGUE SAN MIGUEL	0.08	510	358	42	42	6.72	3.50E+06
DESFOGUE SECTOR 1 LOMA REAL	1.22	320	284	29	22.9	3	9.20E+06
DESFOGUE SECTOR 2 LOMA REAL	1.2	540	170	33	20	5.84	3.50E+07
DESFOGUE QUINEL BUCARO	16.6	720	500	19	48.5	10.8	5.40E+07
DESFOGUE PRADOS MONTE MARIA	9.5	320	212	42	13	7.2	5.40E+07
DESFOGUE MONTE MARIA	17.06	1600	282	13	29.3	5.8	1.60E+06
DESFOGUE CASTAÑAZ	0.66	450	270	48	7.8	7.48	2.40E+07
Promedio	20	457	267	30	27	6.2	2.14E+07

PUNTO	CAUDAL	DBO5	SOLIDOS SUSPENDIDOS	GRASAS Y ACEITES	NITROGENO TOTAL	FOSFORO TOTAL	COLIFORMES FECALES
Total	513.63						

Tabla 65 Caracterización de aguas residuales Villa Nueva

Parámetro	Unidad	Grupos Controlados	Grupos no controlados	Promedio
DBO5	mg/l	569	267	418.00
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	250	457	353.44
GRASAS Y ACEITES	mg/l	60.65	30.04	45.34
NITROGENO TOTAL	mg/l	54.8	27.0	40.90
FOSFORO TOTAL	mg/l	12.7	6.2	9.47
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	5.37E+07	2.14E+07	3.76E+07

La siguiente tabla se preparó con los datos de monitoreo de AMSA en 5 plantas de tratamiento con el objetivo de comparar con los datos del 2017 y evaluar la eficiencia de las plantas.

Tabla 66 Monitoreo AMSA de 5 PTAR en Villa Nueva, 2019 - 2020

Nombre de Planta de Tratamiento	Sitio (afluente o efluente)	Fecha	Caudal (L/s)	Nitrógeno total (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Coliformes fecales NMP/100ml	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
Guadalupe III	PTAR (Entrada)	24/4/2019	3.5	42.5	9.1	1.40E+07	1254	580
Guadalupe III	PTAR (Salida)	24/4/2019	3.5	30.4	6.9	5.40E+07	337	210
Eficiencia				28.6	24.7		73	64
Mercado Nuevo	PTAR (Afluente)	27/4/2020	NR	196.6	12.3	1.70E+07	1094	700
Mercado Nuevo	PTAR (Efluente)	27/4/2020	NR	9.0	4.2	2.00E+02	66	6
Eficiencia				95	66	100	94	99
San Jose	PTAR (Afluente)	27/4/2020	NR	80.6	10.4	1.30E+07	1368	800
San Jose	PTAR (Efluente)	27/4/2020	NR	59.4	5.7		287	75
Eficiencia				26	45		79	91
San Luis	PTAR (Afluente)	16/6/2020	NR	72.3	13.8	2.20E+06	1350	1100
San Luis	PTAR (Efluente)	16/6/2020	NR	74.2	9.8	7.00E+06	377	30
Eficiencia				-	3	29	72	97
Paraiso del Frutal	PTAR (Afluente)	16/6/2020	NR	113.4	17.0	4.90E+06	1452	1050
Paraiso del Frutal	PTAR (Efluente)	16/6/2020	NR	67.7	11.5	2.40E+07	793	540
Eficiencia				40	32		45	49
Promedio afluente				101.1	12.5	1.02E+07	1303.6	846.0
Promedio efluente				48.1	7.6	2.13E+07	372.0	172.2

Los resultados muestran que las concentraciones de BOD₅ y DQO son excesivamente altas clasificando a las aguas como de contextura bastante fuerte. Las remociones promedias para las 5 plantas fueron las siguientes: DBO: 71.5%, DQO: 80%, Ntotal: 52% y Ptotal: 39%. A pesar de la alta remoción de DBO₅, no se cumple con los límites de la regulación para dos plantas de tratamiento.

Comparado con los datos medidos en el 2017, se nota un aumentó en las concentraciones orgánicas.

Respecto al sistema de alcantarillado es sanitario y no tiene cobertura para captar todos los sistemas existentes en algunas áreas. Sistemas de interceptores hacia los cauces de la cuenca no existen por lo que el drenaje es sobre cauces o vallados naturales.

11.6 Mixco

Según datos del censo municipal realizado en el año 2018, y las proyecciones realizadas por INE Mixco cuenta con una población aproximada de 496,992 habitantes, que lo hace el segundo municipio más poblado de la MGCS, el 90.62 % de las viviendas tiene acceso redes de drenaje, un 4.16 % tiene fosas sépticas o sumideros y el 5,23% descarga en letrinas o pozos ciegos.

En el municipio de Mixco existen 4 plantas municipales de las cuales dos de ellas son de tipo anaeróbico compuesta principalmente por tanques Imhoff, también existen dos plantas aeróbicas de Lodos Activados.

En el área que corresponde a la municipalidad de Mixco también se cuenta con plantas de tratamientos privadas, sin embargo, el Estudio Técnico⁷⁵ de aguas residuales elaborado en el 2017 informa que la municipalidad actualmente no cuenta con un inventario de todas las plantas privadas construidas por industrias y empresas privadas.

Por lo que en la siguiente Tabla se mencionan, además de las PTAR municipales tres PTAR con operación privada.

Tabla 67 Eficiencia de Plantas de Tratamiento muestreadas

Planta de Tratamiento	Alvarado	La Libertad	Nueva Vista	Doraldina	Carolingia	Villa Sevilla	Berlin	Remoción Promedio
Responsable	Mun. Mixco	Mun. Mixco	Mun. Mixco	Mun. Mixco	Coop. Carolingia	SASCIM	SASCIM	
Caudal (lps)	3.79	0.65	3.79	0.42	4.42	6.87	1.08	
Descarga	Río Mariscal	Río Mariscal	Río Pansalic	Río Pansalic	Río Zapote-Las Vacas	Río Villalobos	Río Molino	
DBO Entrada (mg/l)	150	370	340	550	550	220	460	377
DBO Salida (mg/l)	30	210	220	370	550	30	320	247
% remoción	80	43	35	33		86	30	51%
DQO Entrada (mg/l)	400	790	860	1400	1100	650	1100	900
DQO Salida (mg/l)	160	610	720	910	940	210	640	599
% remoción	60	23	16	35	15	68	42	37%
Fósforo total Entrada (mg/l)	25	5	10	9	13	6	9	11
Fósforo Total Salida (mg/l)	24	9	9	13	12	16	9	13
% remoción	4	-81	10	-43	8	-191	-6	0%
Nitrógeno total Entrada (mg/l)	60	35	62	62	75	26	64	55
Nitrógeno Total Salida (mg/l)	38	55	50	73	72	160	58	72
% remoción	37	-57	19	-18	4	-515	9	0%
SST Entrada (mg/l)	92	210	260	630	250	189	310	277
SST Salida (mg/l)	68	210	250	260	230	90	130	177
% remoción	26	0	4	59	8	52	58	30%
GyA Entrada (mg/l)	12	63	29	34	43	45	66	42
GyA Salida (mg/l)	4	26	29	32	22	7	26	21
% remoción	68	59	0	6	49	85	61	47%

⁷⁵ Estudio Técnico de Aguas Residuales, Municipalidad de Mixco, Jun. 2017

De la tabla anterior se observa que 3 de las 7 plantas no cumplen con el límite de descarga de DBO establecido por el AG 236-2006 para la primera meta, lo cual se debe en parte a las altas concentraciones en el afluente. El resto de parámetros cumple con los límites establecidos.

El estudio Técnico identificó 64 puntos de desfogue, los cuales fueron muestreados con análisis físico químico. La siguiente tabla resumen las concentraciones promedias, las cuales tipifican las aguas residuales generadas en el municipio como de contextura media a fuerte⁷⁶.

Tabla 68 Resultados de muestreo de desfogues directos a ríos y quebradas, Municipio de Mixco, 2017.

Parámetro	Unidad	Promedio
DBO ₅	mg/l	391
DQO	mg/l	842
Fósforo total	mg/l	15
Nitrógeno total	mg/l	51
SS	mg/l	317
GyA	mg/l	36

Se hace la observación que dos de las descargas corresponden a Planta de tratamiento administradas por AMSA. Adicionalmente algunas de las descargas tienen algún tipo de tratamiento, sin embargo, la calidad promedio de todas las descargas es similar a aguas residuales crudas.

Metales Pesados

Se han realizado muestras de metales pesados en los efluentes de las PTAR mencionadas arriba y también en varios puntos de desfogue y en los ríos.

Respecto a los metales pesados, el Informe Técnico muestra que las concentraciones de arsénico, Cianuro y Cromo Hexavalente medidos en el afluente de las PTAR están por debajo o igual al límite de detección.

Sin embargo, los muestreos en varios cuerpos de agua mostraron concentraciones bajas arsénico, los cuales provienen de los desfogues sin control.

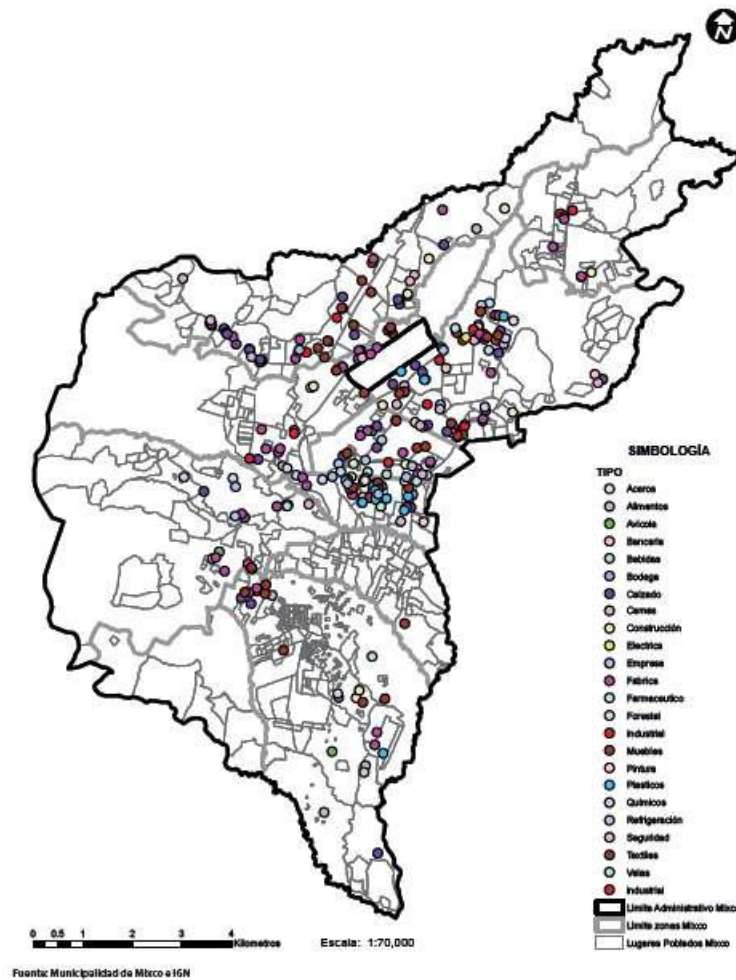
Tabla 69 Concentraciones de Arsénico en muestreo para Informe Técnico de Municipio de Mixco, 2015

Río Molino (Puente Villalobos)	0.0042	mg/l
Río Mansilla (Villa Lobos)	0.0079	mg/l
Río Pansalic, Entrada a Mixco de Río	0.0036	mg/l
Planta de Tratamiento de Balcones de San Cristóbal	0.0034	mg/l
Río Zapote Zona 6 de Mixco	0.0098	mg/l

⁷⁶ Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery McGraw Hill, 5th Ed., 2014

Respecto a las descargas industriales o del tipo especial, la Municipalidad no tiene a su cargo ninguna entidad generadora de este tipo. El Informe Técnico, identificó la ubicación de las industrias, las cuales se visualizan en la siguiente figura. El informe no hace el listado de dichas industrias. Sin embargo, el inventario industria proveído por AMSA identifica a 687 entes generadores, entre los que se cuenta a 127 actividades industriales o agroindustriales.

Ilustración 84 Localización de las principales industrias en el Municipio de Mixco

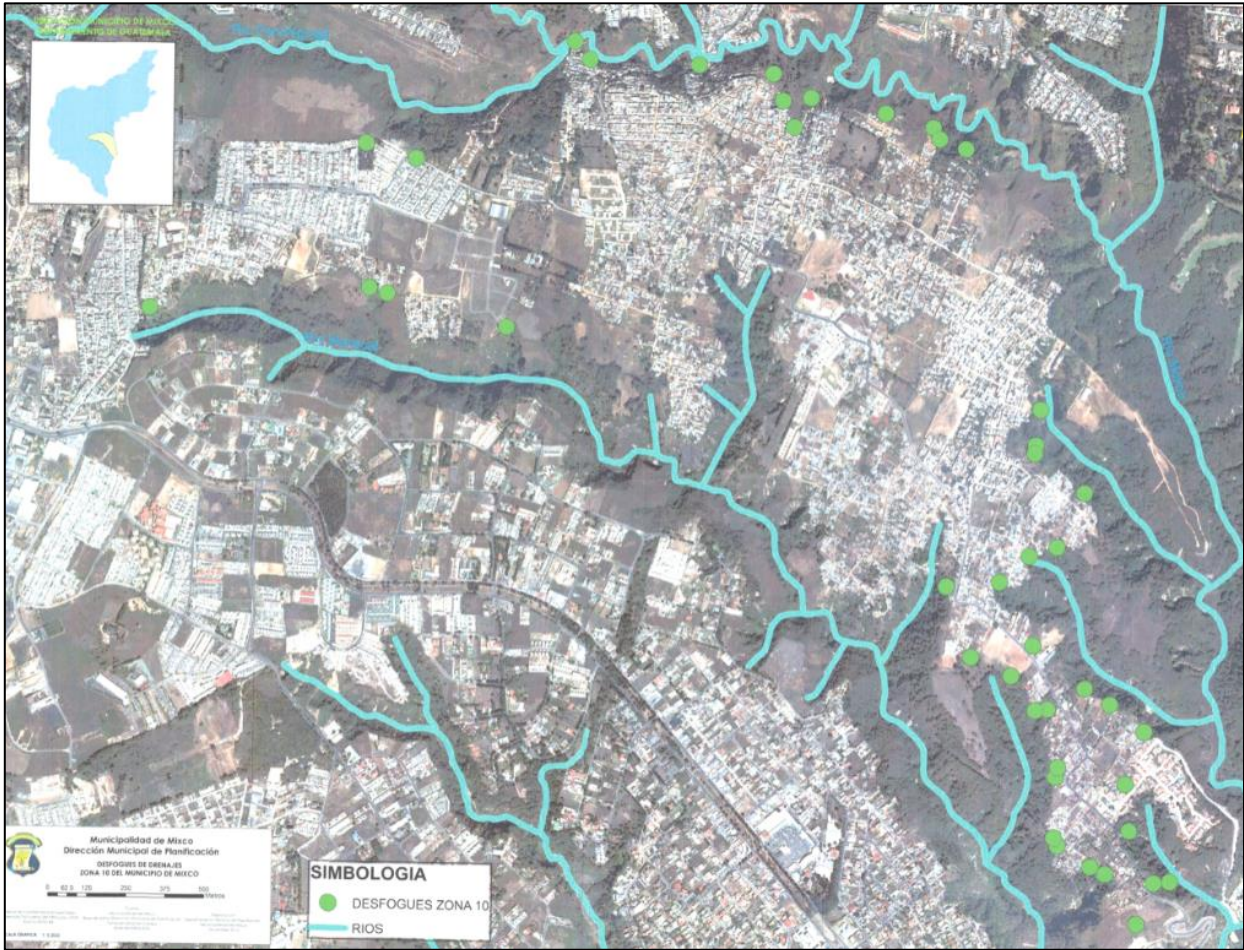


Fuente: Municipalidad de Mixco/Dirección de Movilidad Urbana 2017.

Respecto a los desfuegos a quebradas y cuerpos de agua, se contabilizaron 202 descargas con la información recibida de la Municipalidad⁷⁷. A manera de ejemplo, en la siguiente ilustración se presenta los desfuegos en una zona de la Ciudad.

⁷⁷ Formulario de saneamiento solicitado a Municipalidad

Ilustración 85 Desfogues en una zona de Ciudad de Mixco



11.7 Alcantarillado y Saneamiento Guatemala

Según datos del censo municipal realizado en el año 2018, y las proyecciones realizadas por INE el municipio de Guatemala cuenta con una población de 1,195,727 habitantes, que lo hace el municipio más poblado de la MGCS, el 94.10 % de las viviendas tiene acceso redes de drenaje, un 1.9 % tiene fosas sépticas o sumideros y el 4.0 % descarga en letrinas o pozos ciegos.

Debido a la topografía de la región el sistema de alcantarillado y drenaje pluvia del Municipio de Guatemala se divide en dos sectores, el norte y el sur, respondiendo a los sistemas hidrológicos más importantes para las aguas residuales que son: la cuenca del río Motagua en el norte, drenada por el río Las Vacas y el río Plátanos, y la cuenca del río Michatoya, en el sur, drenada por el río Villalobos hacia el lago de Amatitlán.

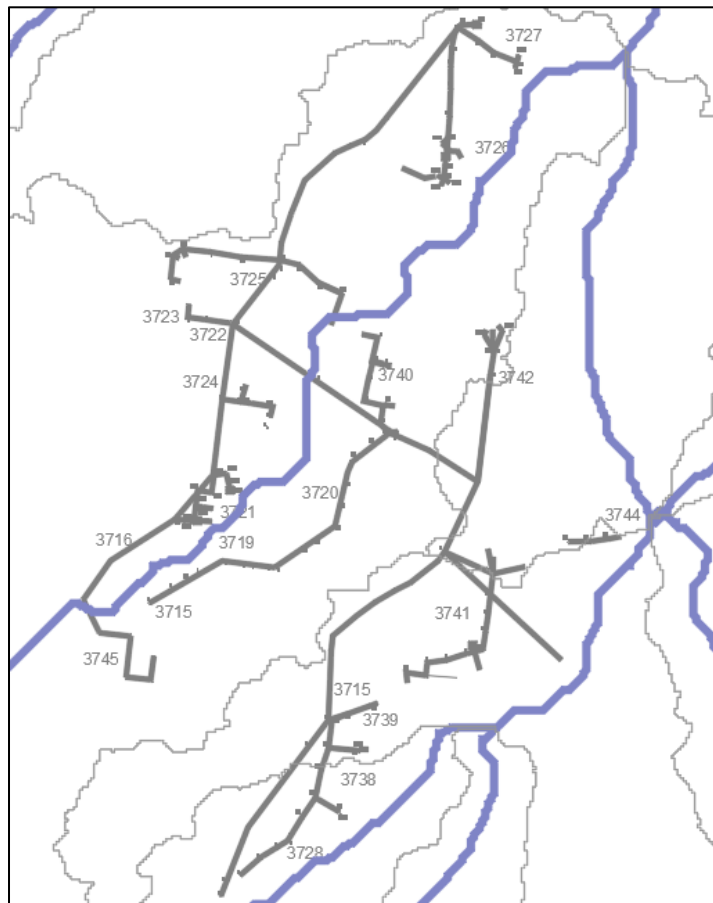
El sistema de alcantarillado corresponde con estas áreas, y está dividido por la División Continental de Aguas en estos mismos distritos.

En cuanto a alcantarillado, la zona norte tiene mayor cobertura. Consiste en un sistema de recolección combinado que funciona en su totalidad por gravedad, captando tanto aguas residuales como pluviales incluyendo parte de los caudales ubicados en la zona sur específicamente zonas 10, 11, 12, 13, y 14.

La mayoría de las aguas residuales son recolectadas en alcantarillas, ramales y laterales, fluyendo hacia y a través de colectores principales, y desembocando finalmente en los ríos.

En los años sesenta y setenta se construyeron los colectores principales en la parte oeste y este de la ciudad capital incluyendo al colector del oriente, estos dos colectores desfogan a un mismo río en diferente lugar, desfogando al río Las Vacas, el cual se une más adelante al río Plátanos y luego al río Motagua. El caudal del río Las Vacas está constituido principalmente por aguas residuales provenientes de varios municipios que contribuyen de forma directa, como Mixco, Chinautla y Guatemala.

Ilustración 86 Colector del Oriente y secundarios, Ciudad de Guatemala



La zona Sur del área de estudio, tiene menor área tributaria, sin embargo, contribuye significativamente con los caudales, aportando aproximadamente el 30% de las aguas residuales generadas en la Ciudad. En este sector se presentan sistemas localizados, donde las aguas residuales son tratadas por viviendas particulares en muchos casos por fosas sépticas y en algunos casos simplemente se vierte sin ningún tratamiento hacia los drenajes existentes municipales. Y las que son conducidas por el colector RMR terminan finalmente en el río Villalobos, que a su vez descarga en el lago de Amatitlán uniéndose al caudal de otros Municipios.

La mayoría de las aguas residuales no son tratadas y se vierten directamente a los cursos de aguas públicas, causando graves problemas de contaminación.

En la zona norte EMPAGUA tiene a su cargo la operación y mantenimiento de tres plantas de tratamiento ubicadas ambas en la colonia Hacienda Real zona 17, esta colonia es la única que tiene un cobro por tratamiento de las aguas residuales domésticas, y uno de los mayores retos es evitar que los vecinos conecten sus aguas pluviales a la red de drenaje sanitario dado que en el sector existe una red separada de drenajes.

En la zona sur EMPAGUA tiene a su cargo las dos plantas de tratamiento una ubicada en la colonia Nimajuyú zona 21, y la otra ubicada en Bellos Horizontes zona 12, ambas plantas operan por gravedad y no se tiene tarifa por tratamiento de las aguas residuales, ambas plantas trabajan con un déficit derivado a que el caudal actual supera en algunos casos el caudal de diseño de la planta de tratamiento.

Tabla 70 Características del afluente de PTAR's Municipio de Guatemala

Planta	Ubicación	Parámetros afluentes						
		SSed ML/L	Ssusp mg/L	STot mg/L	DQO Mg/L O ₂	DBO5 mg/L O ₂	PO4 mg/L	NO3 mg/L
Nimajuyú	Guatemala, Zona 21	4	385	913	746	419	18.4	9.75
Mezquital	Guatemala, Zona 12	4.3	400	811	734	383	-	-
Villalobos	Guatemala, Zona 12	4.5	415.9	802.6	750.9	385.4	-	-
Promedio		4.3	400.3	842.2	743.6	395.8		

Se observa que el DBO promedio se aproxima a 400 mg/l, clasificando las aguas residuales como muy fuertes.

El caudal total de las 5 PTARs administradas por EMPAGUA es de 83 lps o 7,717 m³/d. También existen una gran cantidad de fosas sépticas, lo que ha promovido el servicio de limpieza por empresas particulares⁷⁸ quienes poseen permisos ante la autoridad competente, y vierten dichos lodos al alcantarillado público.

Las aguas residuales dentro del área de servicio de EMPAGUA tienen las siguientes fuentes principales de contaminación: fuentes domésticas, institucionales y comerciales, industriales y efluentes de tanques sépticos.

La base industrial del área de servicio de EMPAGUA incluye industrias farmacéuticas, procesadores de carne y alimentos, cervecerías, curtidurías y textiles. La base de datos de AMSA para la Cuenca Sur del río Villalobos (Zonas 10, 11, 12, 13, 21 y parte del 7) tiene registrado 1070 entidades generadora entre las que se cuentan al menos 161 industrias; sin embargo, los caudales totales registrados por dichas industrias son del orden de 40 lps, lo cual no es tan significativo. Aplicando un factor de 2 por las industrias no inventariadas y considerando las industrias de producción limpia media, la población equivalente sería del orden de 150,000 personas, o aproximadamente un 20 % de la población total. La base de datos de AMSA también incluye más de 680 entidades comerciales que incluye restaurantes, hospitales, clínicas, laboratorios, centros comerciales, centros recreativos, y otros negocios que absorben a parte de la población de los municipios adyacentes durante las horas laborables.

⁷⁸ Viviendo sin Alcantarillado. El negocio de la recolección de lodos fecales, WSP Banco Mundial, 2012

Algunas de las aguas servidas de estas industrias tienen altas concentraciones de DBO / DQO y sólidos suspendidos. Se hace la aclaración que, en las dos décadas pasadas, ha habido una mejora significativa en los procesos industriales debido al avance de la tecnología en la recuperación de insumos y también a los ahorros producidos con la minimización de residuos valiosos, finalmente muchas industrias quieren venderse como de producción limpia.

Algunas de las industrias poseen plantas de tratamiento las que no requieren ser monitoreadas, siendo el Ministerio de Medio Ambiente el ente encargado para monitorear el cumplimiento de las descargas y vertidos a cuerpos receptores con la ley 236-2006.

En temas de alcantarillado EMPAGUA cobra por servicios de alcantarillado un 20 % del valor total de consumo por agua potable en el caso de prestar el servicio. La cantidad recibida no es suficiente para cubrir las actividades mínimas relacionadas a aguas residuales y alcantarillado, como es el mantenimiento de alcantarillas y cambios de tuberías deterioradas. Sin embargo, el ingreso actual por alcantarillado no sería suficiente para cubrir los costos de capital para rehabilitación ni desarrollo del sistema de alcantarillado existente, y mucho menos para operar y mantener sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Como se describió arriba, el alcantarillado se encuentra sectorizado en zona norte y zona sur, respondiendo a los sistemas hidrológicos más importantes.

El sector norte puede subdividirse en sector noreste y sector noroeste, lo cual permite definir dentro del área de estudio tres cuencas, siendo éstas: la cuenca del río Las Vacas en el noroeste, la del río Plátanos en el noreste, ambas descargando hacia el río Motagua; y la cuenca del río Villalobos al sur, drenando hacia el lago de Amatitlán.

Ilustración 87 Cuencas del Municipio de Guatemala

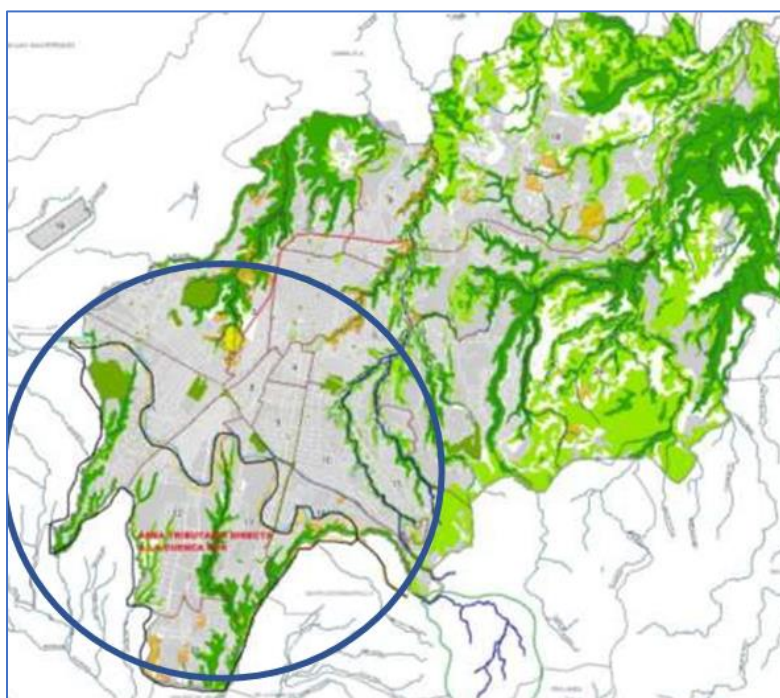


Tabla 71 Porcentaje de áreas municipales en cuencas de los ríos en el área del proyecto

MUNICIPIO	RIO VILLALOBOS (Ha.)	%	RIO LAS VACAS (Ha.)	%	RIO PLATANOS (Ha.)	%	TOTAL Ha.
Guatemala	4270	9.22	8270	37.85	10260	87.84	22800
Sta. Catarina Pinula	2520	5.44	860	3.94	1420	12.16	4800
Mixco	4530	9.79	5370	24.58			9900
Villa Nueva	10830	23.40					10830
Villa Canales	10590	22.88					10590
Sn. Miguel Petapa	2300	4.97					2300
TOTALES	46290		21850		11680		191810

La figura siguiente muestra la división continental de aguas y la zona de descarga del municipio de Guatemala a la cuenca sur.

Ilustración 88 Área directa tributaria en caudales a la Cuenca Sur



El Municipio de Guatemala cuenca con 956 plantas de tratamiento privadas⁷⁹, aprobadas por la Unidad de Evaluación de Proyectos de Agua y Alcantarillado de Ventanilla Única de EMPAGUA, las cuales se exhiben en la Ilustración 89 y la Tabla 72, se listan el número de plantas por zona.

⁷⁹ Memoria de Labores 2018 EMPAGUA

Ilustración 89 Ubicación de Plantas de Tratamiento Privada, Municipio de Guatemala

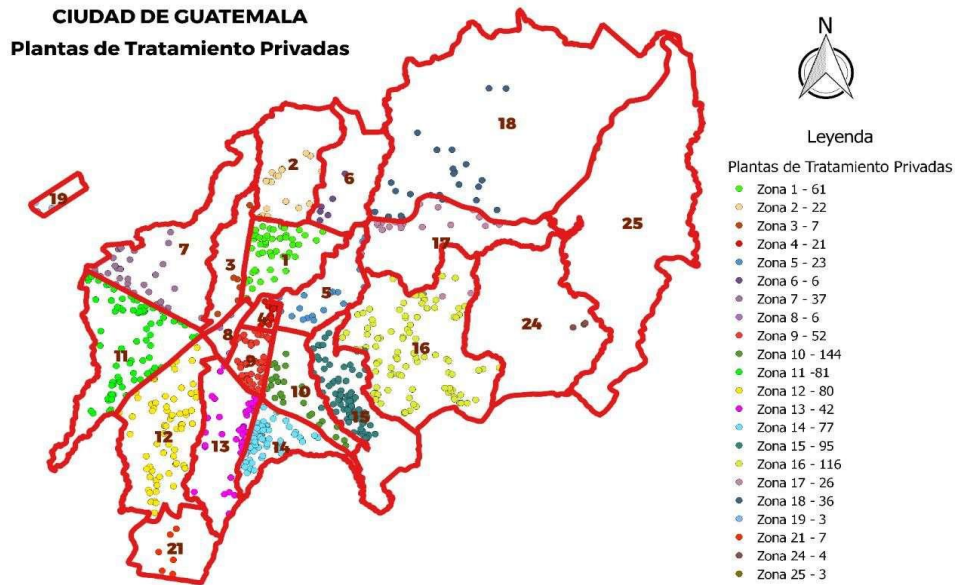


Tabla 72 Plantas de Tratamiento Privadas Municipio de Guatemala

Zona	PTAR's Cuenca Norte	Zona	PTAR's Cuenca Sur
1	61	11	81
2	22	12	80
3	7	13	42
4	21	14	77
5	23	21	7
6	6	Subtotal	287
7	37	Total PTAR's	956
8	6		
9	52		
10	144		
15	95		
16	116		
17	26		
18	36		
19	3		
21	7		
24	4		
25	3		
Subtotal	669		

La siguiente Tabla es un estimado de la generación de aguas residuales per cápita⁸⁰, partiendo del consumo promedio de agua potable per cápita. Se estimó un índice de 4.92/usuario y un porcentaje de retorno de aguas residuales de 0.8

Tabla 73 Estimación de Consumo Promedio de Agua y Generación de Aguas Residuales por Zona, 2016

Zona	Consumo Mensual m ³ /mes	Usuarios	Consumo promedio Agua Potable m ³ /usuario	Consumo promedio Agua Potable lppd	Generación promedio Aguas Residuales lppd
1	472,820	12,236	39	261.8	209.4
2	146,483	4,316	34	229.9	184.0
3	192,381	8,100	24	160.9	128.7
4	63,162	864	73	495.3	396.2
5	496,271	12,784	39	263.0	210.4
6	493,327	19,177	26	174.3	139.4
7	680,260	24,123	28	191.1	152.8
8	95,150	2,876	33	224.1	179.3
9	107,782	1,529	70	477.6	382.1
10	180,469	3,584	50	341.2	272.9
11	415,494	11,368	37	247.6	198.1
12	610,037	25,311	24	163.3	130.6
13	214,137	5,315	40	273.0	218.4
14	139,570	3,407	41	277.5	222.0
15	159,496	3,809	42	283.7	227.0
16	158,045	4,531	35	236.3	189.1
17	179,053	8,173	22	148.4	118.7
18	577,819	28,132	21	139.2	111.3
19	115,427	3,774	31	207.2	165.8
21	196,727	13,764	14	96.8	77.5
Total	5,693,910	197,173	29	195.6	156.5

Nota: Población estimada basado en índice de 4.92 hab/usuario, se estimó un factor de retorno de 80% para la estimación de aguas residuales

El consumo promedio de agua potable por usuario es de 29 m³/mes, lo que equivale a 23.2 m³/mes de aguas residuales o 156.2 lppd, usando un factor de 4.92 habitante por usuario.

⁸⁰ Ibid.

Durante la recolección de datos también se obtuvo las descargas actuales de alcantarillado de aguas residuales. La Figura siguiente muestran las 304 descargas de las colectoras de alcantarillado sanitario a las quebradas y ríos tanto de la cuenca sur como de la cuenca norte.

Ilustración 90 Descargas de Drenaje Ciudad de Guatemala

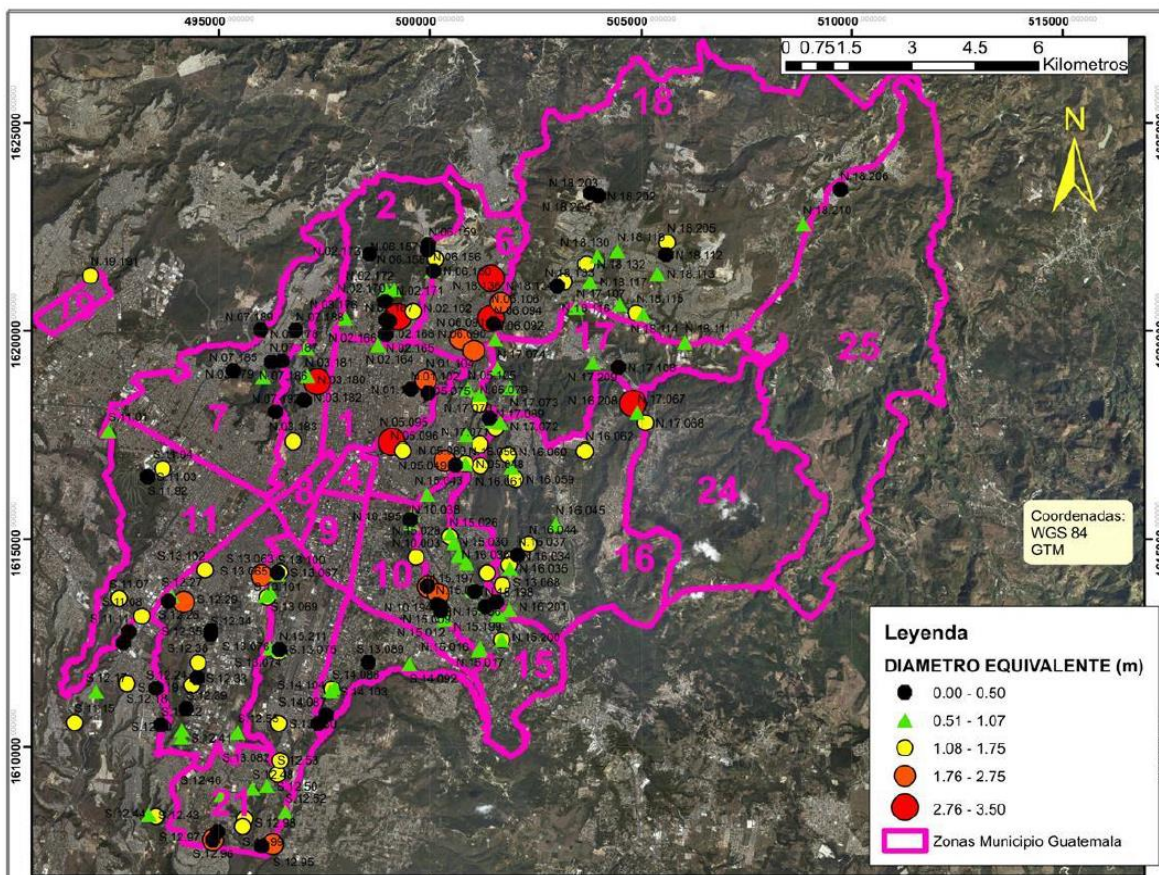


Fuente: Elaborado con información suministrada por EMPAGUA

Información obtenida del portal Web de EMPAGUA⁸¹ muestra el siguiente inventario con 197 descargas clasificadas por diámetro equivalente de tubería.

⁸¹ Caracterización de Aguas Residuales, Municipio de Guatemala, Portal Web EMPAGUA

Ilustración 91 Inventario de descargas por diámetro de tubería



Esta información fue levantada para cumplir con el Informe Técnico requerido en el AG 236.2006. En las investigaciones realizadas se obtuvo la siguiente información:

Se estima que hay más de 400 descargas en el área metropolitana, por tanto el inventario está subestimado en un 40%. Se establece que este subregistro se debe “en parte por la falta de una regulación adecuada para establecer los derechos de descarga y en parte por escasos recursos para un adecuado monitoreo⁸²”

Cinco descargas concentran el 80 % de la descarga total, dos de dichas descargas están ubicadas en la cuenca norte y tres en la cuenca sur.

El 67% del caudal se desfogó en la cuenca norte, el resto (33%) en la cuenca sur.

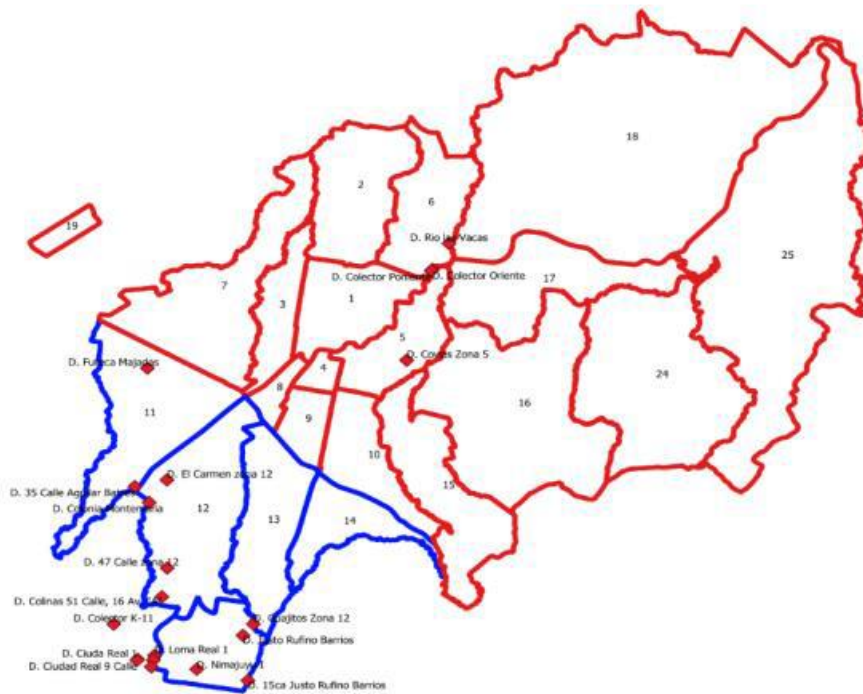
⁸² Ibid

Tabla 74 Descargas por cuenca de drenaje

Diámetro equivalente (m)	Cuenca	
	Norte	Sur
0.00-0.30	24	8
0.31-0.70	42	21
0.71-1.24	32	19
1.25-1.99	25	11
2.00 o más	11	4
Total	134	63

La memoria de Labores 2018, informa del programa de muestreo identificadas en el siguiente mapa, sin embargo, no se tuvo acceso a esta información.

Ilustración 92 Sitio de Toma de Muestras 2018



11.8 Visión Global y Retos

Resumen de Sistemas de Aguas Residuales MGCS

A continuación, se hace un resumen de algunos aspectos de las aguas residuales de la MGCS:

Hoy en día la reglamentación tiene límites de descarga muy altos y los niveles legales de calidad del efluente se cumplen con un mínimo de tratamiento. Para el 2024, año en el cual se cumple la primera fase de la nueva reglamentación de control de vertimientos, (AG 254-2019) con un sistema primario se puede cumplir el requerimiento legal.

Con la información disponible se identificaron 1066 plantas de tratamiento, de las cuales, 28 son operadas por las municipalidades y 1028 por operadores privados. Se estima que entre un 20 a 30% estén en buen estado de operación.

Tabla 75 Plantas de Tratamiento MGCS

Municipio	Operados por Municipalidad	Operados por Privados	Total
Santa Catalina Pinula	14	Se desconoce	14
San Miguel Petapa	1	3	4
Villa Canales	2	1	3
Amatitlán	0	2	2
Villanueva		76	76
Mixco	3	>3	6
Subtotal	23	82	105
Guatemala	5	956	961
Total	28	1038	1066

Cada Municipalidad tiene diferentes características, pero a excepción de Amatitlán, el resto de municipios presentan características de aguas residuales de contextura fuerte, lo que puede ocurrir por dos razones: presencia de industrias y comercios del tipo orgánico, tales como procesadoras de alimentos y restaurantes. La otra razón, no tan plausible, es la baja producción de aguas residuales. Basado en los registros de agua potable, la generación per cápita oscila entre 150 a 200 lppd. No se definió las características de las aguas residuales del municipio de Guatemala por falta de datos.

Tabla 76 Características de las Aguas Residuales Crudas de las Municipalidades de la MGCS

Parámetro	Unidad	Santa Catalina	San Miguel M	Villa Canales	Amatitlan	Villa Nueva	Mixco	Promedio
DBO	mg/l	366	315	526	286	418	391	384
DQO	mg/l	847	628	963	506		842	757
DQO/DBO		2.31	2	1.87	1.77		2.15	2.0
Fósforo total	mg/l	9	10	8.97	6.8	9.47	15	9.9
Nitrógeno Total	mg/l	49	56	61.1	21.1	40.9	51	47
SST	mg/L	277	219	365	63.6	353.44	317	266
Aceites y grasas	mg/L	53	24	30.4	36	45.34	36	37
Coliforme fecal	NMP/100mL	1.90E+09	3.40E+07	2.84E+07	1.85E+07	3.76E+07		4.04E+08

El trabajo "Diseño de una Propuesta Para La Formulación del Plan Maestro del Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas en los Municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur del

Departamento de Guatemala; Garrido, Juan Carlos, 2016”, realizó la caracterización de las aguas residuales, con la cooperación del laboratorio de INFOM, con la toma de muestra en los seis municipios de la MGCS en puntos no controlados.

Tabla 77 Número de muestra por municipio

Municipio	No. Muestras
Santa Catarina Pinula	18
Villa Canales	6
Villa Nueva	44
San Miguel Petapa	11
Mixco	16
Amatitlán	8
Total de muestras:	103

Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 78 Resultados del monitoreo de 103 muestras de desfogues de aguas residuales en la MGCAS

PROMEDIOS/ ANALISIS	UNIDAD	VILLA NUEVA	MIXCO	AMATITLA N	SAN MIGUEL PETAPA	SANTA CATARINA PINULA	VILLA CANALES	PROMEDIO
DBO5	mg/L	464.5	112	161	228	207	232	234
DQO	mg/L DQO		301	461	505	467	545	456
Fósforo total	mg/L P	7.32	5	7	8	5	7	7
Nitrógeno total	mg/L N	34.05	31	34	37	26	32	32
Sólidos en suspensión	mg/L	249.16	62	136	648	185	200	247
Aceites y grasas	mg/L	33.7	10	23	15	40	28	25

Se nota una marcada diferencia en la calidad de aguas residuales medidas en el estudio en comparación con la tabla anterior, especialmente en las concentraciones de DBO₅ y DQO. Para los cálculos posteriores se considerará el promedio como el valor más aproximado.

Tabla 79 Valores promedios de concentración de parámetros de aguas residuales crudas, MGCS

Parámetro	Unidad	Santa Catalina Pinula	San Miguel Metapa	Villa Canales	Amatitlan	Villa Nueva	Mixco	Promedio
DBO	mg/l	287	272	379	286	441	391	343
DQO	mg/l	657	567	754	484	0	572	505
Fósforo total	mg/l	7.0	9.0	8.0	6.9	8.4	10.0	8.2
Nitrógeno Total	mg/l	37.5	46.5	46.6	27.6	37.5	41.0	39
SST	mg/L	231.0	433.5	282.5	99.8	301.3	189.5	256
Aceites y grasas	mg/L	46.5	19.5	29.2	29.5	39.5	23.0	31
Coliforme fecal	NMP/100mL	1.90E+09	3.40E+07	2.84E+07	1.85E+07	3.76E+07		6.62E+07

Nota: Por seguridad, las concentraciones de Amatitlán y Mixco del Trabajo de Tesis no se consideraron por ser muy bajos

Se estima que más de 1400 puntos de desfogue existen solamente para la cuenca del río Villalobos, de los cuales 1131 corresponde al municipio de Guatemala y 315 corresponde al resto de municipios. No se pudo estimar el número de descargas totales en la cuenca norte, aunque se identificaron 173 descargas del alcantarillado sanitario a la cuenca del río Las Vacas. Si se asume una cantidad de descargas directas similar al sur, el número de descargas aumentaría a más de 1000.

Tabla 80 Desfogues de aguas residuales en quebradas y cuerpos de agua Cuenca Sur

Municipio	No descargas
Santa Catalina Pinula	Se desconoce
San Miguel Petapa	34
Villa Canales	14
Villanueva	193
Amatitlán (grandes)	10
Mixco	64
Subtotal	315
Guatemala	
Alcantarillado	131
Estimadas Directas Cuenca Sur (en base al No. De PTAR's)	1000
Subtotal	1131
Total	1446

La base de datos que lleva AMSA, identifica a más de 2700 entes generadores de aguas residuales, de los cuales 413 son industrias. (No se incluye la industria manufacturera dentro del listado de las industrias, por considerarlas más de carácter comercial, aunque algunas de ellas califican como industrias).

Tabla 81 Entes generadores de aguas residuales Cuenca Sur MGCS

Municipio	Entes generadores	Industrias
Santa Catalina Pinula	122	3
San Miguel Petapa	104	54
Villa Canales	159	21
Villanueva	579	46
Amatitlán	21	1
Mixco	687	127
Guatemala Cuenca Sur	1070	161
Total	2742	413

Las mayores concentraciones de entes generadores se ubican en los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva. Igual sucede con la localización de las industrias. Ver siguientes figuras.

Ilustración 93 Ubicación de Entes Generadores de Aguas Residuales Cuenca Sur

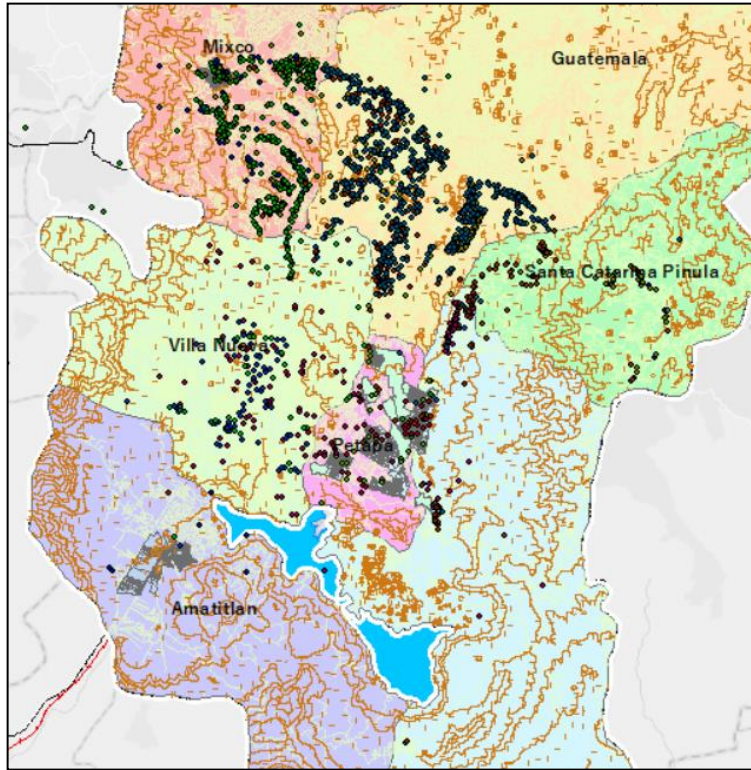
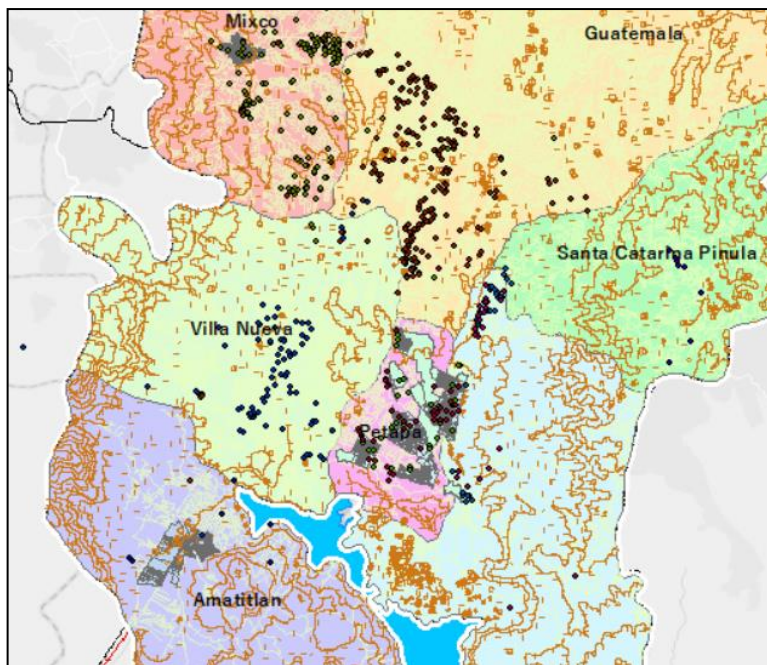


Ilustración 94 Ubicación de Industrias generadoras de Aguas Residuales. Cuenca Sur



Basado en información proveída en los informes técnicos de la Municipalidades y en los datos censales se hizo un estimado del rango de tratamiento asumiendo varios porcentajes de eficiencia y operabilidad de los sistemas privados, resultando en que aproximadamente el 5 al 15%% de las aguas residuales generadas son tratadas.

Tabla 82 Estimado del porcentaje de tratamiento de aguas residuales MGCS

Municipio	Estimación de agua residual	Estimación de Agua tratada	Tratamiento
	m ³ /d	m ³ /d	%
Santa Catarina Pinula	23,804	1,891	7.94
San Miguel Petapa	22,248	4,450	20.00
Mixco	79,049	1,434	1.81
Amatitlán	19,964	518	2.60
Villa Nueva	73,430	9,514	12.96
Villa Canales	21,286	4,257	20.00
Guatemala	191,316	16,737	8.75
Total	389,847	38,801	9.95

Nota: Se asume que las PTAR privadas de Guatemala tratan el 5% del total de AR

Tomando los datos de cada municipio y los datos del Censo, se estimó la carga total de DBO₅, en aproximadamente 120,000 a 145,000 Kg/d. Esto no toma en cuenta las remociones de DBO en las PTAR existentes. Sin embargo, es un dato útil de partida para cálculos posteriores.

Tabla 83 Estimación de cargas totales de DBO5, MGCS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Municipio	Población (año 2020)	% conexión	Población contribuyente (hab)	Dotación de agua total (domestico, industrial, comercial) lppd	Generación aguas residuales lppd	Caudal total Aguas Residuales lps	Caudal total Aguas Residuales m3/d	DBO	Carga DBO (Kg/d)
Fuente	Proyección INE	Censo 2018	= (2) x (3)/100	Calculado en base registro de consumo de agua potable + industria y comercio	= (5)*0.8	= (4)*(6)/86400	= (7)*86.4	Datos de muestreo	= (7)*86.4*(9)/1000
Guatemala	1,195,727	94.1	1,125,218	180 -220	144 - 176	1875 - 2292	162031 - 198038	350	56711 - 69313
Santa Catarina Pinula	86,575	49.1	42,511	180 -220	144 - 176	71-87	6122 - 7482	287	1754 - 2144
Mixco	496,992	90.6	450,353	180 -220	144 - 176	751-917	64851 - 79262	391	25357 - 30991
Amatitlán	148,330	68.2	101,234	180 -220	144 - 176	169-206	14578 - 17817	286	4169 - 5096
Villa Nueva	466,922	75.5	352,584	180 -220	144 - 176	588-718	50772 - 62055	441	22403 - 27382
Villa Canales	165,839	36.3	60,196	180 -220	144 - 176	100-123	8668 - 10595	379	3285 - 4015
San Miguel Petapa	145,861	85.9	125,223	180 -220	144 - 176	209-255	18032 - 22039	272	4896 - 5984
Total	2,706,246	83.0	2,257,318			3762-4598	325054 - 397288		118575 - 144925

11.9 Problemas identificados y retos

Un listado de los problemas identificados sigue a continuación:

11.9.1.1 Respecto a las plantas de tratamiento:

Multiplicidad de Plantas de tratamientos de aguas residuales

Falta de mantenimiento de PTAR's. Un buen porcentaje de las PTAR's están en mal estado o fuera de operación y los que operan, tienen bajos rendimientos.

Gran cantidad de desfuegos sin control que descargan aguas crudas, que es la causa principal de la contaminación de los ríos.

Falta de voluntad política para abordar el tema del tratamiento de las aguas residuales, el efecto boomerang funciona en el sentido en que si nadie lo hace ¿porque yo? Si la ciudad capital no ha sido beligerante en impulsar el tema de tratamiento, esto produce un efecto en los otros municipios.

Falta de recursos financieros y/o redirección de los mismos hacia otros proyectos considerados más importantes.

Legislación muy débil, no solo en el sentido de promulgar límites de descargas muy altas que solo requiere un leve tratamiento para cumplir el reglamento, sino también por la flexibilidad de extensión de tiempos con nuevos acuerdos que prolongan las metas y los períodos de ejecución.

Institucionalidad débil que requiere fortalecimiento. Esto se refleja en la falta de actualización del catastro de planos de PTAR, falta de un levantamiento preciso de los desfuegos sin control, falta de seguimiento de los prestadores privados, falta de la adquisición de la información y resguardo de la misma.

Falta de establecimiento de cánones para la operación y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado y tratamiento. Algunas Municipalidades, hacen un cobro simbólico sobre la tarifa de agua potable, pero la mayoría, no cobra el servicio, el cual se vuelve insostenible. En general se tiene la percepción que estos servicios no tienen que ser cobrados o que la legislación actual no lo permite.

No se tiene claridad sobre las PTAR's privadas, en cuanto a quién las regula y vigila su cumplimiento.

11.9.1.2 Respecto al alcantarillado sanitario:

Red incompleta de alcantarillado sanitario, requiere de ampliación.

Alcantarillado combinado en algunos casos y en otros el alcantarillado fue diseñado separado, pero en la realidad funciona como combinado.

La topografía muy accidentada de toda la zona, y la falta de terrenos públicos disponibles es un reto que tiene que ser enfrentado en la búsqueda de cualquier solución regional.

11.9.1.3 Respecto a las Industrias:

El principal problema observado es la descarga directa a los cuerpos de agua. Respecto a las cargas de metales pesados, no se considera un gran problema, ya que la mayoría de los análisis realizados para los puntos de desfuegos y PTAR's dieron resultados no detectables, o cerca del límite de detección. Aun así, es necesario un verdadero programa de monitoreo industrial, que puede llevar a la evaluación de la necesidad de un programa de pretratamiento industrial en un futuro.

Basado únicamente, en los muestreos en los desfuegos y en los cuerpos de agua, se concluye que la mayoría de las industrias están produciendo un impacto en las cargas orgánicas principalmente.

11.10 Retos Identificados

La falta de tratamiento de las aguas residuales es una de las fuentes de la falta de saneamiento, de la contaminación de los ríos y del Lago Amatitlán. La otra causa principal, son los desechos sólidos vertidos en botaderos clandestinos que eventualmente son arrastrados por la escorrentía hacia los cuerpos de agua y que obligan a las autoridades a su constante limpieza.

La solución al problema de las aguas residuales es simple y es compleja, es simple en concepto ya que la única forma de detener la contaminación es con la recolección de las aguas residuales y el tratamiento de las mismas y es compleja porque no existe una solución sencilla por la dispersividad de los desfogues, la falta de cobertura de alcantarillado sanitario, la falta de capacidad de gestión de los prestadores de servicios e instituciones y las inversiones y el financiamiento requeridos para lograr estos objetivos. Además, está el reto de las coordinaciones institucionales y de los prestadores de servicio y las incongruencias o falta de aplicabilidad de las regulaciones existentes. Este tipo de solución requiere de toda la voluntad política para su ejecución.

Todo esto se da en un contexto en que las municipalidades tienen esta responsabilidad que compite con las otras responsabilidades que son las habituales de una Municipalidad o Alcaldía como son, el aseguramiento de la energía eléctrica, el agua potable, limpieza de calles, promoción de turismo, recolección de basura, mantenimiento de calles, parques, cementerios, centros educativos, centros recreativos, mercados, fuera de las obligaciones cotidianas como registros y transacciones civiles, y hasta compromisos políticos. Bajo esta lluvia de demandas, el alcantarillado y el tratamiento es una cenicienta.

Esta falta de interés se evidencia en la propia capital, que no ha hecho las gestiones pertinentes para tratar las aguas residuales.

Afortunadamente, las Municipalidades han despertado un mayor interés en solucionar los problemas sanitarios que se han agudizado en las últimas décadas con el crecimiento poblacional y el desarrollo urbanístico y han desarrollado varios tipos de propuestas de financiamiento que van por un lado desde gran cantidad de sistemas pequeños y por otro lado soluciones regionales, más integrales y más coordinadas.

Las propuestas municipales de financiamiento de los últimos años han fluctuado entre estos dos espectros:

Por un lado, las soluciones pequeñas requieren poca inversión, pero basado en las experiencias locales, son poco sostenibles, muy difícil de controlar y dar seguimiento y rebasan las capacidades de las municipalidades. Este tipo de solución demanda recursos y capacitación extenuante para la operación y mantenimiento de los sistemas, los cuales corren el peligro de ser descuidados hasta colapsar.

La otra opción con sistemas regionales, requiere de inversiones fuertes, pero su sostenibilidad es más fácil, tal como se ha comprobado con sistemas existentes en las capitales de América Latina.

Una solución intermedia, es la construcción de sistemas regionales, combinándolo con sistemas pequeños en lugares inaccesibles o muy difícil de integrar como es el caso de Santo Domingo y otras ciudades.

Los retos descritos con anterioridad se aplican a los sistemas de alcantarillado y saneamiento, se hace un resumen de los mismos:

11.10.1.1 *Retos de Política Sanitaria*

Definición de metas de recuperación de cuerpos de agua, para definir calidad y gradualidad para alcanzar dichas metas

Definición consensuada de estrategia a seguir respecto a la consideración de sistemas regionales o locales o una combinación de ambos

Lograr el empoderamiento a nivel de Gobierno Central de los proyectos de saneamiento, sobre todo en apoyo de gestión con las instituciones financieras y las garantías solicitadas por dichos organismos

En caso de soluciones regionales, definición de institución o instituciones que será la Unidad Ejecutiva del Proyecto en todas sus fases. Creación y fortalecimiento de dicha unidad.

Crear marco regulatorio para los aspectos de coordinación intermunicipal para los proyectos regionales

11.10.1.2 Retos Técnicos

Disponibilidad de sitios de tratamiento en terrenos con extensión suficiente

Conducción de aguas residuales de colectores, desfuegos y PTAR existentes hacia las plantas de tratamiento, utilizando las tecnologías apropiadas para vencer el terreno accidentado de la región

11.10.1.3 Retos Institucionales

Fortalecimiento de gestión municipal en acuerdo con el modelo de gestión de prestación de los servicios

Fortalecimiento de instituciones a cargo del seguimiento y control de los prestadores privados

Crear los mecanismos de coordinación de todos los actores involucrados en la gestión y seguimiento de los prestadores de servicio, de manera que las municipalidades sean partícipes de la gestión de los entes privados de manera que estos se empoderen de las actividades de saneamiento del territorio municipal

11.10.1.4 Retos Regulatorios

Revisión y adaptación de todo el marco regulatorio al modelo de gestión propuesto para el manejo de las aguas residuales

Promulgación de leyes y procedimientos para traspasar los sistemas privados a los sistemas regionales

11.10.1.5 Retos Financieros

Establecer una política tarifaria que promueva la auto sostenibilidad de los servicios

12 Proyectos y Planes Maestros Propuestos

Históricamente se han realizado estudios de proyectos regionales de saneamiento desde el año 1976. Sin embargo, los mayores esfuerzos se han realizado desde el año 1996. Algunos de los principales estudios se listan a continuación:

Estudio del mejoramiento del Manejo de las Aguas Residuales en el Área Metropolitana de Guatemala, Nihon Suide Consultants, 1996

Este estudio es conocido como Plan Maestro 1996.

El área de influencia de este estudio coincide con el área de la MGCS en la parte norte, pero no incluye los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales y Amatitlán en la parte sur. Fue hecho

con el propósito de recuperar la calidad de los ríos y proveer tratamiento a las aguas residuales con un horizonte de planeación al año 2015.

El estudio reconoce que los niveles de DBO en los ríos estaba entre 100 y 300 mg/l, concluyendo que los ríos funcionaban como canales de conducción de aguas residuales y por esta razón propone mejorar la colección y tratamiento secundario de las aguas residuales.

El estudio divide el área de influencia de 20,470 Ha., en 8 secciones, pero solamente propone soluciones de alcantarillado y saneamiento en 6 sistemas que son:

Cuenca Norte:

- Sistema Norte 1,
- Sistema central y
- Sistema Este

Cuenca Sur:

- Sistema Sur 1
- Sistema Sur 2 y
- Sistema Sur 3

La población de diseño proyectada al año 2015 fue de 2,368.900 habitantes.

Las premisas contempladas para las soluciones propuestas, fueron las siguientes:

1. Proveer soluciones por gravedad y tecnologías de tratamiento intermedia.
2. Considerar las dos cuencas de drenaje, norte y sur
3. Aprovechar al máximo el sistema de alcantarillado existente en la cuenca norte.

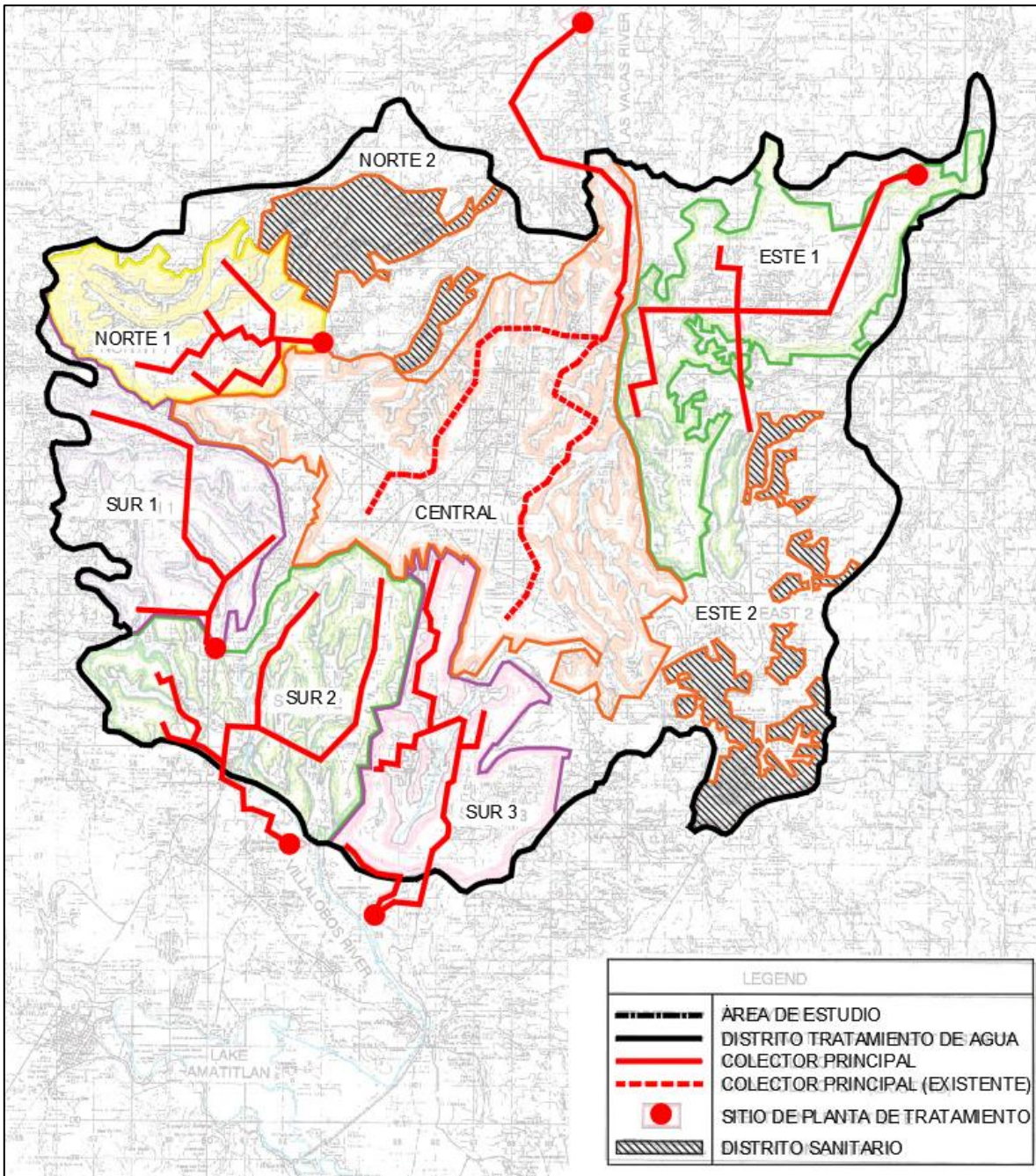
La solución final consiste en:

Sistema de alcantarillado y colectoras: 169.3 kilómetros de alcantarillado entre 800 y 3000 mm

Sistemas de tratamiento: Línea líquida tratadas con filtros percoladores de alta tasa y procesamiento de lodos con digestores anaerobios sin calentamiento seguido por lechos de secado.

La siguiente figura muestra el sistema propuesto.

Ilustración 95 Sistema propuesto de manejo de aguas residuales



La priorización de inversiones propone en primera instancia la construcción de los sistemas central y Sur 3 en tres períodos de ejecución en la que se aumenta progresivamente la colección y el tratamiento en ambos sitios. El objetivo, según el estudio, de la selección de los sistemas, fue el maximizar los beneficios al ambiente y el impacto en el Lago Amatitlán.

Se propone construir el resto de sistemas en fases futuras.

El costo total actualizado al año 1998 por EMPAGUA es de Q 1,206 millones para el sistema de tratamiento y Q 109.7 millones para el sistema de saneamiento para las dos zonas (Norte 1 y Este) que no incluyen sistema de alcantarillado.

Tabla 84 Costos de Manejo de Aguas Residuales, Plan Maestro 1996 actualizado a 1998

Región	Sistema Alcantarillado	Sistema Saneamiento	Total
Central	474	95.9	569.90
Sur1	221	2	223
Sur 2	184	8	192
Sur 3	327	3.8	330.8
TOTALES	1,206	109.7	1,315.7
Costo en millones de quetzales actualizados al año 1998 EMPAGUA			

Es de interés la discusión que hace el estudio acerca de los estándares de calidad de los efluentes, en las que se proponen tres escenarios.

Escenario 1: Aplicar los estándares existentes

Escenario 2: Revisar los estándares existentes

Escenario 3: Mejorar los estándares existentes

Se aclara que se menciona estos escenarios, ya que la definición de los estándares es importante para establecer el grado de tratamiento y por tanto las tecnologías posibles. También se reconoce que los estándares son el resultado de un compromiso entre los costos a incurrirse, las capacidades existentes y la calidad deseada para la protección de los cuerpos de agua.

Plan Marco de Manejo de Aguas Residuales EMPAGUA 2003

El Plan Marco de Manejo de Aguas Residuales revisa y hace ajustes al Plan Maestro del 2016; sin embargo, a pesar que incluye a las municipalidades de la MGCS, está más orientado hacia el Municipio de Guatemala.

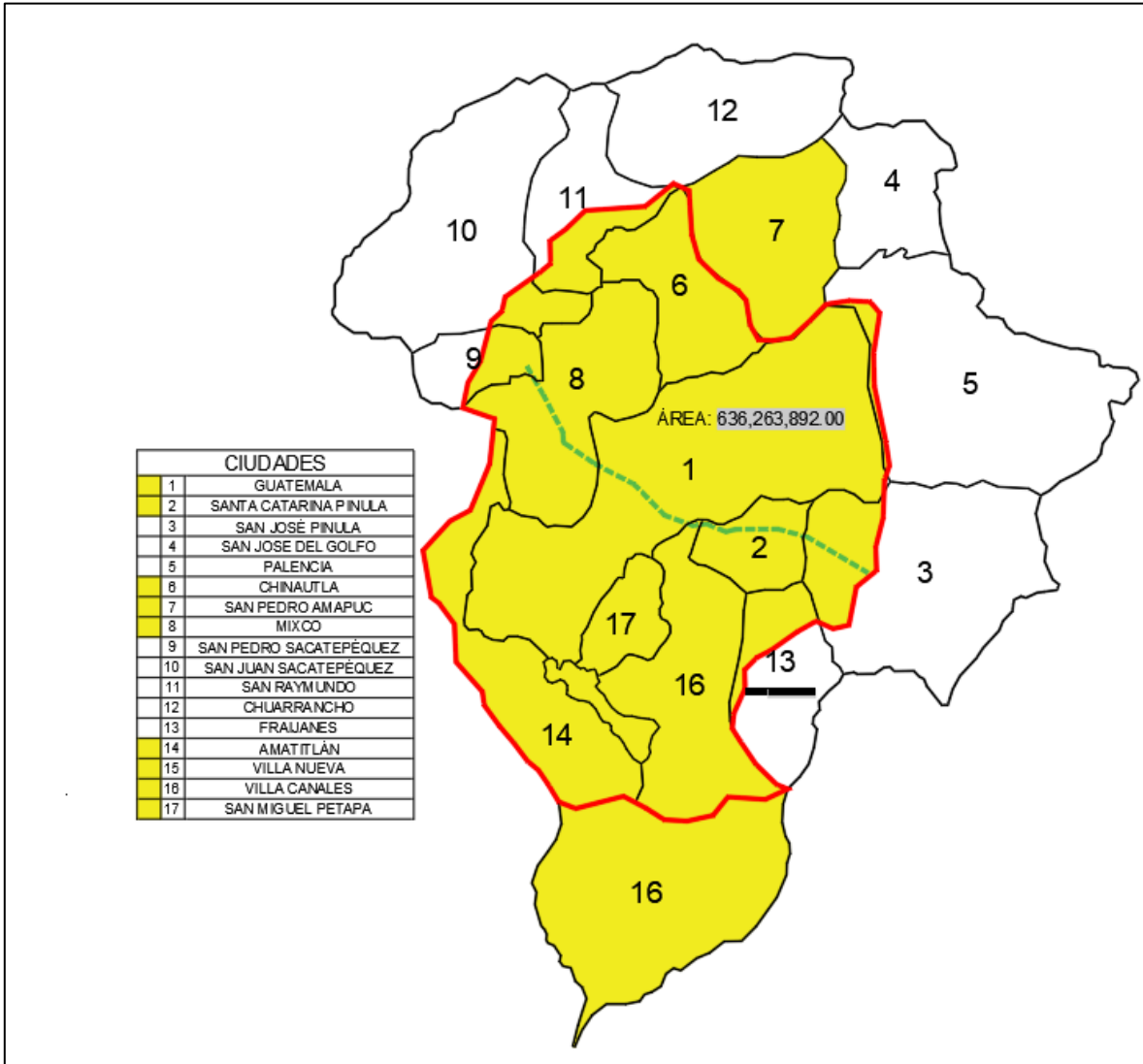
El documento en sí es una actualización y ampliación del Plan Maestro del 1996.

El Plan Marco considera que hay cuatro aspectos que deben ser considerados que son

1. Aspecto Institucional
2. Aspecto Financiero
3. Aspecto Legal
4. Ejecución física de obras

El documento reconoce como válida la lógica seguida en el Plan maestro del 1996 en cuanto a la división de la zona en la Cuenca Norte y la Cuenca Sur, pero aumenta el área de influencia para incluir las municipalidades de Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales y Amatitlán. Esto se justifica por la creciente población en los tres primeros municipios mencionados y el impacto que producen en los cuerpos de agua y el Lago Amatitlán. El área nueva sería de aproximadamente 60,000 Ha

Ilustración 96 Área propuesta Actualización y Ampliación del Plan de Manejo de Aguas Residuales



Respecto al Plan Marco Institucional propone lo siguiente:

- Nueva área de influencia según el mapa de arriba
- Definición de una estrategia de planificación que incluya los nuevos municipios de la nueva área de influencia
- Regularización del diseño y construcción, en cuanto a actualizar reglamentos, criterios de selección de procesos de tratamiento, y separatividad de los alcantarillados sanitarios y pluviales.
- Promoción de tecnologías industriales limpias y adoptar el principio que quien contamina paga
- Formar una unidad de Aguas Residuales a nivel gerencial en EMPAGUA

Respecto al Plan Financiero se propone:

- Implementar tarifas domésticas e industriales tanto para el alcantarillado como para el tratamiento

- Incorporar sistemas privados de alcantarillado y tratamiento

Respecto al marco Legal se propone

- Mejorar el marco legislativo y reglamentario para el control y la operación y mantenimiento de manera de evitar ambigüedades e interferencias entre instituciones en el control de las aguas residuales.
- Elaborar reglamentos respecto a niveles de vertido a cauces, tarifas domésticas e industriales, recepción de sistemas privados de alcantarillado y tratamiento y otros reglamentos

Respecto al Plan de Ejecución Física propone

- Priorizar las obras a ejecutar en base al área de servicio actual de EMPAGUA
- Adquisición de terrenos para la PTAR
- Construcción del Gran Colector Norte y obras de la región central
- Rehabilitación del sistema de alcantarillado
- El Plan Marco prioriza iniciar las obras en el área de servicio actual de EMPAGUA por las siguientes razones:
 - Las municipalidades del área sur no cuentan con recursos para mejorar el manejo de las aguas residuales
 - Las expectativas para formar una empresa metropolitana no son claras ni se ven acciones concretas.
 - No hay uniformidad de criterios en cuanto a la ubicación de las plantas.
 - La conformación a futura de un ente de servicio regional, permitiría a EMPAGUA ajustar sus planes en el área sur.

El Plan de Ejecución Físico y Financiero recomienda:

Construcción del Gran Colector Norte y la Planta de Tratamiento respectiva en un período de 10 años en tres períodos constructivos, para un costo total actualizado al año 2002 de Q 772 millones, de los cuales Q 641.4 corresponde a las obras de alcantarillado y Q 130.36 a las obras de saneamiento. Estos costos (al año 2002) se incrementaron alrededor de 37% con respecto a los costos originales propuestos en el Plan Maestro del 2016.

Población beneficiada hasta el año 2020: 790,990 en la zona Central.

El estudio concluye que la formación de una empresa metropolitana de agua y saneamiento, promoverá la planificación de las acciones que correspondan para la zona Sur, asimismo recomienda que los programas de las aguas y saneamiento en ambas cuencas se haga con una mayor coordinación institucional con el objeto de optimizar recursos, tiempo y ante todo para implantar soluciones integrales.

Plan de Control del Lago Amatitlán y el Río Villalobos, INCLAN, Agosto 2014

Este estudio enmarcado en el Programa de Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago Amatitlán, realizó un diagnóstico completo de la cuenca del río Villalobos y aplicó un modelo de simulación de la calidad del lago para varios escenarios y usando varios programas.

Como parte del estudio y de la simulación se actualizaron algunas de las medidas propuestas en el Plan Maestro de Manejo Integrado de la Cuenca y del Lago Amatitlán (PLANDEAMAT).

Las medidas principales recomendadas por PLANDEAMAT incluyen

1. Ampliación y rehabilitación de 15 colectoras de la Ciudad de Guatemala que descargan aguas residuales crudas hacia la cuenca sur Ver siguiente Tabla
2. Drenaje Sanitario y pluvial del casco urbano de Santa Catalina Pinula
3. Construcción de 12 plantas de tratamiento nuevas localizadas en la cuenca sur de la Ciudad de Guatemala (7), Santa Catalina Pinula (1), San Lucas de Sacatepéquez (1), Magdalena Milpas Altas (1), Mixco (1) y Villa Nueva (1)
4. Rehabilitación de 41 plantas de tratamientos existentes en varios municipios
5. Planta Regional de lodos activados en 4 fases ubicada en Villa Nueva
6. Programa de saneamiento con letrificación en varios municipios

Tabla 85 Colectoras de la Ciudad de Guatemala que se sitúan en la cuenca sur

No	Colector	Zona
1	Colector K-11	7 v 11
2	Colector colonia las Charcas	11
3	Colector colonia Castaña	11
4	Colector El Carmen	12
5	Colector universitario	12
6	Colector Santa Eliza	12
7	Colector Atanasio Tzui	12
8	Colector Campo Santo La Colina	12
9	Colector 51 Calle	12
10	Colector Colonia Ciudad Real,	12
11	Colector Colonia Guaitos	12
12	Colector Sec. Colonia Guaitos	12
13	Colector Secundario Vásquez	13
14	Colector Colonia Santa Fe	13
15	Colector Tecún	
Longitud total 13 km		

El costo total estimado del proyecto a ejecutarse en períodos de 2 a 15 años asciende a US\$ 92.3 millones al año 2014.

Tabla 86 Proyectos considerados PLANDEAMAT y Plan de Control del Lago Amatitlán y el Río Villalobos

Descripción	No	Plazo en años	Costo estimado USD, 2014	Q (lps), 2023
Alcantarillado/colectoras				
Ampliación y rehabilitación de las 15 colectoras en el sur de la Ciudad de Guatemala que descargan aguas residuales crudas a la cuenca del Río Villalobos		10	9,000,000	953
Drenaje sanitario y pluvial del casco urbano de Santa Catalina Pinula		12	19,875,000	39.27
Subtotal			28,875,000	992.27
PTAR nuevas				

Descripción	No	Plazo en años	Costo estimado USD, 2014	Q (lps), 2023
Construcción de 7 plantas de tratamiento en la cuenca sur de la Ciudad de Guatemala	7	14	14,000	953
Sistema de tratamiento para casco urbano de Santa Catalina Pinula	1	2	600,000	39.27
Sistema de tratamiento para casco urbano de San Lucas de Sacatepéquez	1	2	380,000	24
Magdalena Milpas Altas	1	2	1,800,000	10.22
Mixco Cabecera Municipal	1	3	3,400,000	196
Villanueva Cabecera Municipal	1	2	3,700,000	80.2
Planta regional en Villanueva Fase 1	1	8	38,000,000	2000
Subtotal	14		47,894,000	3302.69
Rehabilitación				
Rehabilitación de 41 PTAR's en varios municipios			12,506,182	
Saneamiento en todos los municipios (letrización)		15	3,000,000	
Total			92,275,182	

Adicionalmente el estudio hace el modelaje de la calidad del Lago Amatitlán considerando una serie de medidas en la cuenca y dos escenarios de tratamiento:

El Escenario 1, considera tratamiento convencional con inclusión de unidades secundarias. Bajo este escenario, el estudio concluye que en el lago de Amatitlán se alcanzan unas elevadas tasas de reducción de contaminantes. En el lado Oeste se consiguen reducciones muy significativas en los nutrientes, Amonio (30%), Fosfatos (40%), Fósforo Total (34%) y una enorme mejora en cuanto a la Oxigenación del lago (205%). En el lado este, partiendo de unas concentraciones de nutrientes muy inferiores a las del lago Oeste, se consiguen reducciones significativas de la Clorofila (22%), Fosfatos (32%), Fósforo Total (25%) y una leve mejora en cuanto a la Oxigenación del Lago (106%).

El Escenario 2 contempla plantas de tratamiento con reducción de nutrientes. En este caso las reducciones de nutrientes son más del doble que en el escenario 1. Con este escenario, el lago no sería clasificado como eutrófico una buena parte del año.

Base para la Estructuración de Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala; Luna, Triana, Feb, 2014

El estudio propone tres líneas estratégicas:

- La primera línea estratégica va dirigida al fortalecimiento o la transformación institucional de los actuales prestadores de servicio. Se propone dos líneas de acción:
 - Estudio de fortalecimiento o transformación empresarial
 - Creación de herramientas de gestión gerencial que incluya sistemas de información gerencial, comercial, financiero, logística y de redes documental, además de gestión documental, sistemas de control y gestión de calidad.
- La segunda línea estratégica va dirigida hacia la ejecución de proyectos e incluye la actualización de los planes maestros con visión regional y bajo el concepto de gestión integral de recursos hídricos. Esta línea estratégica incluye todo el manejo de vertimientos y alternativas de tratamiento de aguas residuales, recuperación de la cuenca del río Villa Lobos y del Lago Amatitlán, etc.
- La tercera línea estratégica busca consolidar y fortalecer a la Mancomunidad como el motor del proceso de cambio y como apoyo institucional. Se propone crear una Unidad Administrativa para ejecutar y apoyar a los municipios. Entre las funciones están elaborar TdR, contratar proyectos y darle seguimiento a la ejecución, diseñar a corto y mediano plazo un plan de fortalecimiento municipal para la ejecución de los programas y proyectos y elaborar cronogramas de ejecución valorando los recursos financieros requeridos.

El papel de EMPAGUA es visto como de apoyo y guía para los cambios que las municipalidades de la Mancomunidad deben realizar. Enfatiza que dicho organismo debe participar activamente ya que afecta parcialmente a la Cuenca Sur.

Diseño de una Propuesta Para La Formulación del Plan Maestro del Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas en los Municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur del Departamento de Guatemala; Garrido, Juan Carlos, 2016.

Este trabajo realizado como requisito para obtener la Maestría en ingeniería para el desarrollo municipal, identifica la problemática de saneamiento de la región, realiza un estudio de caracterización de las aguas residuales, define las premisas y actividades a considerar para la formulación de un plan maestro y propone la remoción de fósforo antes de la descarga de las aguas residuales al Lago Amatitlán.

El estudio define las modalidades de gestión de la siguiente manera:

“De esa cuenta, el mismo código municipal establece de manera clara las únicas tres formas para la prestación de dichos servicios: por concesión de las municipalidades a un privado, por las propias dependencias o empresas municipales y a través de las mancomunidades de municipios”.

Reconoce que el “tratamiento de las aguas residuales constituye una competencia municipal que ha sido desatendida por varios factores:

- *primero por la falta de consciencia ambiental de las autoridades municipales;*
- *segundo por la ausencia de capacidad técnica en los cuerpos directores municipales;*
- *tercero por la escasa capacidad financiera de las municipalidades y la falta de apoyo económico del gobierno central; y*
- *cuarta y quizá la más trascendente por negligencia, desinterés e ignorancia de la población”.*

Aborda el problema de financiamiento y la debilidad de las municipalidades de la siguiente forme

“la solución al problema resulta urgente. La competencia municipal está claramente establecida, pero es necesario generar consensos ente población y autoridades locales y de gobierno central a fin establecer modelos financieros que hagan que los sistemas de tratamiento de las aguas residuales sean sostenibles a través de la aportación de los vecinos. Ese constituye legalmente la razón de una tasa municipal, pues el vecino paga por un servicio que le presta la municipalidad de su jurisdicción en beneficio del saneamiento y la salud pública. Los municipios distraen fondos importantes provenientes de las transferencias de gobierno central para subsidiar a los vecinos conectados a las redes municipales de agua potable que no constituyen ni la mitad de sus poblaciones”.

“La falta de una adecuada regulación y la ausencia de tarifas reales de las tasas municipales provocan que el servicio se subsidie en un alto porcentaje a través de las transferencias de gobierno central y recursos municipales propios. De esta situación deriva que los municipios dejen de atender servicios que son competencias propias por subsidiar el agua potable. A excepción del municipio de Santa Catarina Pinula, no hay una política general de lectura y cobro del consumo por inmueble, por lo que el servicio es cada vez más deficiente en calidad y cantidad, llegándose a sectorizar por días y horarios”.

Discursa sobre los diferentes tipos de tratamiento de aguas residuales y su eficiencia.

Define la necesidad de un Plan Maestro integral y aboga por la inclusión de otros municipios que son parte de la cuenca del río Villalobos, se citan varios ejemplos exitosos de planes maestros de varias ciudades capitales de América Latina.

Finalmente, reconociendo que el fósforo es el elemento limitante en la producción de algas y por tanto en el proceso de eutrofización del Lago Amatitlán, propone el estudio o factibilidad de la construcción de una planta que remueva este elemento de las aguas del río Villalobos, mediante un proceso inicial de floculación utilizando semilla de moringa, produciendo fertilizante con valor comercial.

Propuesta para la Formulación del Plan Maestro para la Recolección y Tratamiento de las Aguas Residuales en la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur del Departamento de Guatemala, MGCS

La propuesta considera la ejecución de un proyecto integral de captación, recolección y tratamiento de las aguas residuales dentro de la cuenca del Lago Amatitlán desde las cabeceras de las cuencas hasta la descarga en el río Villa Lobos como afluente principal del Lago Amatitlán.

Los componentes principales son:

1. Captación de las aguas servidas en todos los puntos de descarga de todos los municipios ubicados dentro de la cuenca del Lago de Amatitlán.
2. Entubado de todas las aguas servidas captadas para conducir las hacia plantas de tratamiento de aguas residuales.
3. Construcción de plantas de tratamiento dentro del cauce o paralelos al recorrido de los ríos y quebradas, para utilizar las aguas tratadas en áreas de riego de sembradíos y/o desfogar las aguas tratadas al río Villa Lobos o sus afluentes y finalmente confluir las aguas tratadas al Lago de Amatitlán.
4. Implementar sistemas de tratamiento para reducir y eliminar en el mediano plazo la eutrofización que actualmente registra el Lago de Amatitlán.
5. Instalación a través de una Alianza Pública Privada, de una planta productora de fertilizantes a

base de fosfatos con la obtención del fósforo contenido en las aguas de la cuenca, promoviendo de esta manera un proyecto, que adicional a la rentabilidad que produzca, descontamine las aguas de la cuenca.

Algunos aspectos de planificación y financiamiento considerados son:

- El financiamiento se lograría con la gestión de un préstamo blando con garantía del Gobierno Central y la contribución del 5% de la inversión municipal anual. Esto se facilita declarando el proyecto como de interés de Nación.
- La recuperación de la inversión se lograría con el establecimiento de tarifas en la factura mensual de energía eléctrica.
- Se propone como ente rector a la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur para formular el Plan Maestro para la Recolección y Tratamiento de las Aguas Residuales en la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur del Departamento de Guatemala.

Componentes del Proyecto:

En lo que respecta a saneamiento de las aguas residuales, se proponen los siguientes componentes;

1. La construcción de una red de colectores de aguas servidas que intercepten y recolecten de manera paralela a las cuencas de los ríos, las aguas servidas generadas por los centros de población a fin de conducirlos a mega plantas de tratamiento a construir, ampliar o reparar, previo a su desfogue a la cuenca del lago de Amatitlán. Longitud total de 17.94 km.

Tabla 87 Colectores Interceptores de Aguas Residuales

COLECTOR	PTAR	MUNICIPIOS	Longitud (M)
Platanitos	La Cerra I	Villanueva, San Miguel Petapa y Villa Canales	14,041
Pinula	LA CERRA LI	Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa y Villa Canales	16,194
El Molino	El Solano	Mixco y Villa Nueva	10,471
San Lu Cas		Mixco	7,7117
Michatoya	Michatoya	Amatitlán	1,882
El Frutal	Villa Nueva Norte	Villa Nueva y Guatemala	5,640
Rio Villa Lobos	Laguna De Retención	Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales	15,47)
Total			17,937

2. La rehabilitación y construcción de 9 plantas de tratamiento de aguas residuales para proveer una capacidad de tratamiento de 2500 lps.

Tabla 88 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuestas

PTAR	CONDICION	MUNICIPIOS	Capacidad (lps)
San Cristóbal	Ampliación y Mejoramiento	Mixco	150
San Agustín Las Minas	Ampliación y Mejoramiento	Villa Canales	100
El Frutal	Construcción	Villa Nueva	350
Laguna de Retención	Ampliación y Mejoramiento	Villa Canales	250
La Cerra I	Ampliación y Mejoramiento	Petapa y Villa Canales	

PTAR	CONDICION	MUNICIPIOS	Capacidad (lps)
La Cerra II	Construcción	Villa Canales	350
El Solano	Construcción	Mixco y Villa Nueva	350
Villa Nueva Norte	Construcción	Villa Nueva y Guatemala	350
Michatoya	Construcción	Amatitlán	250
TOTAL			2500

3. Gestionar una capital semilla de 60 millones de dólares a través de un financiamiento blando del BID con la garantía del Estado de Guatemala. Se requiere de una inversión total de alrededor de 1,170 millones de quetzales en un plazo de siete años, que contempla a partir del tercer año mecanismos mecánico-biológicos de recuperación del espejo de agua del lago, cuando ya no estén ingresando aguas contaminadas.

Tabla 89 Inversión Anual Préstamo e Ingresos por tasa municipal (Quetzales)

Planificación del proyecto	25,000,000
Colectores Mancomunidad	380,433,737
Colectores PTAR Ciudad Guatemala	500,000,000
Pozos De Visita	29,000,000
PTAR's	190,000,000
Barcos Scavenger (Lago Amat.)	42,743,470
Total Inversión	1,167,177,207

4. La promulgación de una legislación de tasa común en todos los municipios mancomunados adscrito al recibo de energía eléctrica en los todos los inmuebles registrados en los siete municipios por concepto de Tratamiento de las Aguas Residuales y Disposición final de desechos sólidos. Se propone una tarifa de Q. 20.00 mensuales para inmuebles de uso residencial y un escalonamiento de la tasa para la Industria en función de su actividad y generación de aguas residuales. Este ingreso anual permitiría contribuir al pago del préstamo con garantía del Estado, la operación y mantenimiento de toda la infraestructura de saneamiento a construir y un fondo de superávit anual que se destinaría de manera proporcional a los ingresos entre los municipios mancomunados para la construcción de las redes secundarias de drenajes sanitarios en los centros poblados. De manera proporcional se destinarían parte de los ingresos anuales para que ciudad de Guatemala empiece a resolver la temática de la cuenca de la vertiente del Atlántico.
5. A través de Alianza Público Privadas al amparo de la legislación vigente y como ente rector la Instancia Mancomunada, se implementarían la construcción de una planta de remoción del fósforo contenido en las aguas del río Villalobos

Formulación de Propuesta para el Tratamiento de Aguas Residuales MGCS, Nov. 2019

La formulación de este plan, es una ampliación de la Propuesta de Formulación anteriormente descrita y presentada en Power Point.

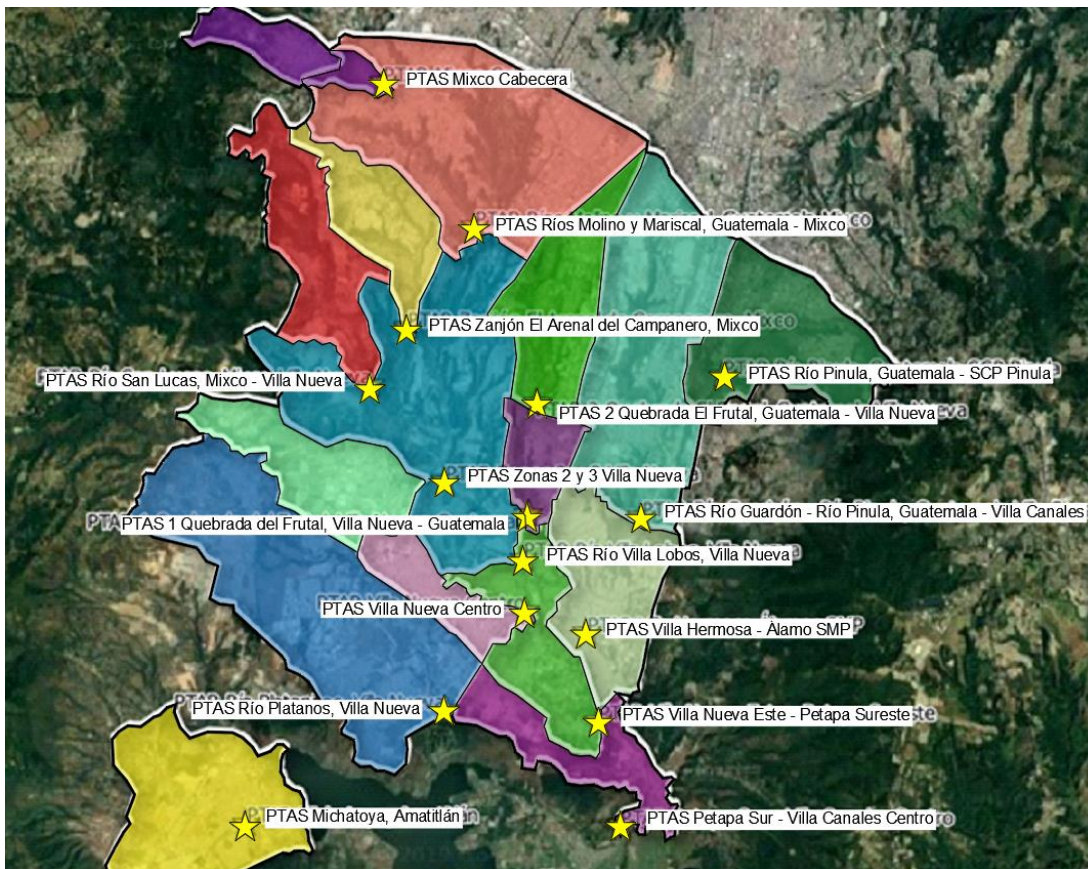
La nueva propuesta divide el área de influencia en 15 polígonos que incluyen al municipio de Guatemala, cada uno con una planta de tratamiento listadas a continuación:

Tabla 90 Propuesta de Plantas de Tratamientos de Agua Residual, MGCS

No.	PTAR	Municipio
1	Río Guadrón-Río Pinula	Guatemala / Villa Canales
2	Río Pinula	Guatemala / Santa Catarina Pinula
3	Quebrada del Frutal 1	Guatemala / Mixco / Villa Nueva
4	Río Villa Lobos	Guatemala / Villa Nueva
5	Río San Lucas	Mico / Villa Nueva
6	Quebrada el Frutal 2	Guatemala / Villa Nueva
7	Zanjón El Arenal Campanero	Mixco
8	Ríos Molino y Marical	Guatemala / Mixco / Villa Nueva
9	Michatoya	Amatitlán
10	Río Platanitos	Villa Nueva
11	Villa Nueva Centro	Villa Nueva
12	Villa Hermosa-Álamos	San Miguel Petapa
13	Villa Nueva Este - Petapa Sureste	San Miguel Petapa / Villa Nueva
14	Petapa Sur - Villa Canales Centro	San Miguel Petapa / Villa Canales
15	Zonas 2 y 3 Villa Nueva	Villa Nueva

La siguiente Figura exhibe la ubicación de las plantas de tratamiento.

Ilustración 97 Propuesta de PTAR y cuencas aportantes, MGCS



No se tiene mayor información de esta propuesta, pero se asume se aplicarán los mismos factores considerados en el documento formulado anteriormente que incluye los pasos de planificación y diseño, gestión de financiamiento y ejecución del mismo por fases.

Plan Maestro de Saneamiento; Miranda, Jeovany, EMPAGUA, 2019

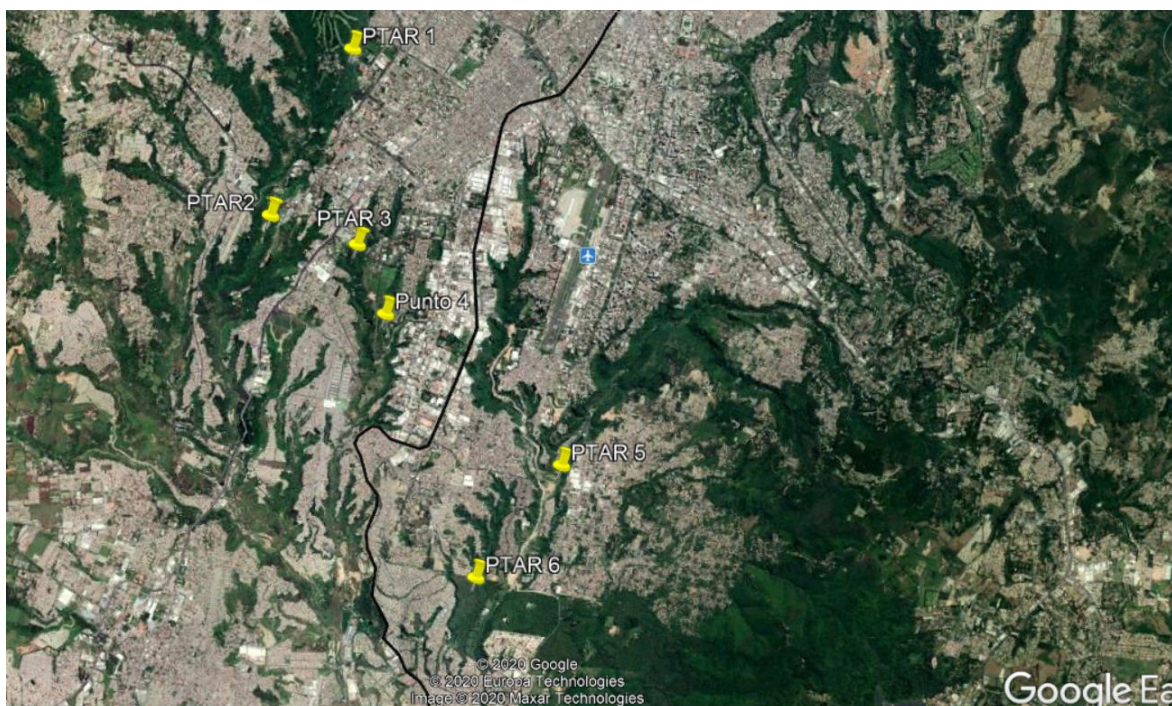
Este documento hace una revisión de la información de la situación de los cuerpos receptores, plantas de tratamientos existentes, estudios que se han realizado, y planes maestros propuestos con los esquemas de financiamiento analizados.

Avala, el Plan Maestro “Estudio del mejoramiento del Manejo de las Aguas Residuales en el Área Metropolitana de Guatemala”, Nihon Suide Consultants, 1996 y las revisiones hechas en el Plan Marco como la actualización de costos al año 2002.

El informe revisa los posibles sitios de tratamiento propuestos para las Cuenca Sur 1, 2 y 3 y agrega tres nuevas PTARs, 4, 5 y 6. Además revisa posibles sitios de ubicación para la planta de tratamiento de la Cuenca Norte.

A continuación, se muestran los sitios ubicados para las 6 plantas de tratamiento.

Ilustración 98 Ubicación de sitios propuestos de PTAR Cuenca Sur Ciudad de Guatemala



Para la Cuenca Norte se evaluaron 7 posibles sitios, la figura siguiente muestra el sitio originalmente propuesto en el Plan Maestro del 1996 y revisado en el nuevo estudio, también se muestra el colector norte.

Ilustración 99 Ubicación de PTAR en la Cuenca Norte

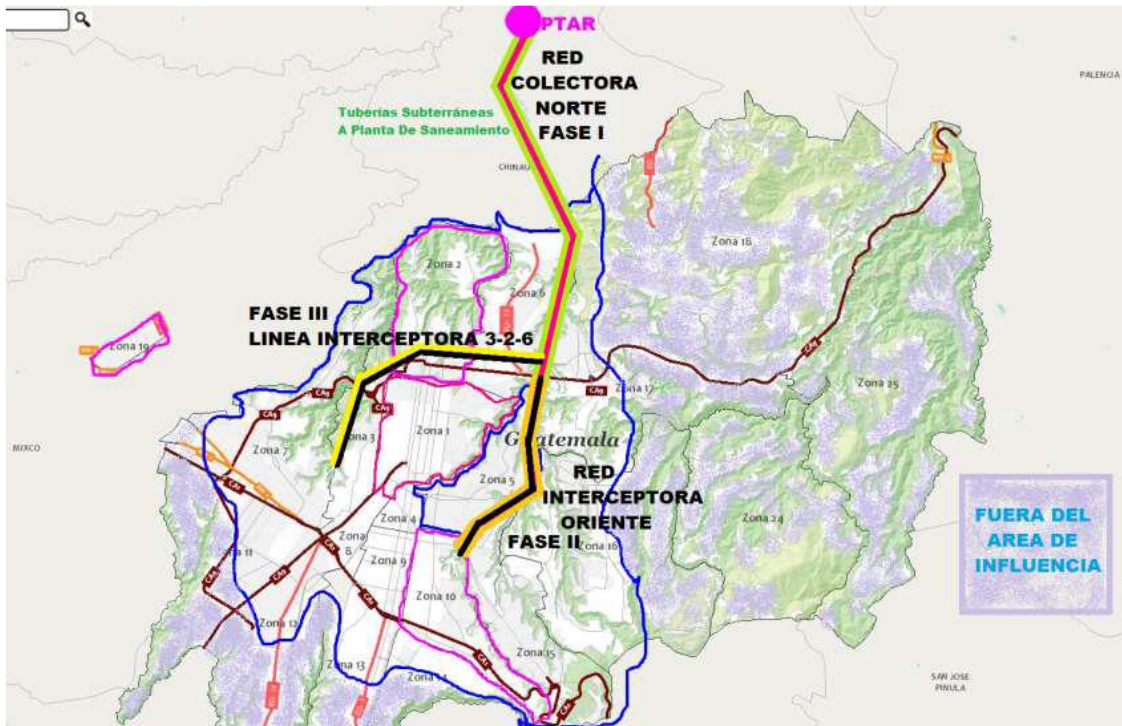
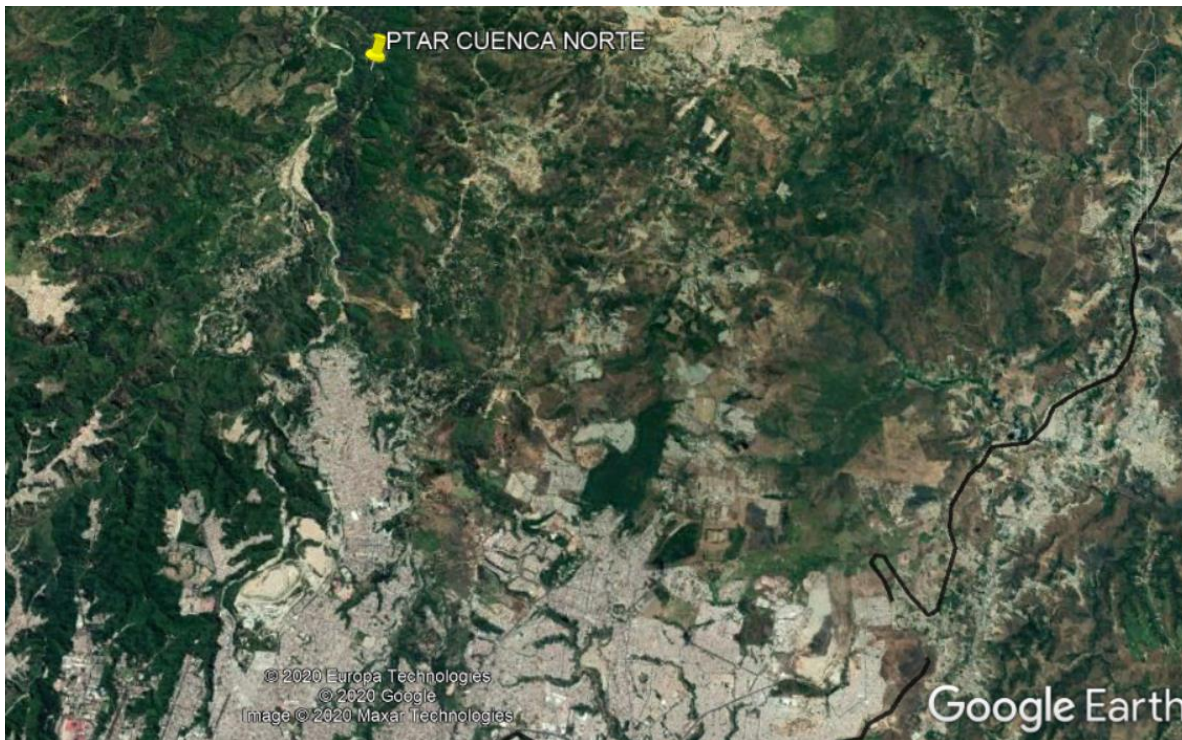


Ilustración 100 Ubicación de sitios propuestos de PTAR Cuenca Sur Ciudad de Guatemala



El Plan Maestro muestra el incremento de costos de inversión del Plan Maestro del 1996, el cual pasa de Q1,900 a Q2,616 millones en el 2002 o un incremento de 37.7% como lo detalla el Plan Marco.

12.1 Análisis y Retos

A través de todos los estudios se han notado dos enfoques, uno hacia la construcción de pequeños sistemas que ha sido la tendencia que se ha seguido hasta la fecha, y un segundo enfoque que apuesta por soluciones regionales o más integrales.

A pesar de todos los estudios, no se han ejecutado o construido los planes regionales, ni siquiera se han llevado a nivel de diseño final. Algunos estudios han llevado los proyectos a nivel de factibilidad, pero la mayoría se ha quedado a nivel de prefactibilidad o nivel conceptual. Por esa razón no se han evaluado al detalle ingenieril y de factibilidad los retos que implica llevar las aguas residuales a los colectores y a los sitios propuestos de tratamiento y tampoco los costos verdaderos.

Las estimaciones de inversión de los planes maestros han sido elevadas, del orden de Q 1000 millones a Q 2,600 millones al año 2002, estimaciones que siguen aumentando con el tiempo. Esto se debe a la inflación y el desarrollo urbano que hace cada día más difícil y costoso encontrar terrenos disponibles o implantar colectores.

Los programas iniciales se concentraron en el área de servicio de EMPAGUA, para el cual se han desarrollado en más detalle los proyectos y estimaciones de costos. Sin embargo, las últimas propuestas han reconocido la necesidad de proyectos integrales que incluyan a todos los municipios de la MGCS y en algunos casos municipios aledaños que son parte de la cuenca del Villa Lobos. Esto por varias razones:

- La integración de las ciudades del área metropolitana, en cuanto a transporte, abastecimiento de agua, saneamiento, abastecimiento eléctrico, etc.
- El reconocimiento que el saneamiento de la cuenca del Lago Amatitlán solo se logrará con el esfuerzo conjunto de todos los municipios que forman parte de la cuenca.
- La Ciudad de Guatemala contribuye significativamente con la contaminación de la cuenca sur.

Los estudios han propuestos o sugerido varios modelos de gestión para el manejo de las aguas residuales con PTAR regionales, entre ellas se han considerado los siguientes:

- Formación de una empresa municipal mancomunada similar a EMPAGUA, con apoyo y asistencia de esta entidad.
- Fortalecimiento de las municipalidades para operar los sistemas.
- Administración de los sistemas por EMPAGUA aprovechando la experiencia y capacidades de la empresa, la cual tendría que ampliar sus unidades operativas y de gestión.
- Concesiones por parte de las Municipalidades a empresas privadas
- Creación de una Unidad Operativa temporal dentro de la MGCS

Se observa en los diferentes estudios que no hay consenso acerca de la gestión.

Todas las propuestas reconocen que independientemente del modelo de gestión se requiere:

- Adaptar el marco regulatorio al nuevo modelo de gestión
- Fortalecer las capacidades municipales
- Establecer acuerdos entre las municipalidades involucradas
- Crear mecanismos para recuperar las inversiones y para operar los sistemas, a través de tarifas.

Las soluciones propuestas para la Ciudad de Guatemala no han variado desde el Plan Maestro del 2016 y solo se han modificado para incluir nuevas áreas de crecimiento urbano y se han actualizado los costos usando índices de costos de construcción.

Algunos estudios discuten acerca del establecimiento de los niveles de tratamiento basado en la definición de las metas del efluente.

Los retos mencionados en el capítulo anterior sobre alcantarillado y PTAR aplican a esta sección.

13 Conclusiones y Resumen de Retos

La recolección y el tratamiento de las aguas residuales de los centros urbanos del área metropolitana de la Ciudad de Guatemala, ha sido el último servicio en ser atendido ante la demanda de los otros servicios considerados más vitales. La consecuencia de esta displicencia ha sido un aumento en la contaminación de los sitios de recepción de las aguas residuales que consisten en quebradas, ríos y lagos.

El crecimiento acelerado de la población y el desarrollo urbanístico en las últimas décadas ha ejercido una mayor presión en el ambiente y esto ha creado mayor conciencia de la necesidad de mejorar la captación de las aguas servidas, así como su tratamiento. Con este fin se han formado organizaciones como AMSA y FUNCAGUA entre otras con el objetivo de proteger los recursos y recuperar la calidad degradada de los cuerpos de agua.

Tradicionalmente, las soluciones de alcantarillado y saneamiento han sido abordadas en forma desorganizada y un poco aleatoria, lo que ha instaurado un sin número de pequeños sistemas administrados parcialmente por las municipalidades y parcialmente por entidades privadas como urbanizadoras, industrias y otros. Bajo esta circunstancia los requerimientos de saneamiento, han rebasado las capacidades de las municipalidades y de las instituciones relacionadas con el sector, los que se encuentran en un proceso de fortalecimiento y capacitación apoyado por varias organizaciones, siendo la principal la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS), integrada por miembros de las municipalidades de Santa Catarina Pinula, Mixco, Guatemala, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales y Amatitlán.

A través de este diagnóstico se ha evidenciado las debilidades del sector que ha provocado la contaminación de los ríos y lagos del área de influencia y más allá de los límites de la GCS como es el río Motagua.

El diagnóstico es un primer paso hacia el reconocimiento del problema y la identificación de los retos que a continuación se resumen.

Marco Regulatorio	Estructuración del Sector de Agua Potable y Saneamiento, definiendo, ordenando y ejerciendo claramente las funciones de Rectoría, Regulación y Prestación de los Servicios en función de la gestión sostenible de los servicios de agua y saneamiento
	Definición más clara y consensuada de las políticas de saneamiento, que ayude a definir las estrategias y planes graduales en función de objetivos específicos.
	Definición de marcos regulatorios y reglamentación de sistemas regionales y mancomunados de saneamiento

Prestación de los Servicios	Fortalecer la capacidad de gestión de las municipalidades en cuanto a todos los aspectos de planificación estratégica, manejo de información, ejecución de obras y labores de operación y mantenimiento. Esto puede requerir un análisis y reestructuración del modelo de gestión actualmente en ejecución.
-----------------------------	---

	Lograr la auto sostenibilidad de la prestación de los servicios o al menos mejorar el balance financiero en lo que respecta a ingresos y egresos de los servicios de agua y saneamiento a través de políticas tarifarias
	Analizar y mejorar el marco regulatorio que permita integrar la gestión de los sistemas privados a los sistemas de gestión municipal, o al menos mejorar la coordinación entre los ministerios a cargo de estas funciones con las municipalidades
	Definición del modelo de gestión mancomunado para soluciones regionales

Cuerpos de agua fluvial	Recuperación de la calidad de los ríos a través de la reducción drástica de las descargas contaminantes principalmente de aguas residuales doméstica e industriales.
-------------------------	--

Lago Amatitlán	Recuperar la calidad del lago mediante la reducción del nivel de contaminación bacteriano en la zona oeste, reducción del aporte de nutrientes principalmente fósforo y reducción de la carga orgánica
Agua Potable y Recursos Hídricos	Disminución de la oferta hídrica que obligará las municipalidades a explorar nuevas fuentes de abastecimiento más profundas, más lejanas y más costosas

Alcantarillado y Tratamiento	Políticas Sanitarias
	Definición de metas de recuperación de cuerpos de agua, para definir calidad y gradualidad para alcanzar dichas metas
	Definición de estrategia a seguir respecto a la consideración de sistemas regionales o locales o una combinación de ambos
	Obtener el empoderamiento a nivel de Gobierno Central de los proyectos de saneamiento, sobre todo en apoyo de gestión con las instituciones financieras y las garantías solicitadas por dichos organismos
	En caso de soluciones regionales, definición de institución o instituciones que será la Unidad Ejecutiva del Proyecto en todas sus fases. Creación y fortalecimiento de dicha unidad.
	Crear marco regulatorio para los aspectos de coordinación inter-municipal para los proyectos regionales
	Retos Técnicos
Conducción de aguas residuales de colectores, desfuegos y PTAR existentes hacia las plantas de tratamiento, utilizando las tecnologías apropiadas para vencer el terreno accidentado de la región	
Disponibilidad de sitios de tratamiento en terrenos con suficiente área	

	<i>Retos Institucionales</i>
	Fortalecimiento de gestión municipal en acuerdo con el modelo de gestión de prestación de los servicios
	Crear los mecanismos de coordinación con todos los actores involucrados en la gestión y seguimiento de los prestadores de servicio, de manera que las municipalidades sean partícipes de la gestión de los entes privados de manera que estos se empoderen de las actividades de saneamiento del territorio municipal
	<i>Retos Regulatorios</i>
	Revisión y adaptación de todo el marco regulatorio al modelo de gestión propuesto para el manejo de las aguas residuales
	Promulgación de leyes y procedimientos para traspasar los sistemas privados a los sistemas regionales
	<i>Retos Financieros</i>
	Establecer una política tarifaria que promueva la auto sostenibilidad de los servicios

Bibliografía

Documentos de la MGCS

Presentación Diagnóstico Inicial Agua Potable Municipios MGCS

Diagnóstico Inicial de Agua Potable, Portal MGCS

Ejes Estratégicos, Portal MGCS

Estudio Piezométrico de pozos Cooperación FUENCAGUA-MGCS, marzo 2019

Formulación de Propuesta para el Tratamiento de Aguas Residuales, Portal MGCS, Nov. 2019

Gestión del Agua Potable de la Comunidad, Portal MGCS,

Listado de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales MGCS, actualizado, Febrero 2019

Memoria de Labores de MGCS año 2018, Portal MGCS

Presentación Agua y Saneamiento MGCS (21-08-2020) para INFOM

Propuesta MGCS Tratamiento Aguas Residuales (Nov 2019)

Información GGCS ArcGIS con datos climatológicos, pozos y redes de distribución, alcantarillado, plantas de tratamiento, MAGA-Digger, Estudios en el Área

Inventario Industrial de Entes Generadores Cuenca Sur, AMSA (archivo en Excel)

Memoria de labores 2018 EMPAGUA

Registro de Monitoreo de pozos y PTAR 2019 y 2020, AMSA

Resúmenes Censales de Población, Servicios de Agua Potable y Sanitarios, Censo NE, XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda - 2018

Planes Estratégicos del Área de Estudio

Base para la Estructuración de Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala, BID-Luna, Humberto. Feb. 2014

Estudios sobre el mejoramiento del Manejo de Aguas Residuales en el Área Metropolitana de Guatemala, 1996

Plan de Control de la Contaminación de la Contaminación del Lago Amatitlán y del Río Villalobos, INCLAM, 2014

Plan Maestro de Saneamiento, Miranda Jeovany, EMPAGUA, 2019

Plan Marco de Manejo de Aguas Residuales Año 2003 - 2020, EMPAGUA, marzo 2003

Propuesta para la Formulación del Plan Maestro para la Recolección y Tratamiento de las Aguas Residuales en la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur del Departamento de Guatemala, MGCS, 2015

Estudios Técnicos de Municipios del Área de Estudio

Estudio Técnico de Aguas Residuales Municipalidad de Amatitlán, Diciembre 2016

Estudio Técnico de Aguas Residuales Municipalidad de Mixto, Junio 2017
Estudio Técnico de Aguas Residuales Municipalidad de San Miguel de Petapa, Junio 2017
Estudio Técnico de Aguas Residuales Municipalidad de Santa Catarina Pinula
Estudio Técnico de Aguas Residuales Municipalidad de Villa Nueva, Junio 2017
Estudio Técnico de Aguas Residuales Municipalidad de Villa Canales, Junio 2018

Recursos Hídricos y Lago Amatitlán

Análisis de la calidad de agua 2008-2013 lago de Amatitlán; Mosquera, Virginia, 2014
Boletín técnico Lago Amatitlán No 1-Abril, 2020, Rodriguez, Lucila
Diagnóstico de los cuerpos de agua de la cuenca del lago de Amatitlán, AMSA, 2018
Documento Conceptual para Manejo Integrado de Recursos Hídricos en los Municipios que conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, MGCS, 2017
Estado de los cuerpos de agua de la cuenca del lago de Amatitlán, AMSA 2019
Evaluación Final del Programa de Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago Amatitlán (PRACLA)-GU 0066; AMSA-Siu, Rolando, Nov, 2014
Información tabulada en Excel. Datos de Monitoreo Cuenca Lago Amatitlán 2018 y 2019, AMSA
Modelo de Simulación como herramienta de control de Calidad - Lago Amatitlán, PRACLA, Abril 2016

Normas Guías, Regulaciones, Acuerdos Gubernativos

Acuerdo COM-036-03 Modificaciones de Cobros por Servicio Público de Agua Potable y Alcantarillado 23_12_2003
Acuerdo Gubernativo No. 110-2016, MARN
Acuerdo Gubernativo No. 138-2017, MARN
Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, MARN
Acuerdo Ministerial No, 523-2023, MSPAS
Código de Salud 90-97, MSPAS
Decreto Numero 64-96 Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, 1999
Guía de Planificación Municipal 2021 - 2025, SEGEPLAN
Guía para formulación de Políticas Públicas 2017, SEGEPLAN
Guía Plan de Ordenamiento Municipal -OT, SEGEPLAN, 2018
Manual de Organización y Funciones, Portal de EMPAGUA
Norma Técnica COGUANOR-NTG-29-001

Norma Técnica número DRPSA-002-2018, Requisitos construcción o rehabilitación de Alcantarillados Sanitarios

Política Nacional Sector Agua Potable y Saneamiento. MSPAS

Reglamento de drenaje de la Ciudad de Guatemala, 1964

Reglamento del Servicio Público de Alcantarillado y Drenaje, Municipio de Guatemala, Feb 1989

Tesis de Maestría USAC

Causas del deterioro de la calidad del agua del río Pinula y evaluación de efectos en el agua de pozos cercanos, y la respuesta del fitobentos y macroinvertebrados durante la época seca del año 2012. Herrera, Humberto

Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Lago Amatitlán, AMSA, Cano, Manuel, 2018

Diseño de la investigación de las condiciones actuales de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área metropolitana de Guatemala: el caso de la planta de Ciudad Peronia. Pilo, Angélica, 2013

Diseño de una propuesta para la formulación del plan maestro del tratamiento de las aguas residuales domésticas en los municipios de la mancomunidad gran ciudad del sur del departamento de Guatemala-Garrido, Carlos, 2016

Interpretación químico-métrica de la calidad del agua de los ríos que conforman la microcuenca del Río Villalobos, principal tributario del Lago de Amatitlán, durante los años 1996 a 2006. T Gil, Norma.

Estudios Hidrogeológicos, Cartografía

Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala; INSIVUMEH, IGN, ONU, 1978

Efectos sociales de la falta de normativa jurídica en la explotación de aguas subterráneas en colonias residenciales del municipio de Mixco; Baeza, Mercedes, 2006

Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión; Pérez, Carlos, 2009

Estudio hidrogeológico de los acuíferos volcánicos de la república de Guatemala; Ibáñez Isaac et al, 2016

Hidrogeología de la Cuenca del Río Platanitos, López, Dany 2005

Hojas Cartográficas de Mapas Topográficos Escala 1:50000 ING

Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central; Losilla, Marcelino et al, 2001

ANEXO 1. Información Solicitada a Municipalidades

Objetivo

Recopilación de información para realizar diagnósticos

Población

Proyecciones de población hasta el año 2050

Alcantarillado Sanitario

Tipo de alcantarillado (combinado o separado)

Cobertura estimada (% de población con alcantarillado sanitario)

- cobertura de alcantarillado combinado

- Cobertura de alcantarillado sanitario separado

Mapa con redes de alcantarillado

Planes de expansión de redes existente o planeado

Puntos de descarga al río

Problemas o retos que identifican

Tratamiento Existente Plantas Privadas

Cobertura estimada de tratamiento (% de población con tratamiento)

Plantas de tratamiento administradas por municipalidad

Plantas de tratamiento de residenciales privadas

Ubicación de plantas de tratamiento

Procesos y eficiencia de remoción

Puntos de descarga

Problemas o retos que identifican

Tratamiento Futuro Planta Municipal

Planes de construcción de planta o plantas de tratamiento

Posibles sitios de ubicación de plantas (muy importante)

No importa que sean terrenos públicos y/o privados

Problemas o retos que identifican

Industrias

Inventario industrial con la siguiente información

Ubicación de las industrias

Tipo de industria

Si tiene o no tiene tratamiento

¿En caso tenga tratamiento, que tipo? Y eficiencia

Producción anual de productos (estimado)

Puntos de descargas de aguas residuales industriales

Problemas o retos que identifican

Información de Agua Potable

Cobertura estimada de Agua Potable (% de población con tratamiento)

Privada

Municipal

Fuentes de agua potable

Tratamiento de agua potable

Ubicación de plantas de tratamiento de agua potable

Información de Disposición de sólidos

Cobertura de colección de basura

Ubicación de relleno sanitario

Ubicación de basureros clandestinos

Drenaje Pluvial

Forma de drenaje pluvial

Aspectos de Monitoreo

Entidad responsable de monitoreo de

Agua Potable (fuente y redes)

-Descargas de alcantarillado sanitario

-Descargas de tratamiento de aguas residuales

- Cuerpos de agua o río que recibe descarga

Información de monitoreo existente

- Aguas crudas de alcantarillado sanitario que descargas a ríos
- Aguas tratadas de plantas de tratamiento
- Aguas de cuerpo receptor o río

Para cada información proveer ubicación exacta de punto monitoreo

Problemas o retos que identifican

Aspectos regulatorios y normativos

Normativa que aplican para:

- Alcantarillado Sanitario
- Tratamiento de aguas residuales
- Requerimientos de monitoreo
- Responsabilidad de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento privadas

Comentarios acerca de cambios deseados del marco regulatorio

Tienen algún código u ordenanza municipal de Agua y Saneamiento

Problemas o retos que identifican

Planes de Ordenamiento Territoriales

Si existen enviar información

Si no existen estado de avance

Gestión y Administración del Servicio

Organigrama de funciones

Responsabilidad dentro del organigrama de

- Operación y mantenimiento de los sistemas de Agua potable, alcantarillado sanitario y tratamiento
- Comercialización cartera de cobros Ingresos y Egresos
- Planificación de obras de expansión de agua potable, alcantarillado y tratamiento
- Monitoreo
- Seguimiento a sistemas privados

Problemas o retos que identifican

Información financiera actualizada (último año)

Por sistema de agua potable, alcantarillado sanitario y tratamiento

-Ingresos

-Egresos

-Balance de superávit o déficit

- ¿En caso de subsidio, quien subsidia?

Expectativas y Perspectivas de Autoridades Municipales

Planes futuros de expansión de los sistemas

Planes maestros u otros programas propuestos

Programas de capacitación integrada con otros municipios

Coordinación con otros municipios a través de MGCS

Gestión y administración integrada con otros municipios

Otros

ANEXO 2. Análisis Realizado por Triana

Resumen del Análisis del Diagnóstico del Sector de Saneamiento realizado por Triana en el Documento “Base para la Estructuración del Plan Estratégico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento para la Gran Ciudad del Sur y la Ciudad de Guatemala” realizado en el año 2014.

En el capítulo anterior se hizo una revisión de la forma como se están prestando los servicios de acueducto y alcantarillado, incluido el tratamiento de aguas residuales, en los municipios que conforman la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. El objetivo era caracterizar la prestación de los servicios, entender e identificar aquellos aspectos del modelo de gestión público y centralizado que han adoptado todos los municipios estudiados, que nos sirviera de fundamento para construir unas líneas de direccionamiento estratégico que deberíamos adoptar dentro del escenario regional al cual se ven expuestos dentro de los objetivos señalados por la integración en Mancomunidad.

El agotamiento y la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, la necesidad de conseguir servidumbres y hacer acuerdos especiales para su conducir las aguas desde su origen hasta el lugar de suministro, la deficiente gestión de redes, la falta de control de vertimientos contaminantes, y disposición con restricciones especialmente de carácter ambiental, son algunos de los problemas que se vieron obligados a resolver casi en forma inmediata las administraciones municipales en aspectos relacionados exclusivamente a la gestión de la prestación de acueducto, alcantarillado y saneamiento.

Es evidente que las oficinas municipales encargadas de la prestación de los servicios, atendiendo el enorme rezago con lo que sería una prestación eficiente, se convirtieron en unidades eminentemente operativas para atender, al menos, el día a día, la urgencia de cara al usuario. Esta es una de las razones de la debilidad en la capacidad de planeamiento encontrada en estas oficinas. La construcción de un Plan Operativo Anual con el fin de tener un presupuesto, también anualizado, es la principal herramienta de planificación que manejan actualmente las oficinas de Servicios Públicos, que en la mayoría de los casos, comparten responsabilidad con actividades de limpieza de calles, cementerios, plazas de mercado, ornato público y otras.

Los Planes de Ordenamiento Territorial y los Planes de Desarrollo como herramientas de planificación de largo y mediano plazo, construidos con apoyo de las entidades del Estado, SEGEPLAN e INFOM, aún no logran convertirse en las líneas estratégicas para la planificación de largo plazo de la gestión de los servicios públicos.

Una característica que es difícil de entender, es la forma “aislada” con la que los municipios han venido desarrollando su gestión. Y es difícil de entender, porque es imposible ocultar que todos los temas asociados al servicio, desde el abastecimiento hasta el saneamiento, y desde la Ciudad de Guatemala hasta el Lago Amatitlán, están íntimamente relacionados lo que debería ser una visión regional e integral del manejo de los recursos hídricos. Por lo tanto, al menos los Planes Maestro de Acueducto y Alcantarillado, incluyendo abastecimiento y saneamiento, para ser viables, deben replantear sus bases conceptuales para que realmente se conviertan en planes directores de una gestión regional e integral.

Con excepción hecha del programa de Microcircuitos del Municipio de Villa Nueva, ningún municipio tiene un Plan Maestro de redes de Acueducto. Generalmente los Planes de Acueducto corresponden a expansiones de la red existente, algunas líneas para conexión de pozos y renovación y rehabilitación de la red existente.

Los Planes Maestros de Alcantarillado existentes no tiene una visión regional, sino local, y su coordinación con los planes de saneamiento (tratamiento de aguas residuales) necesariamente deben ser revisados, no solo por el hecho de que los estudios existentes son muy antiguos, sino que es preocupante que continúan con una política que ya ha fracasado, como es la construcción y rehabilitación de un número muy importante de plantas de tratamiento de aguas residuales, que posteriormente han dejado de funcionar. Los problemas que esta situación origina son de gran impacto, como, por ejemplo,

contaminación de cauces, desmejora de las condiciones de salud pública y ambiental, contaminación del acuífero, altos costos operativos, entre otros. Entre esta problemática es relevante mencionar el impacto de la cuenca sobre el Lago Amatitlán.

Los Planes Maestros para el alcantarillado pluvial son prácticamente nulos, no solo a nivel regional, sino también a nivel local. No obstante, en los Planes de Desarrollo Local y de ordenamiento territorial, se mencionan temas relacionados al manejo del drenaje en las cuencas, recuperación de zonas hoy desbastadas por explotación minera y deforestación, creación de zonas de infiltración, etc., inclusive la mitigación de los impactos bajo escenarios de Cambio Climático.

La situación desde el punto de vista institucional también es muy débil en los municipios de La Mancomunidad. La prestación de los servicios está totalmente fraccionada no solo al interior de las municipalidades, sino que la falta de control sobre los prestadores privados.

La prestación directa de los municipios limita el concepto empresarial de la gestión a todo nivel. Es débil la coordinación de las áreas de planificación con las áreas operativas. Dado que el personal profesional es escaso, y en algunos casos no tienen experiencia en la gestión de los servicios públicos, la importancia que se le da a un proyecto en su etapa de planeación, o en su etapa de contratación, o ejecución u operación, depende exclusivamente del perfil de la persona líder dentro de la organización.

Teniendo en cuenta que además de acueducto, alcantarillado y saneamiento, las oficinas de servicios atienden otras actividades, los riesgos de no profundizar en los diferentes aspectos de un proyecto son evidentes. La integración de proyectos no solo a nivel local sino regional, obliga a tener interlocutores con amplios conocimientos en las diferentes áreas en las cuales normalmente se analizan y ejecutan los proyectos técnicos en acueducto y alcantarillado. Aspectos tales como, el campo ambiental, el hidrológico, hidráulico e hidrogeología, el tratamiento de aguas tanto para potabilizar como para tratar aguas residuales, aspectos del orden social, cultural y económico.

Por lo tanto, la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la zona de La Mancomunidad, Ciudad de Guatemala y otros municipios, será una capacidad que los municipios tendrán que desarrollar para poder ser realmente un par técnico de las personas que finalmente realicen esta labor. También es claro que, con las actuales organizaciones, oficinas o Unidades de Servicios Municipales, difícilmente lograrán este objetivo.

En otro campo de la Gestión de los servicios, el no tener unas tarifas que correspondan a los costos de la prestación del servicio, el no tener la información para dimensionar adecuadamente la magnitud de los proyectos que hay que ejecutar, son otros de los elementos que se suman a la debilidad institucional para responder a los retos que el sector obliga.

Lo anterior, para llamar la atención que los nuevos conceptos introducidos en la Agenda Nacional del Agua, documento de política Pública del actual presidente de la República, que sigue las nuevas tendencias de gestión en el sector del agua, como, por ejemplo, la Gobernanza del Agua, Sustentabilidad y otros conceptos, que hacen mucho más exigente la participación del estado en la relación tripartita y balanceada (Estado, prestadores y sociedad) que obliga esta nueva concepción de gestión.

Podríamos decir, la posición pasiva de los actores en la prestación de los servicios, ha permitido subsistir estos esquemas ineficientes. No se puede continuar con el actual modelo de prestación del servicio, en el cual valiéndose del enorme esfuerzo que hacen unos funcionarios para responder por todo el servicio, terminan tomando decisiones que incluyen un alto riesgo de error y de no alcanzar los niveles de eficiencia que estos servicios básicos deberían tener.



Anexo 2

Memorias Técnicas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales MGCS

Informe de Avance Soluciones de Saneamiento

Contenido

1	Ecuaciones Básicas	3
2	PTAR Sur Opción 1.....	5
3	PTAR Norte	25
4	PTAR Este	40
5	PTAR Sur 2-1Opción 2.....	44
6	PTAR Sur 2-2Opción 2.....	48
7	PTAR Amatitlán.....	52

Memoria Técnica Ingeniería de Procesos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales MGCS

Este documento es la memoria de las soluciones propuestas de plantas de tratamiento de aguas residuales de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS).

La implantación de los sistemas de tratamiento se realizó por cuenca de drenaje. El área de influencia se divide en cuatro cuencas de drenaje naturales, las cuales a su vez cuentan con respectivos sistemas de tratamiento:

PTAR Norte que recibe las aguas residuales de la cuenca del río las Vacas que abarca:

1. Zona central de Guatemala en la cuenca del río Las Vacas
2. Zona norte de Mixco, en la misma cuenca del río Las Vacas
3. Zona noroeste de Santa Catarina Pinula

PTAR Este que recibe las aguas residuales de la cuenca del río Plátanos que abarca:

1. Zona este de Guatemala que descarga a la cuenca del río Plátanos

PTARs en cuenca Sur que recibe las aguas residuales de la cuenca del río Villalobos que abarca:

1. Zona sur de Mixco
2. Zona sur de Guatemala
3. Los municipios de Villanueva y San miguel Petapa
4. Zonas del lado este de Santa Catarina Pinula y de Villa Canales

Para el caso de la cuenca Sur se presentan dos opciones, la Opción 1 que recolecta todas las aguas residuales de la cuenca y las trata en una sola PTAR y, mientras que la Opción 2, divide la cuenca sur en dos áreas e implanta dos PTARs.

El documento presenta las estimaciones de población y caudales para cada PTAR, así como la selección de los procesos, parámetros de diseño de dichos procesos y los cálculos ingenieriles para el dimensionamiento de los mismos.

1 Ecuaciones Básicas

$$\text{Carga Contaminante } \left(\frac{Kg}{d}\right) = \frac{\text{Concentración } \left(\frac{mg}{l}\right) \times Q \left(\frac{m^3}{d}\right)}{1000}$$

$$\text{Tasa hidráulica } \left(\frac{m^3}{m^2 d}\right) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{d}\right)}{\text{Area } (m^2)}$$

Reordenando

$$Q \left(\frac{m^3}{d} \right) = \text{Tasa hidr\u00e1ulica} \left(\frac{m^3}{m^2 d} \right) \times \text{Area} (m^2)$$

$$\text{Tasa Org\u00e1nica} \left(\frac{Kg}{m^3 d} \right) = \frac{\text{Carga} \left(\frac{Kg}{d} \right)}{\text{Volumen} (m^3)}$$

Reordenando

$$\text{Volumen} (m^3) = \frac{\text{Carga} \left(\frac{Kg}{d} \right)}{\text{Tasa Org\u00e1nica} \left(\frac{Kg}{m^3 d} \right)}$$

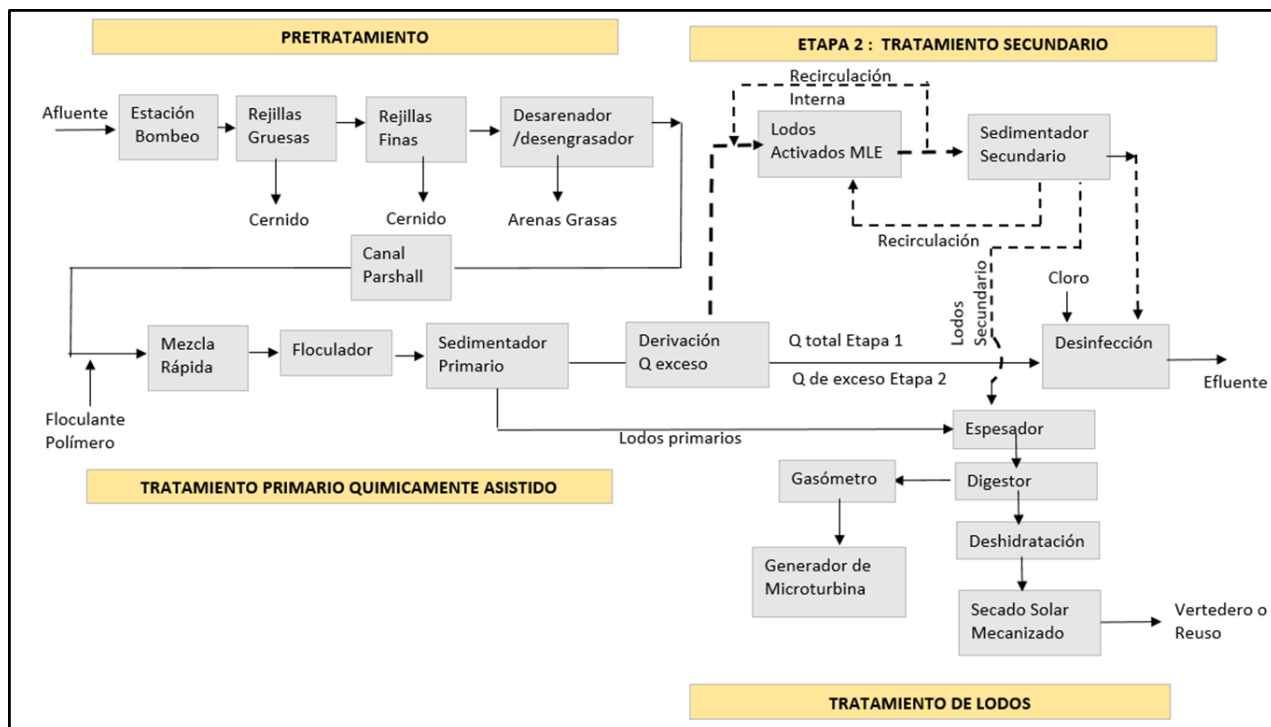
$$\text{Tiempo de Retenci\u00f3n Hidr\u00e1ulica: THR} (d) = \frac{\text{Volumen} (m^3)}{Q \left(\frac{m^3}{d} \right)}$$

$$\text{No. de unidades de dise\u00f1o} (unidad) = \frac{Q \text{ PTAS de dise\u00f1o futuro} \left(\frac{m^3}{d} \right)}{Q \text{ capacidad de dise\u00f1o de unidad} \left(\frac{m^3}{d} \right) / unidad}$$

$$\text{No. de unidades de dise\u00f1o} (unidad) = \frac{\text{Area Requerida total} (m^2)}{\text{Area} (m^2) / unidad}$$

2 PTAR Sur Opción 1

Diagrama Esquemático de PTAR Sur Opción 1



Parámetros y Cargas de Diseño

Estimación de Poblacion por Cuenca de aportación a PTAR Sur Opción 1					
Municipio	Area Urbana Aportante (Ha)	% area urbana del municipio	Población Contribuyente		
			2020	2037	2047
Guatemala	3348	25.77	308,088	326,257	326,257
Mixco	2915	62.80	310,247	421,119	487,096
Villa Nueva	3807.4	100	458,936	608,995	702,036.40
San Miguel Petapa	1975	100	139,052	168,693	183,507.91
Santa Catarina Pinula	779	27.75	21,164	22,036	22,192.19
Villa Canales	1182	75.63	100,614	107,079	109,202.11
Total			1,338,101	1,654,179	1,830,292

Estimación de caudales MGCS, Guatemala. Cuenca Sur Opción 1												
Año	Población		Caudales de Aguas Residuales (m3/d)									3 Qprom Seco
	Población	Población aportante PTAS	Domestico	Industrial Com Ins	Q promedio seco + Inf.	Factor Harmon	Q máximo doméstico	Q maximo seco	Qprom. húmedo	Q max humedo		
	hab.	hab.										
2020	1,338,101	1,204,291	173,418	57,228	265,243	1.34	233,246	290,474	299,839	325,071	795,728	
2027	1,474,287	1,326,859	191,068	63,052	292,238	1.33	254,161	317,214	330,356	355,332	876,714	
2037	1,654,179	1,488,761	214,382	70,746	327,897	1.31	281,568	352,314	370,666	395,084	983,690	
2042	1,694,359	1,524,923	219,589	72,464	335,861	1.31	287,660	360,124	379,669	403,932	1,007,584	
2047	1,830,292	1,647,263	237,206	78,278	362,806	1.30	308,192	386,470	410,129	433,793	1,088,419	
Factor de retorno		80										
Dotacion Industria, comer		33	% de doméstico									
Infiltración		15	% de doméstico									
Cobertura y Conectividad		90	%									
Dotación Agua Potable		180	lppd									
Influjo permitido		15	% de doméstico									

Características de Agua Residuales y Límites del Efluente

Caracterización Aguas Residuales de la Ciudad de Guatemala Cuenca Sur Opción 1			
Parámetro	Cuenca Sur Opción 1 (mg/l)	Carga (Kg/d)	
		2037	2047
DBO5	330	108,355	119,891
DQO	582	190,754	211,062
Sólidos en suspensión	259	84,783	93,810
Aceites y grasas	28	9,306	10,297
Nitrógeno total	40	13,166	14,568
Fósforo total	8	2,778	3,073
Coliforme fecal	4.71E+07		

Nota: Los promedio por zona son proporcionales a los caudales medidos

Metas de Calidad			
Parámetro	Unidad	Etapa 1	Etapa 2
DBO5	mg/l	<150	30
SST	mg/l	100	30
A&G	mg/l	<10	<5
Nitrógeno total	mg/l		<10
Fósforo Total	mg/l	<5	<5
Coliformes Fecales	NMP/100ml	<2000	<2000

Porcentaje de Remoción por Etapa							
Etapa	Línea Líquida Tecnología	% de remoción					Coli fecales
		DBO	SST	GyA	Nt	Pt	NMP/100ml
Etapa 1	TPQA	60	70	90		70	< 2000
	Filtros percolador	80	80	90		10	< 2000
Etapa 2	Lodos Activados + sed. Sec	90	90	90	10	10	< 2000

DISEÑO DE PROCESOS

Tratamiento Preliminar

Estación de Bombeo Aumento de Carga			
Entrada a PTAR			
Estación bombeo Entrada PTAR Amatitlán			
Descripción	Unidad	2037	2047
Caudal pico (4 Qseco+Inf.)	m ³ /s	11.39	12.60
No bombas	unid	8.00	9.00
Caudal/bomba	m ³ /s	1.42	1.40
Nivel de entrada invert	m	1191	1191
Nivel terreno	m	1196	1196
Elev. Sobre terreno	m	7	7
Nivelde salida	m	1203	1203
Dif elv	m	12	12
D	m	1	1
V	m/s	1.81	1.78
Material		HD	HD
C		110	110
hf	m/100m	0.34	0.33
Hperdidas	m	0.04	0.04
CTD	m	12.05	12.05
Effic		0.75	0.75
Potencia / bomba	Kw	224	221
Potencia Total	Kw	1,794	1,985

Rejillas Gruesas			
Seleccionar Rejillas Gruesas de 40mm			
Descripción	Unidad	Valor	
Ancho de rejilla	m	2.00	
Capacidad de cada Rejilla Q medio húmedo	m ³ /s	1.4	
Capacidad de Rejillas Q medio húmedo	lps	1867	
Capacidad de cada Rejilla Q pico máximo húmedo	m ³ /s	2.3	
Capacidad de cada Rejilla Q pico máximo húmedo	lps	2267	
Requerimientos de Rejillas Gruesas			
Descripción	Unidad	2037	2047
Caudal pico futuro con agua de lluvia	m ³ /d	983,690	1,088,419
No de rejillas necesarias	Und	5.02	5.56
Redondear	Unid	5	5
En reserva (standby)	Unid	1	1
Total de rejillas	Unid	6.00	6.00

Rejillas de 6 mm			
Parámetros de Diseño Rejillas de 6 mm			
Parámetro / Criterio	Unidad	Limpieza	
		Manual	Mecánica
Ancho de barras	cm	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5
Profundidad de las barras	cm	2.5 - 7.5	2.5 - 7.5
Abertura o espaciamento	cm	2.5 - 5.0	1.5 - 7.0
Pendiente con la vertical	grado	30 - 45	0 - 30
Velocidad de acercamiento	m/s	0.3 - 0.6	0.6 - 1
Pérdida de energía permisible	cm	15	15

Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño, Escuela Colombiana de Ingeniería, Jairo Rojas, 2000

Características de Rejillas de 6 mm		
Tipo de Rejilla	Rejilla de múltiple rastrillo	
Ancho de Rejilla	m	2.00
Capacidad total de 1 rejillas operando Q medio	lps	1,157
Capacidad total de 1 rejillas operando Q medio	m ³ /d	100000
Capacidad total de 1 rejillas operando Q Pico	lps	1,447
Capacidad total de 1 rejillas operando Q Pico	m ³ /d	125000

Requerimientos de Rejillas de 6 mm a caudal máximo			
Descripción	Unidad	2037	2047
Caudal máximo	m ³ /d	983690	1,088,419
Recirculación licores retorno	%	1	1
Caudal máximo	m ³ /d	993527	1099303
Capacidad máxima / rejilla	m ³ /d	125000	125000
No de unidades total requeridas	Unid	7.95	8.79
Redondear	Unid	8	9
Unidad de reserva (Standby)	Unid	1	1
No. Total unidades requeridas	Unid	9.00	10.00

Desarenador Desengrasador

Parámetros típicos de diseño

Parámetro	Valores	
	Intervalos	Típico
Tiempo de retención, m	2 - 5	3
Profundidad (m)	2 - 5	
Longitud (m)	7.5 - 20	
Ancho (m)	2.5 - 7	
Relación ancho: profundidad	1.1 a 5.1	1.5 a 1
Relación largo: ancho	3.1 a 5.1	4 a 1
Aire por unidad de longitud (m ³ /m-min)	0.2 - 0.5	
Cantidad de arena típico	0.004 - 0.2	0.015

Fuente: Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery McGraw Hill, 5th Ed., 2014

Requerimiento Desarenador Caudal Pico con lluvia

Descripción	Unidad	2037	2047
4 Qseco+inf	m ³ /d	983,690	1,088,419
TRH	min	5.0	5.0
Volumen	m ³	3,416	3,779
No de unidades	Unidad	7.00	7.00
Volumen/unidad	m ³	488	540
Profundidad h	m	2.5	2.5
Area Requerida	m ²	195	216
Relación Largo Ancho		4	4
Ancho A	m	7.0	7.3
Largo	m	27.9	29.4
Resumen No unidades	Unid	7.00	7.00

Medidor Parshall

Ancho W	Límites de caudal (l/s)		Límites de caudal (m ³ /d)	
12 ft	225	14677	19,419	1,268,123
Para un Caudal máximo de aproximadamente	1,088,419	m ³ /d		
Seleccionar dos canales de 12 ft	544,209.41			

Tratamiento Primario Quimicamente Asistido (TPQA)

TPQA				
Criterio Mezcla rápida y floculación				
Proceso	Criterios	Unidad	Min	max
Mezclado Rápido	TR	min	1.0	2.0
	Valor de G	1/s	500	1500
Floculación	TR	min	10	30
	Valor de G	1/s	50	120

Mezcla Rápida			
Requerimientos de Mezcla Rápida			
Descripción	Unidad	2037	2047
4 Qseco+Infilt.	m ³ /d	983690	1,088,419
Recirculación licores retorno	%	1	1
Caudal máximo	m ³ /d	993527	1099303
Seleccionar TR	min	0.40	0.40
No de unidades	Unid	7.00	8.00
Caudal/unidad	m ³ /d	141,932	137,412.88
Volumen	m ³	39.43	38.17
Seleccionar Vol	m³	45.00	45.00
Potencia Requerida			
Seleccionar G	1/s	500	500
Potencia Requerida/unidad	Kw	13.50	

Floculador			
Requerimientos de Floculador			
Descripción	Unidad	2037	2047
Seleccionar TR para 4 Qseco+Infilt.	min	10.00	10.00
No de unidades	Unid	7.00	8.00
Caudal/unidad	m ³ /d	141,932	137,413
Volumen	m ³	985.64	954.26
Seleccionar Vol	m³	1,100.00	1,000.00
Altura	m	3.50	
Area	m ²	314.29	
Lado de cuadrado	m	17.73	
Potencia Requerida			
Seleccionar G	1/s	100	1000
Potencia Requerida/unidad	Kw	13.20	

Sedimentador Primario

Parámetros de Diseño Clarificadores Primarios con Tratamiento Químico Asistido

Parámetros	Unidad	Flujo medio	Flujo pico
Tiempo de retención	h	1.5 - 2.5	0.5 - 1
Carga Hidráulica Superficial (ver ref)	m ³ /m ² -d	30 - 70	80
Carga de vertedero	m ³ /m-d	125 - 500	250
Profundidad de agua	m	4,0 - 5,5	4,0 - 5,5

Fuente: Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery McGraw Hill, 5th Ed., 2014

Requerimientos de Sedimentadores

Descripción	Unidad	2037	2047
Criterio Largo/ancho:		$1/2.25 < B/L < 1/10$	
No de unidades	m	11	12
Caudal/unidad	m ³ /d	89,426	90,702
Area /unidad	m ²	1,118	1,134
Ancho:	m	14	14
Largo	m	80	81
Largo/ancho:		5.7	5.8

Desinfección con Cloración

Criterios de Diseño

Parámetro	Valor
Dosis de cloro efluente filtros percoladores(mg/l)	3 - 12
Tiempo de retención a caudal promedio (min.)	20 - 30
Tiempo de retención a caudal pico (min.)	12 - 17
Cloro residual (mg/l)	0.5 - 1
Relación largo/ancho tanque de contacto	> 30
Ct: Cl residual x t: (mg.min/l)	> 15

Fuentes:

Wastewater Engineering, Metcalf&Eddy, McGrawHill, 5th Ed., 2014

Water Treatment Manual: DESINFECTION, EPA, 2011

Requerimientos de Cloración			
Descripción	Unidad	2037	2047
4 Qseco+Infilt.	m ³ /d	983,690	1,088,419
Recirculación licores retorno	%	1	1
Caudal máximo	m ³ /d	983,690	1,088,419
Tiempo de retención 4 Qseco+Infilt.	min	12	12
Volumen requerido	m ³	8,197	9,070
No de unidades	Unid	3	3
Volumen / unidad	m ³	2,732	3,023
Altura	m	2.50	2.50
Area	m ²	1,093	1,209
Largo	m	60	60
Ancho en cuatro divisiones	m	18	20

Tratamiento de Lodos

Espesadores por Gravedad

Parametro	Rango de Valores
Tasa Másica de Carga para espesadors que reciben lodos secundarios de filtros percoladores	60 a 100 kg / m ² -día
Carga Hidráulica Superficial máxima (CHS)	15 a 33 m ³ / m ² * día
Fuente: Wastewater Engineering, Metcalf&Eddy, McGrawHill, 5th Ed., 2014	
Carga Hidráulica Lodos	2 a 8 m ³ / m ² * día
THR para evitar septicidad	< 18 hrs
Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, CEECI, Romero Rojas, 2000	
Rango de Carga Hidraulica total	2 a 15 m ³ / m ² * día

Resumen de Cargas y Flujos de Lodos		2037	2047
Resumen de Carga de Lodos			
Carga de sedimentadores Primarios	Kg/d de ST	67,089	74,232
Carga de sedimentadores secundarios	Kg/d de ST		24,395
Carga de SST Total a espesadores	Kg/d de ST	67,089	98,627
Resumen de flujo de lodos			
Caudal de sólidos de Sedim. Primar.	m ³ /d	1,677	1,856
Caudal de sólidos de Sedim.Secund..	m ³ /d		2,440
Caudal de sólidos de sedimentadores	m ³ /d	1,677	4,295
Resumen de concentraciones			
Conce. de sólidos de Sedim. Primar.	%	4.00	4.00
Conc. de sólidos de Sedim.Secund..	%		1.00
Conc. de sólidos de sedimentadores	%	4.00	2.30

Requerimientos de Espesadores de lodos			
Descripción	Unidad	2037	2047
Basado en carga de lodos			
Seleccionar carga de sólidos	kg / m ² -día	70	70
Area requerida	m ²	958	1409
No de unidades	Unidad	3	4
Area / unidad	m ²	319	352
Diametro / unidad	m	20.17	21.18
Seleccionar Diámetro	m	20	20

Basado en carga hidráulica			
Seleccionar Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² -d	7.00	7.00
No de unidades	Unid	3	4
Caudal/unidad	m ³ /d	559.08	1,073.83
Area	m ²	79.87	153.40
Diametro / unidad	m	10.08	13.98
Seleccionar Diámetro (predomina carga sólidos)	m	20	20

Digestores Anaerobios

Parámetros de Diseño para Digestores Mesofílicos Completamente Mezclado

Criterios de Volumen:	Unidad	Valor
Lodos Primarios + humus de Filtro Percolador	m ³ /hab	0.07 - 0.09
Carga de sólidos	Kg SSV/m ³ .d	1.6 - 4.8
Tiempo de retención	días	15 - 22

Fuente: Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery McGraw Hill, 5th Ed., 2014

Requerimiento de Digestores Basado en carga de sólidos			
Basado en carga de sólidos			
Descripción	Unidad	2037	2047
Carga de SST de espesadores	kg/ d	63,735	93,696
Relación SSV/SST		0.7	0.7
Carga de SSV	kg/ d	44614	65587
Carga de grasas de desengrasador	kg/ d	13344	14765
Carga de SSV	kg/ d	57958	80352
Tasa de carga SSV	kg/ m ³ .d	2.5	2.5
Volumen requerido	m ³	23183	32141
No de tanques	Unid.	5	6
Volumen de tanque	m ³	4637	5357
Altura de tanque	m ³	10	10
Area/tanque	m ²	464	536
Diámetro / unidad	m	24.30	26.12
Seleccionar Diámetro	m	28	28
Revisión Basado en carga hidráulica			
Caudal de sólidos de espesador y desengrasador	m ³ /d	1,416	2,082
Criterio diseño tiempo retención	d	22	22
Volumen requerido	m ³	31,159	45,807
Volumen de tanque	m ³	6,157.52	6,157.52
No de unidades requeridas	m ³	5.1	7.44
Redondear (Carga hidráulica predomina)		5	8

Producción de Lodos y concentración			
Descripción	Unidad	2037	2047
Entrada de Lodos proveniente de esp. Gravedad	Kg/d	63,735	93,696
SSV/SST		0.700	0.700
Contribución SSV de lodos espesados	Kg/d	44,614	65,587
Contribución SSV de grasas de desengrasador	Kg/d	13,344	14,765
SSV total	Kg/d	57958	80352
Concentración de salida	%	4.0	4.0
Remoción SSV %	%	50	50
Lodos Fijos de salida	Kg/d	19,120	28,109
Lodos SSV de salida	Kg/d	28979	40176
Lodos Digeridos SST total a prensa de banda	Kg/d	48,100	68,285
Lodos destruidos SSV	Kg/d	28979	40176
Flujo de sólidos a Prensa de banda igual a flujo de entrada	m ³ /d	1,416	2,082

Prensa de Banda

Rangos típicos de aplicación y eficiencia Filtros de Prensa de Banda para Lodos procedentes de filtros

Parámetro	Unidad	Rango	Valor adoptado
Concentración de lodos afluente	% ST Seco	3 - 6	
Carga hidráulica por metro de banda	l/min-m	150 - 450	250
Carga de sólidos por metro de banda	Kg ST/h-m	360 - 910	600
Uso de polímero	g/Kg de sólidos seco	3 - 7	5
Concentración de sólidos secos	% ST Seco	23 - 30	28

Fuente: Wastewater Engineering, Metcalf&Eddy, McGrawHill, 5th Ed., 2014, Tabla 14-4

Requerimientos de Prensa de Banda

Parámetro	Unidad	2037	2047
Seleccionar Ancho de filtro	m	2	2
Parámetros de diseño hidráulico			
Carga hidráulica	l/min-metro	250	250
Capacidad por Filtro de banda	l/m	500	500
Capacidad total 16 hr	m ³ /d	480	480
Capacidad trabajo 14 hrs	m ³ /d	420	420
Parámetros de diseño de carga de sólidos			
Capacidad de carga de prensas de banda	Kg ST/hr-m	600	600
Capacidad por Filtro de banda	Kg ST/hr	1200	1200
Capacidad trabajo 16 hrs	Kg/d	19200	19200
Capacidad trabajo 14 hrs	Kg/d	16800	16800
Basado en carga de sólidos			
Carga de SST	kg/ d	48,100	68,285
No de unidades requeridas (12 hr/d)	Unid	2.86	4.06
Seleccionar	Unid	3	4
Concentración de lodos de entrada	% ST	3.5 - 4.5	3.5 - 4.5
Concentración de lodos de salida	% ST	22- 30	22- 30
Mínima recuperación de sólidos	%	90	90
Dosis de polímeros	Kg/ton	4 - 6	4 - 6
Basado en carga hidráulica			
Caudal de sólidos de digestor	m ³ /d	1,416	2,082
No de unidades requeridas (12 hr/d)	Unid	3.4	5.0
Redondear	Unid	3	5

Producción de Lodos y características de lodos

Descripción	Unidad	2037	2047
Entrada Lodos Digeridos	Kg/d	48,100	68,285
Concentración de salida	%	28	28
Remoción %	%	95	95
Lodos Digeridos Producidos	Kg/d	45,695	64,870
Lodos Digeridos Producidos	m³/d	163	232

Secado Solar Mecanizado

Tecnología: Naves de secado solar mecanizado y con mecanismo de volteo y control ambiental

Criterios típicos

Parámetro	Unidad	Rango	Valor adoptado
Tasa de carga de sólidos de diseño	kgST/m ² /año	1500 - 2200	1800
Concentración sólidos de entrada	%	20 - 30	28
Concentración sólidos secos	%	70 - 90	80

Requerimientos de Secado Solar

<i>Basado en carga másica de sólidos</i>		2037	2047
Carga de diseño lodos deshidratados secos	Kg SS/d	45695	64870
Tasa de carga de sólidos de diseño	kgST/m ² /año	1800	1800
Area efectiva requerida	m ²	9266	13154
Dimensiones típicas naves solares			
Largo	m	105	105
Ancho	m	11	11
Area efectiva por nave solar	m²	1155	1155
No naves requeridas	Unid	8.0	11.4
Redondear	Unid	8	11
Unidades Standbay	Unid	1	1
Total unidades	Unid	9	12

Producción de Lodos y características de lodos

Descripción	Unidad	2037	2047
Entrada LodosDeshidratados	Kg/d	45,695	64,870
Concentración de salida	%	80	80
Remoción %	%	100	100
Lodos Secos Producidos	Kg/d	45,695	64,870
Densidad		1.21	1.21
Lodos Secos Producidos	m ³ /d	47.21	67.01

Etapa de Tratamiento 2

Tratamiento Secundario para Remoción de Nitrógeno

Lodos Activados en Configuración BNR

Criterios usados para el Proceso MLE				
Parámetro	Unidad	Zona Anóxica	Zona aerobia	Total
TRH		20% deaeróbico		
TRH	horas	0.5 - 1.2	2.5 - 6	
SRT	días			15
F/M	g DBO/g MLVSS	0.1	0.1	
MLVSS	mg/l	2400	2400	
Recirculación de lodos RAS			80% de Q	
Recirculación interna	%			
Energía mezclado tanque anóxico	Kw/1000m ³	1.5 - 3		
Producción de lodos Y obs	gm SST/gm DBO		0.5	

Necesidades de sistema de remoción de Nutrientes			
Descripción	Unidad	2037	2047
Caudal húmedo	m ³ /d	370,666	410,129
Carga DBO Sedimentadores	Kg/d	48,995	54,212
Asumir % remoción en tanque anóxico	%	15	15
Carga DBO a sistema aerobio	Kg/d	41,646	46,080
Tanque aireado			
TRH tanque aireado	hr	4	4
Volumen requerido de aireación	m ³	61,778	68,355
No tanques de aireación	unidad	7	8
Volumen por tanque	m ³	8,825	8,544
Profundidad	m	5	5
Area	m ²	1,765	1,709
Ancho	m	15	15
Largo	m	118	114
F/M		0.25	0.25
MLVSS	mg/l	2,697	2,697
Tanque Anóxico			
TRH	hr	0.8	0.8
Volumen por tanque			
Volumen requerido de aireación	m ³	12,356	13,671
Tasa de energía de mezcla de tanque anóxico	Kw/1000 m ³	2	2
Potencia de mezclado requerida / tanque	Kw	25	27
No tanques Anoxicos	unidad	7	8
Volumen por tanque	m ³	1,765	1,709
Profundidad	m	5	5
Area	m ²	353	342
Ancho	m	15	15
Largo	m	24	23
MLVSS	mg/l	2,697	2,697

Necesidades de sistema de remoción de Nutrientes			
Descripción	Unidad	2037	2047
Remoción de Nitrógeno			
Concentración de Nitrógeno afluente	mg/l	40	40
Remoción en TPQA	%	5	5
Concentración de Nitrógeno ef. TPAQ	mg/l	38	38
Concentración efluente de Nitrógeno	mg/l	8	8
RAS	% de Q af	80	80
RAS	m ³ /d	296,533	328,103
Tasa Recirculación interna		2.97	2.97
Recirculación interna	m³/d	1,100,255	1,217,393
Remoción de DBO			
Carga Futura DBO5 despues de sedimentador	Kg/d	48,995	54,212
% remoción		90	90
Carga DBO removida	Kg/d	44,096	48,791
Producción de lodos Y obs	gm SST/gm DBO	0.5	0.5
Producción de lodos	Kg/d	22,048	24,395
Concentración SSV	mg/l	2,697	2,697
Requerimiento de oxígeno	Kg/d	51,709	57,214
Requerimiento de oxígeno	Kg/hr	2,155	2,384

Sedimentadores Secundarios

Parámetros de Diseño Clarificadores Secundarios

Parámetros	Unidad	Flujo medio	Flujo pico
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² -d	16 - 28	36 - 56
Carga de sólidos secos	Kg/m ² -h	96 - 144	240
Profundad de agua	m	4,0 - 5,5	4,0 - 5,5

Fuente: Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery McGraw Hill, 5th Ed., 2014

Requerimientos de Sedimentadores			
Criterio Largo/ancho:	1/2.25 < B/L < 1/10		
No de unidades	m	10	11
Caudal/unidad	m ³ /d	37,067	37,284
Area /unidad	m ²	1,544	1,554
Ancho:	m	12	12
Largo	m	129	129
Largo/ancho:		10.7	10.8

Generación y Uso de Gas

Almacenamiento de gas

Requerimientos de Gasómetros

Descripción	Unidad	2037	2047
SSV/SST entrada digestor	Kg/Kg	0.700	0.700
SSV/SST salida digestor	Kg/Kg	0.500	0.500
SST de entrada digestor	Kg/d	63,735	93,696
SSV entrada digestor	Kg/d	44,614	65,587
SSV Carga de Grasas Desengrasador	Kg/d	13,344	14,765
SSV entrada digestor	Kg/d	57,958	80,352
SSV salida digestor	Kg/d	28,979	40,176
SSV eliminado	Kg/d	28,979	40,176
Producción de gas			
Generación unitaria de Gas	L/kgSVV eliminado	910	950
Producción de gas	m ³ /d	26,371	38,167
Almacenamiento	%	15	15
Volumen almacenamiento	m ³	3,955.65	5,725.06
Volumen gasómetro	m³	2000	2000
No de gasómetros Requeridos	Unid.	2	3
Volumen total almacenamiento	m ³	4000	6000

Microturbinas de Gas

Microturbinas

Descripción	Unidad	2037	2047
SSV destruido	Kg/d	28979	40176
Generación unitaria de Gas	L/kgSVV eliminado	910	950
Generación de gas	m ³ /d	26371	38167
Valor calorífico de gas	kWh/m ³	6.5	6.5
Eficiencia turbina	%	33	33
Potencial de generación	kW	2,357	3,411
Capacidad de Turbina propuesta	kW	1000	1000
No de Turbinas	Unidad	2	3

Resumen de Eficiencia de Sistema

Etapa 1				
Remoción en Sedimentador Primario				
Parámetro	Unidad	Afluente	% remoción	Efluente
DBO	mg/l	330	60	132.2
SST	mg/l	259	70	77.6
Aceites y Grasas	mg/l	28.4	90	2.8
Nt	mg/l	40.2	5	38.1
Pt	mg/l	8.5	70	2.5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	4.71E+07		
Remoción en Cloración				
Parámetro	Unidad	Afluente	% remoción	Efluente
Coliformes Fecales	NMP/100ml	4.7E+07	100.00	< 2000

Etapa 2				
Remoción en Unidades de Lodos Activados MLE y sedimentador secundario				
Parámetro	Unidad	Afluente	% remoción	Efluente
DBO	mg/l	132	90	13.2
SST	mg/l	78	65	27.1
Aceites y Grasas	mg/l	2.8		2.8
Nt	mg/l	38.1	79	8.0
Pt	mg/l	2.5		2.5

Remoción total						
Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente Etapa 1	% remoción Etapa 1	Efluente Etapa 2	% remoción Etapa 2
DBO	mg/l	330	132	60	13.2	96
SST	mg/l	259	78	70	27.1	89.5
Aceites y Grasas	mg/l	28	3	90	2.8	90
Nt	mg/l	40	38	5	8.0	80.1
Pt	mg/l	8	3	70	2.5	70
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	4.71E+07	2,000	99.996	2000	100

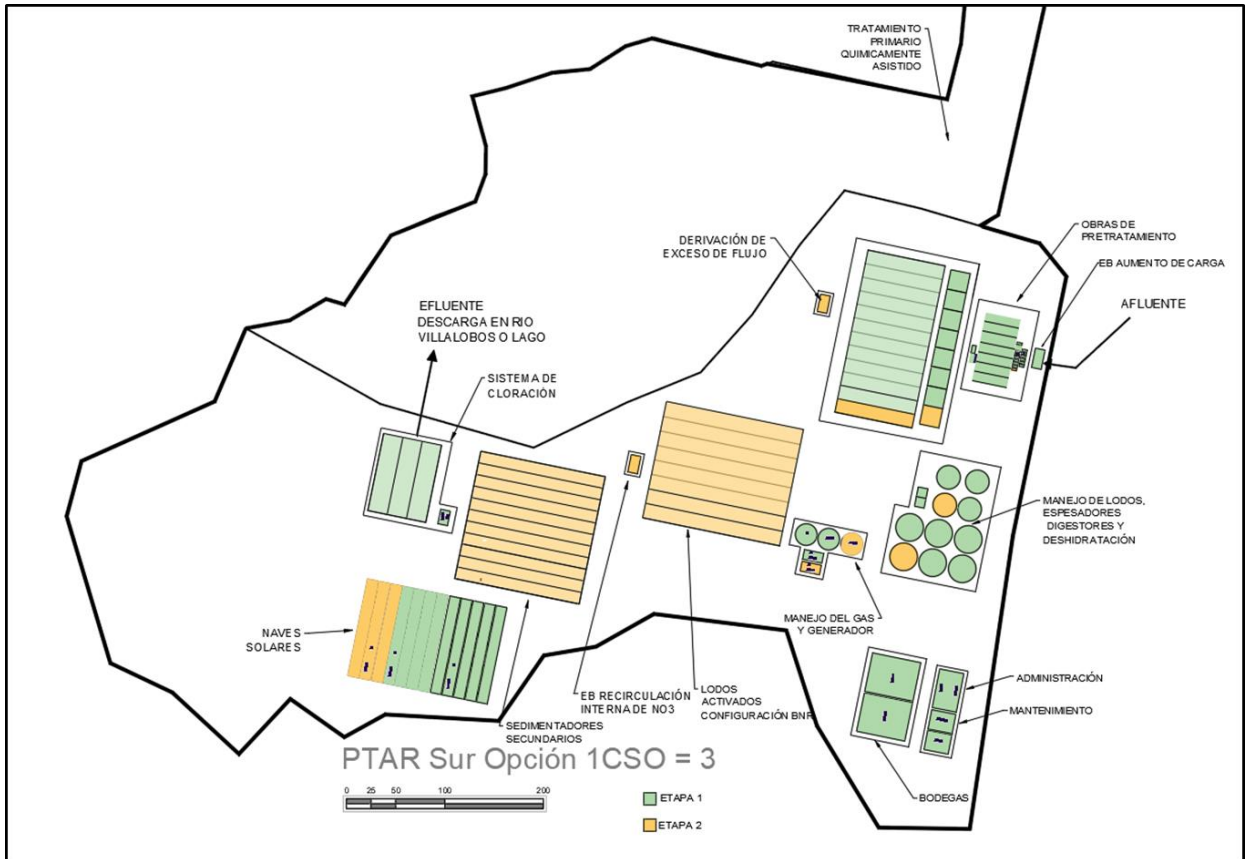
Resumen de Areas Requeridas PTAR Sur Opción 1

Proceso	Area/Unidad (m2)	Etapa 1 (2027-2037)		Etapa 2 (2038-2047)	
		TPQA		TPQA + Filtros Perc.	
		No Unidades	Area (m2)	No Unidades	Area (m2)
Pretratamiento					
Estación de Bombeo	300	1	300		
Rejillas Gruesas	15.00	6	90	-	-
Rejillas de 6 mm	15.00	9	135	1	15
Desarenadores	292.76	7	2,049	-	-
Otros (Medidor Parshall, clasificador, etc)	200	1	200		-
TPQA					
Mezclador y Floculadores	364	7	2,550	1	364
Sedimentadores Primarios	1,117.83	11	12,296	1	1,118
Sistema de Cloración	1366.2	3	4,099	-	-
Tratamiento Secundario					
Estructura derivación caudal exceso tratado	100			1	100
Lodos Activados (total area)	2,118		-	8	16,945
Sedimentadores Secundarios	1,554		-	11	17,089
Tratamiento de Lodos					
Espesador por Gravedad	314.16	3	942	1	314
Digestores Anaerobios	615.8	5	3,079	3	1,847
Edificio Prensas de Banda	100	1	100		
Naves Solares	1155	9	10,395	3	3,465
Generación de Gas					
Gasómetro	380.1	2	760	-	-
Edificio microturbinas	200	1	200	1	200
Estaciones de Bombeo					
Varias	100	5	500		
Edificios					
Administrativos	1000	1	1,000		
Edifi. Operación y mantenimiento	500	2	1,000		
Edificio de cloración	150	1	150		
Bodega	2000	2	4,000		
Total Unidades			43,846		41,457
Vías y Areas Verdes y Buffer					
Area adicional (caminos, aceras, etc)	40%		17,538		16,582.78
Area de protección buffer	100%		43,846		41,456.96
Area Total / Etapa (m2)			105,230		99,497
Area total Etapas 1 y 2 (m2)				204,726 m²	
				20.5 Ha	

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Cuenca Sur Opción 1, MGCS

Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total
Obras Entrada	Bombas Estación de bombeo	Bombas de alta carga entrada PTAR	8	1	9
	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.5 m	6	0	6
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	9	1	10
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	7	0	7
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	3	1	4
	Canal Parshall	Canal de 12 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	7		7
	Sedimentadores Primarios	<i>Tipo rectangular</i>	11	1	12
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Lodos activados MLE	Lodos activados modificados para remover nutrígeno		8	8
Sed. Secund.	Sedimentador tipo rectangular	Mecanismo de cadena con rastra de lodos		11	11
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	3	0	3
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecanismo de rotación central	3	1	4
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	5	3	8
	Gasómetros	Doble membrana	2		2
	No de Turbinas de generación de 1000kW	Microtubinas múltiples acoplads de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	2	1	3
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	3	2	5
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar mecanizados	9	3	12

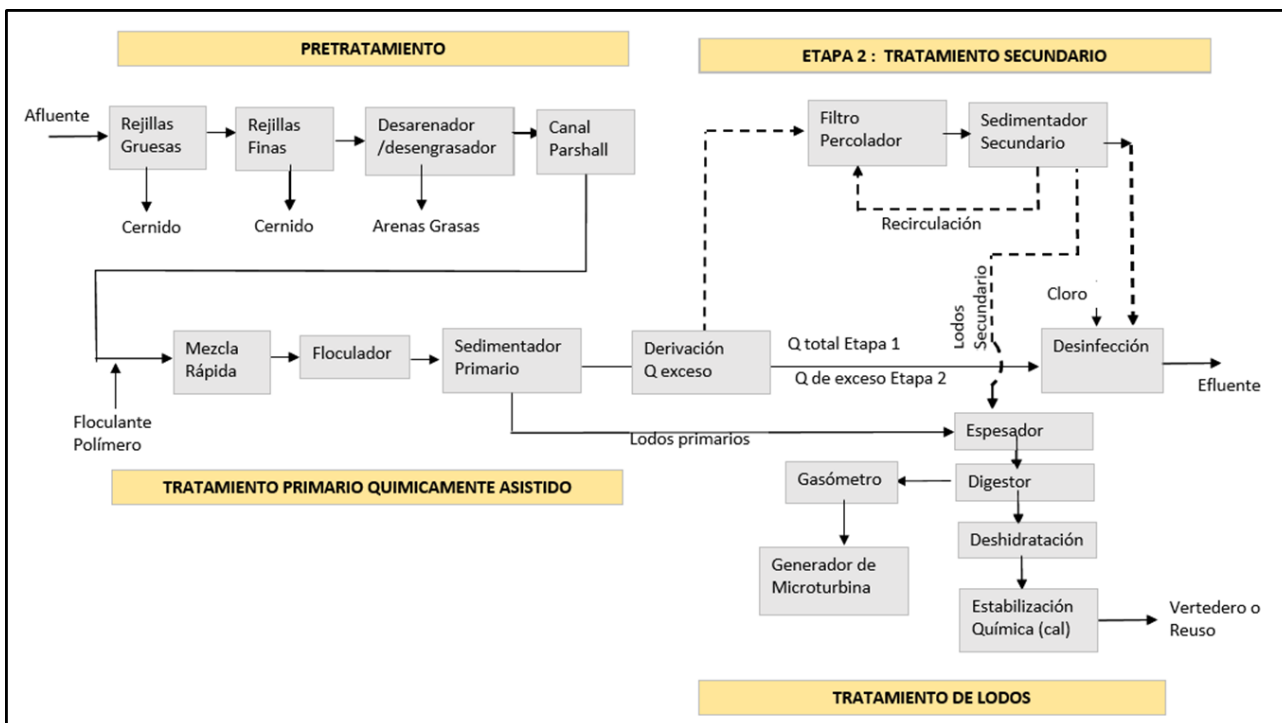
Implantación PTAR Sur Opción 1



3 PTAR Norte

Las ecuaciones y parámetros de diseño utilizados para la PTAR Sur son los mismos que aplican a la PTAR Norte, excepto por el tratamiento biológico.

Diagrama Esquemático de PTAR Norte



Población, Caudales y Cargas

Estimación de Poblacion por Cuenca de aportación a PTAR Norte Central Guatemala					
Municipio	Area Urbana Aportante (Ha)	% area urbana	Población Contribuyente		
			2020	2037	2047
Guatemala	5412	41.6	498,020	527,391	527,390.53
Santa CatarinaPinula	282	10.05	7,661	7,977	8,034
Mixco	1,727.00	37.20	183,807	249,493	288,581
Total			689,488	784,861	824,006

Estimación de caudales MGCS, Guatemala. Cuenca Norte Central											
Año	Población	Población aportante PTAS	Caudales de Aguas Residuales (m3/d)								
	hab.	hab.	Domestico	Industrial Com Ins	Q promedio seco + Inf.	Factor Harmon	Q máximo doméstico	Q maximo seco	Qprom. húmedo	Q max humedo	4 Qprom Seco
2020	689,488	620,539	89,358	29,488	136,673	1.46	130,702	160,190	154,499	178,017	546,690
2027	738,126	664,313	95,661	31,568	146,314	1.45	138,629	170,197	165,398	189,282	585,254
2037	784,861	706,375	101,718	33,567	155,578	1.44	146,198	179,765	175,870	200,058	622,310
2042	804,433	723,990	104,255	34,404	159,457	1.43	149,355	183,759	180,256	204,558	637,829
2047	824,006	741,605	106,791	35,241	163,337	1.43	152,504	187,745	184,642	209,050	653,348
Factor de retorno		80									
Dotacion Industria, cor		33	% de doméstico								
Infiltración		15	% de doméstico								
Cobertura y Conectividad		90	%								
Dotación Agua Potable		180	lppd								
Influjo permitido		15	% de doméstico								

Caracterización Aguas Residuales de la Ciudad de Guatemala, Sistema Norte			
Parámetro	Cuenca Nor Occidental (mg/l)	Carga (Kg/d)	
		2037	2047
DBO5	276	42,934	45,075
DQO	752	117,005	122,841
Sólidos en suspensio	308	47,958	50,350
Aceites y grasas	12	1,934	2,030
Nitrógeno total	54	8,462	8,884
Fósforo total	8.7	1,358	1,426
Coliforme fecal	8.53E+04		

Metas de Calidad			
Parámetro	Unidad	Etapas 1	Etapas 2
DBO5	mg/l	<150	30
SST	mg/l	100	30
A&G	mg/l	<10	<5
Nitrógeno total	mg/l		<50
Fósforo Total	mg/l	<5	<5
Coliformes Fecales	NMP/100ml	<2000	<2000

Rejillas Gruesas

Requerimientos de Rejillas Gruesas			
Descripción	Unidad	2037	2047
Caudal pico futuro con agua de lluvia	m ³ /d	622,310	653,348
No de rejillas necesarias	Und	3.60	3.78
Redondear	Unid	4	4
En reserva (standby)	Unid	1	1
Total de rejillas	Unid	5.00	5.00

Rejillas de 6 mm

Requerimientos de Rejillas de 6 mm a caudal máximo			
Descripción	Unidad	2037	2047
Caudal máximo	m ³ /d	622310	653,348
Recirculación licores retorno	%	1	1
Caudal máximo	m ³ /d	628534	659882
Capacidad máxima / rejilla	m ³ /d	125000	125000
No de unidades total requeridas	Unid	5.03	5.28
Redondear	Unid	5	5
Unidad de reserva (Standby)	Unid	1	1
No. Total unidades requeridas	Unid	6.00	6.00

Desarenador Desengrasador

Requerimiento Desarenador Caudal Pico con Iluvia			
Descripción	Unidad	2037	2047
4 Qseco+inf	m ³ /d	622,310	653,348
TRH	min	5.0	5.0
Volumen	m ³	2,161	2,269
No de unidades	Unidad	5.00	5.00
Volumen/unidad	m ³	432	454
Profundidad h	m	2.5	2.5
Area Requerida	m ²	173	181
Relación Largo Ancho		3.5	3.5
Ancho A	m	7.0	7.2
Largo	m	24.6	25.2
Resumen No unidades	Unid	5.00	5.00

Medidor Parshall

Ancho W	Límites de caudal (l/s)		Límites de caudal (m3/d)	
10 ft	163	8281	14,044	715,448
Para un Caudal máximo de aproximadamente Seleccionar un canal de 10 ft	653,348	m3/d		

TPQA

Mezcla Rápida

Requerimientos de Mezcla Rápida			
Descripción	Unidad	2037	2047
4Qseco+Infilt.	m ³ /d	622310	653,348
Recirculación licores retorno	%	1	1
Caudal máximo	m ³ /d	628534	659882
Seleccionar TR	min	0.50	0.50
No de unidades	Unid	4.00	4.00
Caudal/unidad	m ³ /d	157,133.38	164,970.38
Volumen	m ³	54.56	57.28
Seleccionar Vol	m³	55.00	55.00
Potencia Requerida			
Seleccionar G	1/s	500	500
Potencia Requerida/unidad	Kw	16.50	

Floculador

Requerimientos de Floculador			
Descripción	Unidad	2037	2047
Seleccionar TR para 4Qseco+Inf	min	10.00	10.00
No de unidades	Unid	4.00	4.00
Caudal/unidad	m ³ /d	157,133	164,970
Volumen	m ³	1,091.20	1,145.63
Seleccionar Vol	m³	1,100.00	1,000.00
Altura	m	3.50	
Area	m ²	314.29	
Lado de cuadrado	m	17.73	
Potencia Requerida			
Seleccionar G	1/s	100	1000
Potencia Requerida/unidad	Kw	13.20	

Sedimentador Primario

Requerimientos de Sedimentadores			
Criterio Largo/ancho:	$1/2.25 < B/L < 1/10$		
No de unidades	m	12	12
Caudal/unidad	m ³ /d	51,859	54,446
Area /unidad	m ²	648	681
Ancho:	m	12	12
Largo	m	54	57
Largo/ancho:		4.5	4.7

Desinfección con Cloración

Requerimientos de Cloración			
Descripción	Unidad	2037	2047
4Qseco+Inf.	m ³ /d	622,310	653,348
Recirculación licores retorno	%	1	1
Caudal máximo	m ³ /d	622,310.40	653,348.06
Tiempo de retención 4Qseco+Infit	min	12	12
Volumen requerido	m ³	5,186	5,445
No de unidades	Unid	3	3
Volumen / unidad	m ³	1,729	1,815
Altura	m	2.50	2.50
Area	m ²	691	726
Largo	m	60	60
Ancho en cuatro divisiones	m	12	12

Tratamiento de Lodos

Espesadores por Gravedad

Resumen de Cargas y Flujos de Lodos		2037	2047
Resumen de Carga de Lodos			
Carga de sedimentadores Primarios	Kg/d de ST	37,950	39,842
Carga de sedimentadores secundarios	Kg/d de ST		7,834
Carga de SST Total a espesadores	Kg/d de ST	37,950	47,676
Resumen de flujo de lodos			
Caudal de sólidos de Sedim. Primar.	m ³ /d	949	996
Caudal de sólidos de Sedim.Secund..	m ³ /d		783
Caudal de sólidos de sedimentadores	m ³ /d	949	1,779
Resumen de concentraciones			
Conce. de sólidos de Sedim. Primar.	%	4.00	4.00
Conc. de sólidos de Sedim.Secund..	%		1.00
Conc. de sólidos de sedimentadores	%	4.00	2.68

Requerimientos de Espesadores de lodos			
Descripción	Unidad	2037	2047
Basado en carga de lodos			
Seleccionar carga de sólidos	kg / m ² -día	70	80
Area requerida	m ²	542	596
No de unidades	Unidad	3	3
Area / unidad	m ²	181	199
Diametro / unidad	m	15.17	15.90
Seleccionar Diámetro	m	16	16
Basado en carga hidráulica			
Seleccionar Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² -d	7.00	7.00
No de unidades	Unid	3	3
Caudal/unidad	m ³ /d	316.25	593.15
Area	m ²	45.18	84.74
Diametro / unidad	m	7.58	10.39
Seleccionar Diámetro (predomina carga sólidos)	m	16	16

Digestores Anaerobios

Requerimiento de Digestores Basado en carga de sólidos

Basado en carga de sólidos

Descripción	Unidad	2037	2047
Carga de SST de espesadores	kg/ d	36,052	45,293
Relación SSV/SST		0.7	0.7
Carga de SSV	kg/ d	25236	31705
Carga de grasas de desengrasador	kg/ d	6331	6647
Carga de SSV	kg/ d	31568	38352
Tasa de carga SSV	kg/ m ³ .d	2.5	2.5
Volumen requerido	m ³	12627	15341
No de tanques	Unid.	4	5
Volumen de tanque	m ³	3157	3068
Altura de tanque	m ³	10	10
Area/tanque	m ²	316	307
Diámetro / unidad	m	20.05	19.76
Seleccionar Diámetro	m	24	24

Revisión Basado en carga hidráulica

Caudal de sólidos de espesador y desengrasador	m ³ /d	801	1,007
Criterio diseño tiempo retención	d	22	22
Volumen requerido	m ³	17,625	22,143
Volumen de tanque	m ³	4,523.89	4,523.89
No de unidades requeridas	m ³	3.9	4.89
Redondear (carga hidráulica predominante)		4	5

Producción de Lodos y concentración

Descripción	Unidad	2037	2047
Entrada de Lodos proveniente de esp. Gravedad	Kg/d	36,052	45,293
SSV/SST		0.700	0.700
Contribución SSV de lodos espesados	Kg/d	25,236	31,705
Contribución SSV de grasas de desengrasador	Kg/d	6,331	6,647
SSV total	Kg/d	31568	38352
Concentración de salida	%	4.0	4.0
Remoción SSV %	%	50	50
Lodos Fijos de salida	Kg/d	10,816	13,588
Lodos SSV de salida	Kg/d	15784	19176
Lodos Digeridos SST total a prensa de banda	Kg/d	26,600	32,764
Lodos destruidos SSV	Kg/d	15784	19176
Flujo de sólidos a Prensa de banda igual a flujo de entrada	m ³ /d	801	1,007

Prensa de Banda

Requerimientos de Prensa de Banda			
Parámetro	Unidad	2037	2047
Seleccionar Ancho de filtro	m	2	2
Parámetros de diseño hidráulico			
Carga hidráulica	l/min-metro	250	250
Capacidad por Filtro de banda	l/m	500	500
Capacidad total 16 hr	m ³ /d	480	480
Capacidad trabajo 14 hrs	m ³ /d	420	420
Parámetros de diseño de carga de sólidos			
Capacidad de carga de prensas de banda	Kg ST/hr-m	600	600
Capacidad por Filtro de banda	Kg ST/hr	1200	1200
Capacidad trabajo 16 hrs	Kg/d	19200	19200
Capacidad trabajo 14 hrs	Kg/d	16800	16800
Basado en carga de sólidos			
Carga de SST	kg/ d	26,600	32,764
No de unidades requeridas (12 hr/d)	Unid	1.58	1.95
Seleccionar	Unid	2	2
Concentración de lodos de entrada	% ST	3.5 - 4.5	3.5 - 4.5
Concentración de lodos de salida	% ST	22- 30	22- 30
Mínima recuperación de sólidos	%	90	90
Dosis de polímeros	Kg/ton	4 - 6	4 - 6
Basado en carga hidráulica			
Caudal de sólidos de digestor	m ³ /d	801	1,007
No de unidades requeridas (12 hr/d)	Unid	1.9	2.4
Redondear	Unid	2	3

Producción de Lodos y características de lodos			
Descripción	Unidad	2037	2047
Entrada Lodos Digeridos	Kg/d	26,600	32,764
Concentración de salida	%	28	28
Remoción %	%	95	95
Lodos Digeridos Producidos	Kg/d	25,270	31,126
Lodos Digeridos Producidos	m³/d	90	111

Secado Solar Mecanizado

Requerimientos de Secado Solar			
<i>Basado en carga másica de sólidos</i>		2037	2047
Carga de diseño lodos deshidratados secos	Kg SS/d	25270	31126
Tasa de carga de sólidos de diseño	kgST/m ² /año	1800	1800
Area efectiva requerida	m ²	5124	6312
Dimensiones típicas naves solares			
Largo	m	105	105
Ancho	m	11	11
Area efectiva por nave solar	m²	1155	1155
No naves requeridas	Unid	4.4	5.5
Redondear	Unid	5	5
Unidades Standbay	Unid	1	1
Total unidades	Unid	6	6

Producción de Lodos y características de lodos			
Descripción	Unidad	2037	2047
Entrada LodosDeshidratados	Kg/d	25,270	31,126
Concentración de salida	%	80	80
Remoción %	%	100	100
Lodos Secos Producidos	Kg/d	25,270	31,126
Densidad		1.21	1.21
Lodos Secos Producidos	m ³ /d	26.10	32.15

Procesos en Etapa 2

En la Etapa 2, se agrega tratamiento biológico con filtros percoladores de alta tasa:

Tratamiento Secundario con Filtros Percoladores

Necesidades de Filtros Percoladores			
Descripción	Unidad	2037	2047
Caudal húmedo	m ³ /d	175,870	184,642
Carga Futura DBO5 despues de sedimentador	Kg/d	19,414	20,382
Factor de seguridad		1.2	1.2
Carga Futura DBO5 despues de sedimentador	Kg/d	23,296	24,458
Tasas típicas	kg/ m ³ .d	0.6 a 2.4	0.6 a 2.4
Seleccionar Tasa de carga DBO ₅	kg/ m ³ .d	2	2
Volumen Requerido	m ³	12,942	13,588
No de unidades	Unid	4	4
Volumen/unidad	m ³	3,236	3,397
Altura	m	5	5
Area/unidad	m ²	647	679
Diámetro	m	29	29
Carga Hidráulica superficial (sin recirc.)	m ³ /m ² .d	68	68
Criterio de carga hidráulica	m ³ /m ² .d	15 - 75	15 - 75
Carga Hidráulica esta en rango			

Sedimentadores Secundarios

Requerimientos de Sedimentadores			
Descripción	Unidad	2037	2047
Caudal húmedo con recirculación	m ³ /d	184664	219503
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² .d	24.00	26.00
No de unidades	Unid	7	7
Caudal/unidad	m ³ /d	26,380.55	31,357.54
Area	m ²	1,099.19	1,206.06
Diámetro / unidad	m	37.41	39.19
Seleccionar Diámetro	m	40	40

Generación y Uso de Gas

Almacenamiento de gas

Requerimientos de Gasómetros			
Descripción	Unidad	2037	2047
SSV/SST entrada digestor	Kg/Kg	0.700	0.700
SSV/SST salida digestor	Kg/Kg	0.500	0.500
SST de entrada digestor	Kg/d	36,052	45,293
SSV entrada digestor	Kg/d	25,236	31,705
SSV Carga de Grasas Desengrasador	Kg/d	6,331	6,647
SSV entrada digestor	Kg/d	31,568	38,352
SSV salida digestor	Kg/d	15,784	19,176
SSV eliminado	Kg/d	15,784	19,176
Producción de gas			
Generación unitaria de Gas	L/kgSVV eliminado	910	950
Producción de gas	m ³ /d	14,363	18,217
Almacenamiento	%	20	20
Volumen almacenamiento	m ³	2,872.67	3,643.43
Volumen gasómetro	m³	1500	1500
No de gasómetros Requeridos	Unid.	2	2
Volumen total almacenamiento	m ³	3000	3000

Microturbinas de Gas

Requerimientos de Microturbinas			
Descripción	Unidad	2037	2047
SSV destruido	Kg/d	15784	19176
Generación unitaria de Gas	L/kgSVV eliminado	910	950
Generación de gas	m ³ /d	14363	18217
Valor calorífico de gas	kWh/m ³	6.5	6.5
Eficiencia turbina	%	33	33
Potencial de generación	kW	1,284	1,628
Capacidad de Turbina propuesta	kW	1000	1000
No de Turbinas	Unidad	1	2

Resumen de Eficiencia de Sistema

Etapa 1				
Remoción en Sedimentador Primario				
Parámetro	Unidad	Afluente	% remoción	Efluente
DBO	mg/l	276	60	110.4
SST	mg/l	308	70	92.5
Aceites y Grasas	mg/l	12.4	90	1.2
Nt	mg/l	54.4	5	51.7
Pt	mg/l	8.7	70	2.6
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	8.53E+04		
Remoción en Cloración				
Parámetro	Unidad	Afluente	% remoción	Efluente
Coliformes Fecales	NMP/100ml	8.5E+04	99.77	< 2000

Etapa 2				
Remoción en Unidades de Filtros Percoladores y sedimentador secundario				
Parámetro	Unidad	Afluente	% remoción	Efluente
DBO	mg/l	110	80	22.1
SST	mg/l	92	65	32.4
Aceites y Grasas	mg/l	1.2		1.2
Nt	mg/l	51.7	10	46.5
Pt	mg/l	2.6		2.6

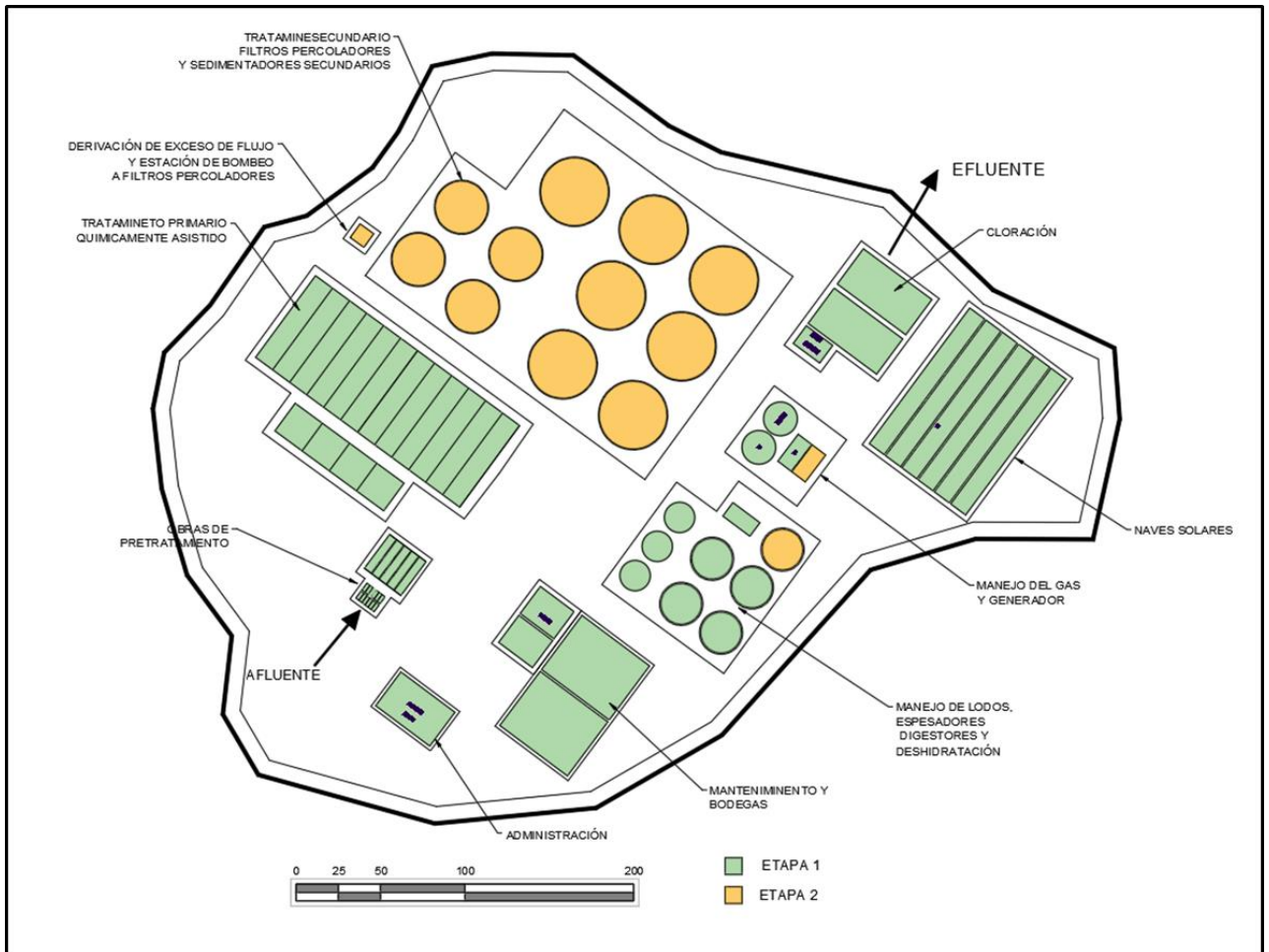
Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente Etapa 1	% remoción	Efluente Etapa 2	% remoción Etapa 2
DBO	mg/l	276	110	60	22.1	92
SST	mg/l	308	92	70	32.4	89.5
Aceites y Grasas	mg/l	12	1	90	1.2	90
Nt	mg/l	54	52	5	46.5	14.5
Pt	mg/l	9	3	70	2.6	70
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	8.53E+04	2,000	97.654	2000	97.65

Resumen de Areas Requeridas PTAR Central Norte					
Proceso	Area/Unidad (m2)	Etapa 1 (2027-2037)		Etapa 2 (2038-2047)	
		TPQA		TPQA + Filtros Perc.	
		No Unidades	Area (m2)	No Unidades	Area (m2)
Pretratamiento					
Rejillas Gruesas	11.25	5	56	-	-
Rejillas de 6 mm	15.00	6	90	-	-
Desarenadores	259.30	5	1,296	-	-
Otros (Medidor Parshall, clasificador, etc)	200	1	200		-
TPQA					
Mezclador y Flocladores	364	4	1,457	-	-
Sedimentadores Primarios	648.24	12	7,779	-	-
Sistema de Cloración	864.3	3	2,593	-	-
Tratamiento Secundario					
Estructura derivación caudal exceso trat	100			1	100
Filtros Percoladores	647		-	4	2,588
Sedimentadores Secundarios	1,099		-	7	7,694
Tratamiento de Lodos					
Espesador por Gravedad	201.06	3	603	-	-
Digestores Anaerobios	452.4	4	1,810	1	452
Edificio Prensas de Banda	100	1	100		
Naves Solares	1155	6	6,930	-	-
Generación de Gas					
Gasómetro	314.2	2	628	-	-
Edificio microturbinas	200	1	200	1	200
Estaciones de Bombeo					
Varias	100	5	500		
Edificios					
Administrativos	1000	1	1,000		
Edifi. Operación y mantenimiento	500	2	1,000		
Edificio de cloración	150	1	150		
Bodega	2000	2	4,000		
Total Unidades			30,393		11,035
Vías y Areas Verdes y Buffer					
Area adicional (caminos, aceras, etc)	40%		12,157		4,414.08
Area de protección buffer	100%		30,393		11,035.19
Area Total / Etapa (m2)			72,943		26,484
Area total Etapas 1 y 2 (m2)				99,427 m²	
				9.94 Ha	

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Norte, Guatemala

Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total
Obras Entrada	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.5 m	5	0	5
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	6		6
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	5	0	5
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	2		2
	Canal Parshall	Canal de 10 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	4		4
	Sedimentadores Primarios	<i>Tipo circular</i>	12		12
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Filtro percolador	Media crossflow tipo panel de abeja (125 m2/m3)		4	4
Sed. Secund.	Sedimentador tipo circular	Mecaismo de rotación central		7	7
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	3		3
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecaismo de rotación central	3		3
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	4	1	5
	Gasómetros	Doble membrana	2		2
	No de Turbinas de generación de 100	Microtubinas múltiples acoplads de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	1	1	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	1	3
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar mecanizados	6	0	6

Implantación a Escala de PTAR Norte



4 PTAR Este

El diseño de la PTAR Este es similar al de la PTAR Norte en cuanto a procesos, parámetros de diseños de los mismos, eficiencias y unidades de tratamiento.

En esta sección solo se presentan los datos básicos y tablas resúmenes.

Estimación de Poblacion por Cuenca de aportación a PTAR Noreste Guatemala					
Municipio	Area Urbana Aportante (Ha)	% area urbana	Población Contribuyente		
			2020	2037	2047
Guatemala	4234	24.44	292,214	309,447	309,447
Total			292,214	309,447	309,447

Año	Población hab.	Población aportante PTAS hab.	Caudales de Aguas Residuales (m3/d)							
			Domestico	Industrial Com Ins	Q promedio seco + Inf.	Q máximo doméstico	Q maximo seco	Qprom. húmedo	Q max humedo	4 Qprom Seco
2020	292,214	262,993	37,871	12,497	57,924	63,005	75,503	65,479	83,058	231,695
2027	304,916	274,425	39,517	13,041	60,441	65,295	78,336	68,325	86,219	241,766
2037	309,447	278,503	40,104	13,234	61,340	66,109	79,343	69,340	87,344	245,359
2042	309,447	278,503	40,104	13,234	61,340	66,109	79,343	69,340	87,344	245,359
2047	309,447	278,503	40,104	13,234	61,340	66,109	79,343	69,340	87,344	245,359
Factor de retorno		80								
Dotacion Industria, come		33	% de doméstico							
Infiltración		15	% de doméstico							
Cobertura y Conectividad		90	%							
Dotación Agua Potable		180	lppd							
Influjo permitido		15	% de doméstico							

Caracterización Aguas Residuales de la Ciudad de Guatemala, Sistema Este			
Parámetro	Colector oriental y Poniente (mg/l)	Carga (Kg/d)	
		2037	2047
DBO5	324	19,875	19,875
DQO	520	31,914	31,914
Sólidos en suspensión	250	15,335	15,335
Aceites y grasas	26	1,576	1,576
Nitrógeno total	51	3,124	3,124
Fósforo total	5.7	350	350
Coliforme fecal	8.45E+06		

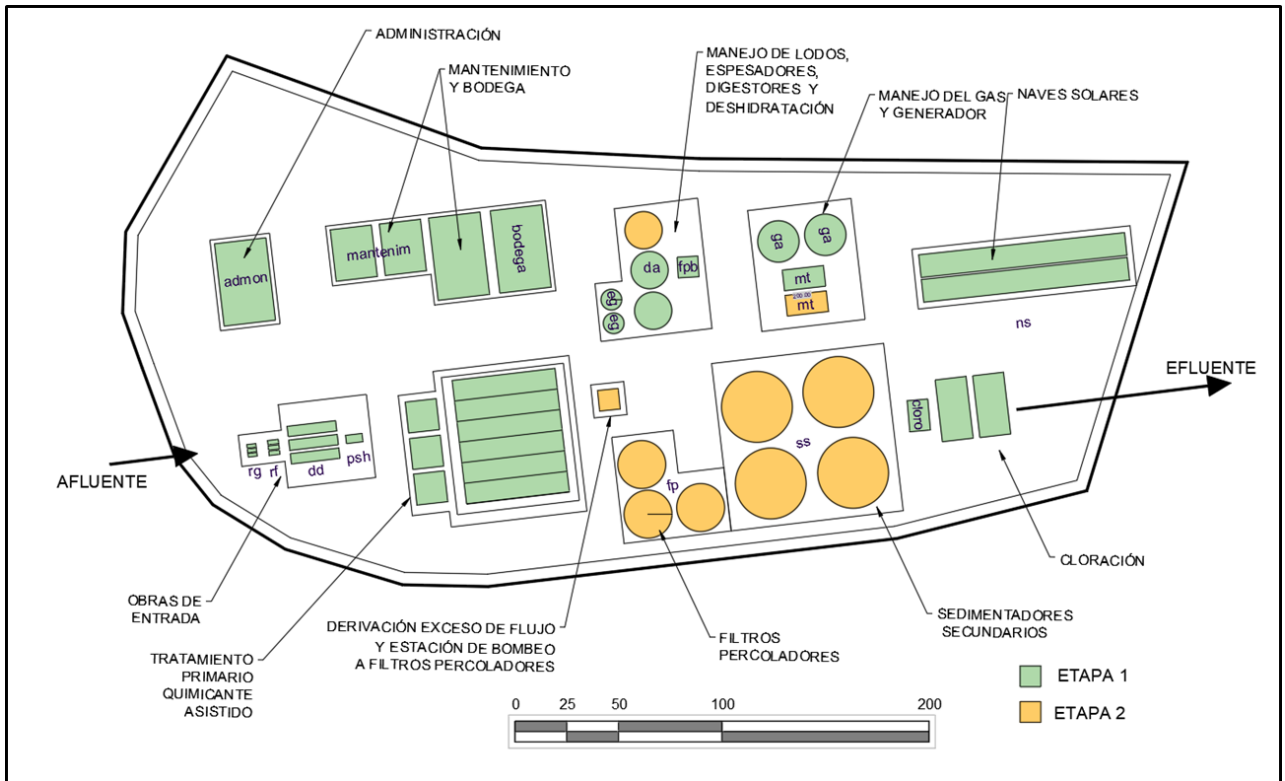
Resumen de Areas Requeridas PTAR Este

Proceso	Area/Unidad (m2)	Etapa 1 (2027-2037)		Etapa 2 (2038-2047)	
		TPQA		TPQA + Filtros Perc.	
		No Unidades	Area (m2)	No Unidades	Area (m2)
Pretratamiento					
Rejillas Gruesas	7.50	3	23	-	-
Rejillas de 6 mm	15.00	3	45	-	-
Desarenadores	170.39	3	511	-	-
Otros (Medidor Parshall, clasificador, etc)	200	1	200	-	-
TPQA					
Mezclador y Floculadores	216	3	647	-	-
Sedimentadores Primarios	766.75	4	3,067	-	-
Sistema de Cloración	511.2	2	1,022	-	-
Tratamiento Secundario					
Estructura derivación caudal exceso trat	100			1	100
Filtros Percoladores	399		-	3	1,198
Sedimentadores Secundarios	758		-	4	3,034
Tratamiento de Lodos					
Espesador por Gravedad	95.03	2	190	-	-
Digestores Anaerobios	314.2	2	628	1	314
Edificio Prensas de Banda	100	1	100		
Naves Solares	1155	2	2,310	-	-
Generación de Gas					
Gasómetro	314.2	1	314	-	-
Edificio microturbinas	200	1	200	1	200
Estaciones de Bombeo					
Varias	100	5	500		
Edificios					
Administrativos	1000	1	1,000		
Edifi. Operación y mantenimiento	500	2	1,000		
Edificio de cloración	150	1	150		
Bodega	2000	2	4,000		
Total Unidades			15,908		4,846
Vías y Areas Verdes y Buffer					
Area adicional (caminos, aceras, etc)	40%		6,363		1,938.42
Area de protección buffer	100%		15,908		4,846.04
Area Total / Etapa (m2)			38,178		11,631
Area total Etapas 1 y 2 (m2)				49,809 m²	
				5.0 Ha	

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Este, Guatemala

Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total Unidades
Obras Entrada	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.0 m	3		3
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	3		3
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	3		3
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	1		1
	Canal Parshall	Canal de 5 ft	1		1
	Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	3	
Sedimentadores Primarios		<i>Tipo circular</i>	4		4
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Filtro percolador	Media crossflow tipo panel de abeja (125 m2/m3)		3	3
Sed. Secund.	Sedimentador tipo circular	Mecaismo de rotación central		4	4
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	2		2
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecaismo de rotación central	2		2
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	2	1	3
	Gasómetros	Doble membrana	1		1
	No de Turbinas de generación de 1000kW	Microtubinas múltiples acoplads de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	2	0	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	0	2
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar mecanizados	2	0	2

Implantación a Escala de PTAR Este



5 PTAR Sur 2-1 Opción 2

El diseño de la PTAR Sur 2-1 de la Opción 2 es similar al de la PTAR Sur Opción 1 en cuanto a procesos, parámetros de diseños de los mismos, eficiencias y unidades de tratamiento.

. En esta sección solo se presentan las tablas resúmenes.

Estimación de Poblacion por Cuenca de aportación a Opción 2 PTAR2- 1					
Municipio	Area Urbana Aportante (Ha)	% area urbana	Población Contribuyente		
			2020	2037	2047
Guatemala	1313	10.10	120,824	127,950	127,950
Mixco	2,915	63	310,247	421,119	487,096
Villa Nueva	1,391	37	167,717	222,555	256,556.56
Total			598,788	771,624	871,602

Estimación de caudales MGCS, Guatemala. Cuenca Sur Opción 2-1										
Año	Población hab.	Población aportante PTAS hab.	Caudales de Aguas Residuales (m3/d)							
			Domestico	Industrial Com Ins	Q promedio seco + Inf.	Q máximo doméstico	Q maximo seco	Qprom. húmedo	Q max humedo	4 Qprom Seco
2020	598,788	538,909	77,603	25,609	118,694	115,764	141,373	134,175	156,854	474,774
2027	670,980	603,882	86,959	28,696	133,004	127,671	156,368	150,352	173,716	532,015
2037	771,624	694,461	100,002	33,001	152,954	144,059	177,060	172,904	197,010	611,815
2042	821,613	739,452	106,481	35,139	162,863	152,120	187,259	184,106	208,502	651,451
2047	871,602	784,442	112,960	37,277	172,772	160,134	197,411	195,307	219,947	691,087
Factor de retorno		80								
Dotacion Industria, cor		33	% de doméstico							
Infiltración		15	% de doméstico							
Cobertura y Conectivid		90	%							
Dotación Agua Potable		180	lppd							
Influjo permitido		15	% de doméstico							

Caracterización Aguas Residuales de la Ciudad de Guatemala Cuenca Sur Opción 2-1			
Parámetro	Cuenca Sur Opción 2-1 (mg/l)	Carga (Kg/d)	
		2037	2047
DBO5	349	53,310	60,218
DQO	466	71,229	80,458
Sólidos en suspensión	250	38,238	43,193
Aceites y grasas	25	3,831	4,327
Nitrógeno total	37	5,638	6,368
Fósforo total	9	1,407	1,589
Coliforme fecal	4.99E+04		

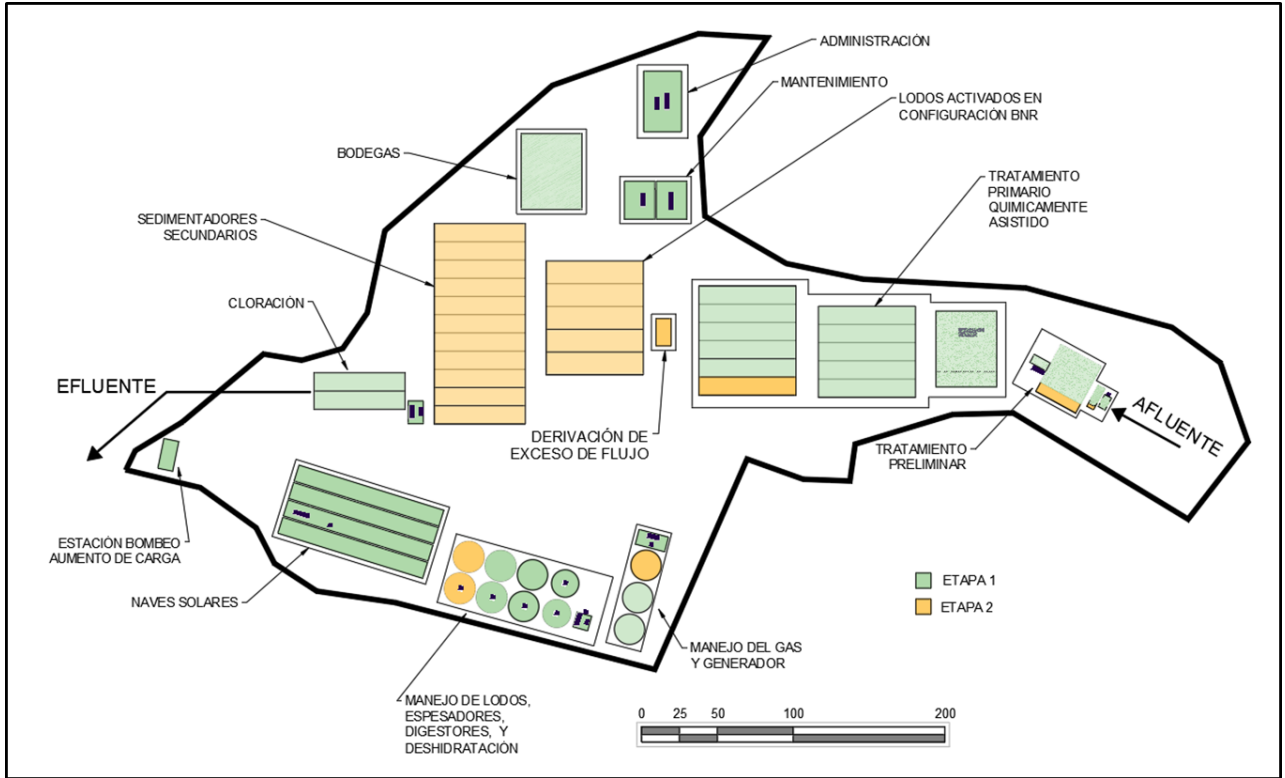
Resumen de Areas Requeridas PTAR Sur 2.1 Opción 2

Proceso	Area/Unidad (m2)	Etapa 1 (2027-2037)		Etapa 2 (2038-2047)	
		TPQA		TPQA + Filtros Perc.	
		No Unidades	Area (m2)	No Unidades	Area (m2)
Pretratamiento					
Estación de Bombeo	300	1	300		
Rejillas Gruesas	15.00	4	60	-	-
Rejillas de 6 mm	15.00	6	90	-	-
Desarenadores	318.65	4	1,275	-	1
Otros (Medidor Parshall, clasificador, etc)	200	1	200		-
TPQA					
Mezclador y Flocculadores	321	5	1,607	-	-
Sedimentadores Primarios	764.77	10	7,648	1	765
Sistema de Cloración	849.7	3	2,549	-	-
Tratamiento Secundario					
Estructura derivación caudal exceso trat	100			1	100
Lodos Activados MLE	1,729		-	5	8,645
Sedimentadores Secundarios	740		-	11	8,138
Tratamiento de Lodos					
Espesador por Gravedad	254.47	2	509	-	-
Digestores Anaerobios	380.1	4	1,521	2	760
Edificio Prensas de Banda	100	1	100		
Naves Solares	1155	4	4,620	-	-
Generación de Gas					
Gasómetro	314.2	2	628	1	314
Edificio microturbinas	200	1	200	1	200
Estaciones de Bombeo					
Varias	100	5	500		
Edificios					
Administrativos	1000	1	1,000		
Edifi. Operación y mantenimiento	500	2	1,000		
Edificio de cloración	150	1	150		
Bodega	2000	2	4,000		
Total Unidades			27,956		18,604
Vías y Areas Verdes y Buffer					
Area adicional (caminos, aceras, etc)	40%		11,183		7,441.42
Area de protección buffer	100%		27,956		18,603.55
Area Total / Etapa (m2)			67,096		44,649
Area total Etapas 1 y 2 (m2)				111,744 m²	
				11.2 Ha	

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Cuenca Sur Opción 2-1 PTAR No. 1, MGCS

Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total Unidades
Obras Entrada	Bombas Estación de bombeo	Bombas de alta carga entrada PTAR	7	1	8
	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.5 m	4	0	4
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	6	0	6
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	4	-1	3
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2	0	2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	2		2
	Canal Parshall	Canal de 10 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	5		5
	Sedimentadores Primarios	<i>Tipo circular</i>	10	1	11
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrifugas		3	3
	Lodos Activados MLE	Lodos act. Modificados para remover nitrógeno		5	5
Sed. Secund.	Sedimentador tipo rectangular	Rectangular con rastra de lodos		11	11
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	3		3
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecanismo de rotación central	2		2
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	4	2	6
	Gasómetros	Doble membrana	2		2
	No de Turbinas de generación de 1000kW	Microtubinas múltiples acoplads de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	1	1	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	1	3
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar meca	4	0	4

Implantación a Escala de PTAR Sur 2-1 de Opción 2



6 PTAR Sur 2-2 Opción 2

El diseño de la PTAR Sur 2-2 de la Opción 2 es similar al de la PTAR Sur Opción 1 en cuanto a procesos, parámetros de diseños de los mismos, eficiencias y unidades de tratamiento.

. En esta sección solo se presentan las tablas resúmenes.

Estimación de Poblacion por Cuenca de aportación a Opción 2 PTAR 2-2 Cuenca Sur					
Municipio	Area Urbana Aportante (Ha)	% area urbana	Población Contribuyente		
			2020	2037	2047
Guatemala	2035	15.66	187,264	198,307	198,307.41
Villa Nueva	2,416	63	291,220	386,440	445,479.84
San Miguel Petapa	1,975	100.00	139,052	168,693	183,507.91
Santa Catarina Pinula	779	27.75	21,164	22,036	22,192.19
Villa Canales	1,182	75.63	100,614	107,079	109,202.11
Total			739,313	882,555	958,689

Estimación de caudales MGCS, Guatemala. Cuenca Sur Opción 2-2										
Año	Población hab.	Población aportante PTAS hab.	Caudales de Aguas Residuales (m3/d)							4 Qprom Seco
			Domestico	Industrial Com Ins	Q promedio seco + Inf.	Q máximo doméstico	Q maximo seco	Qprom. húmedo	Q max húmedo	
2020	739,313	665,382	95,815	31,619	146,549	138,822	170,441	165,664	189,556	586,196
2027	803,307	722,977	104,109	34,356	159,234	149,174	183,529	180,004	204,299	636,937
2037	882,555	794,300	114,379	37,745	174,943	161,885	199,630	197,762	222,448	699,772
2042	872,746	785,471	113,108	37,326	172,999	160,317	197,643	195,564	220,208	691,994
2047	958,689	862,821	124,246	41,001	190,034	173,998	214,999	214,822	239,786	760,138
Factor de retorno			80							
Dotacion Industria, co			33 % de doméstico							
Infiltración			15 % de doméstico							
Cobertura y Conectiv			90 %							
Dotación Agua Potabl			180 lppd							
Influjo permitido			15 % de doméstico							

Caracterización Aguas Residuales de la Ciudad de Guatemala Cuenca Sur Opción 2-2			
Parámetro	Opción 2-2 (mg/l)	Carga (Kg/d)	
		2037	2047
DBO5	333	58,257	63,282
DQO	472	82,513	89,631
Sólidos en suspensión	250	43,736	47,509
Aceites y grasas	26	4,574	4,968
Nitrógeno total	35	6,040	6,561
Fósforo total	8	1,476	1,604
Coliforme fecal	1.32E+07		

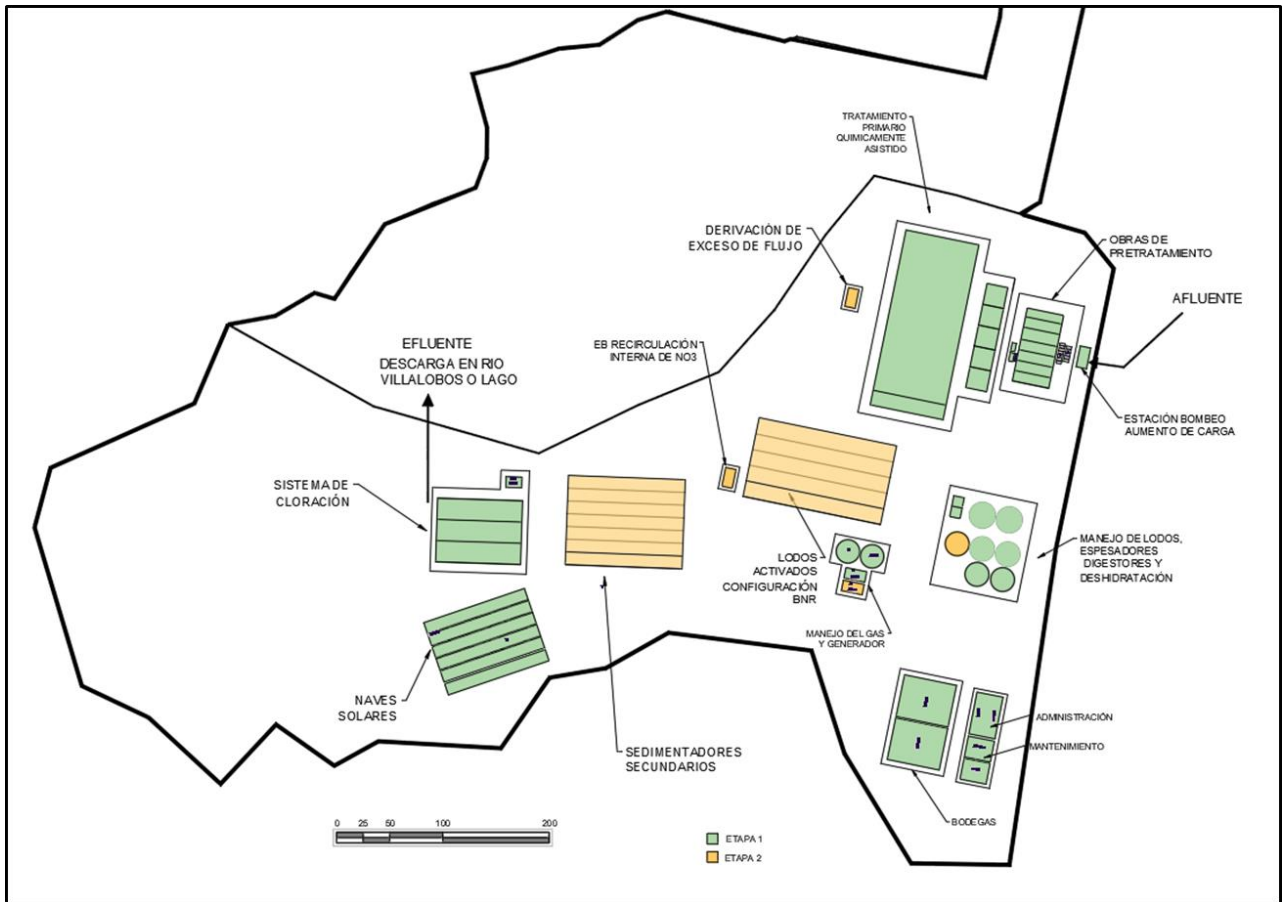
Resumen de Areas Requeridas PTAR Sur 2.2. Opción 2

Proceso	Area/Unidad (m2)	Etapa 1 (2027-2037)		Etapa 2 (2038-2047)	
		TPQA		TPQA + Filtros Perc.	
		No Unidades	Area (m2)	No Unidades	Area (m2)
Pretratamiento					
Estación de Bombeo	300	1	300		
Rejillas Gruesas	15.00	4	60	-	-
Rejillas de 6 mm	15.00	7	105	-	-
Desarenadores	364.46	4	1,458	1	364
Otros (Medidor Parshall, clasificador, etc)	200	1	200		-
TPQA					
Mezclador y Flocladores	313	5	1,564	-	-
Sedimentadores Primarios	728.93	12	8,747	-	-
Sistema de Cloración	971.9	3	2,916	-	-
Tratamiento Secundario					
Estructura derivación caudal exceso trat	100			1	100
Lodos Activados MLE	1,978		-	5	9,888
Sedimentadores Secundarios	1,279		-	7	8,951
Tratamiento de Lodos					
Espesador por Gravedad	283.53	2	567	-	-
Digestores Anaerobios	452.4	4	1,810	1	452
Edificio Prensas de Banda	100	1	100		
Naves Solares	1155	6	6,930	-	-
Generación de Gas					
Gasómetro	314.2	3	942	1	314
Edificio microturbinas	200	1	200	1	200
Estaciones de Bombeo					
Varias	100	5	500		
Edificios					
Administrativos	1000	1	1,000		
Edifi. Operación y mantenimiento	500	2	1,000		
Edificio de cloración	150	1	150		
Bodega	2000	2	4,000		
Total Unidades			32,549		19,541
Vías y Areas Verdes y Buffer					
Area adicional (caminos, aceras, etc)	40%		13,020		7,816.43
Area de protección buffer	100%		32,549		19,541.06
Area Total / Etapa (m2)			78,118		46,899
Area total Etapas 1 y 2 (m2)				125,016 m²	
				12.5 Ha	

**Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Cuenca Sur
Opción 2-2 PTAR No. 2, MGCS**

Sistema	Proceso	Descripción	Etapa 1	Etapa 2	Total
Obras Entrada	Bombas Estación de bombeo	Bombas de alta carga entrada PTAR	7	1	8
	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.5 m	4	0	4
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	7	0	7
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	4	-1	3
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	2		2
	Canal Parshall	Canal de 10 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	5		5
	Sedimentadores Primarios	<i>Tipo circular</i>	12	0	12
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Lodos Activados	Lodos Act. Modificados para remover nitrógeno		5	5
Sed. Secund.	Sedimentador tipo rectangular	Mecanismo de cadena con rastra de lodos		7	7
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	3		3
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecanismo de rotación central	2		2
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede calentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	4	1	5
	Gasómetros	Doble membrana	3		3
	No de Turbinas de generación de 1000kW	Microtubinas múltiples acopladas de fábrica con equipo de tratamiento y seguridad	1	1	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	1	3
Secado de Lodos	Secado solar	Naves de Secado Solar mecanizados	6	0	6

Implantación a Escala PTAR Sur 2-2 de Opción 2

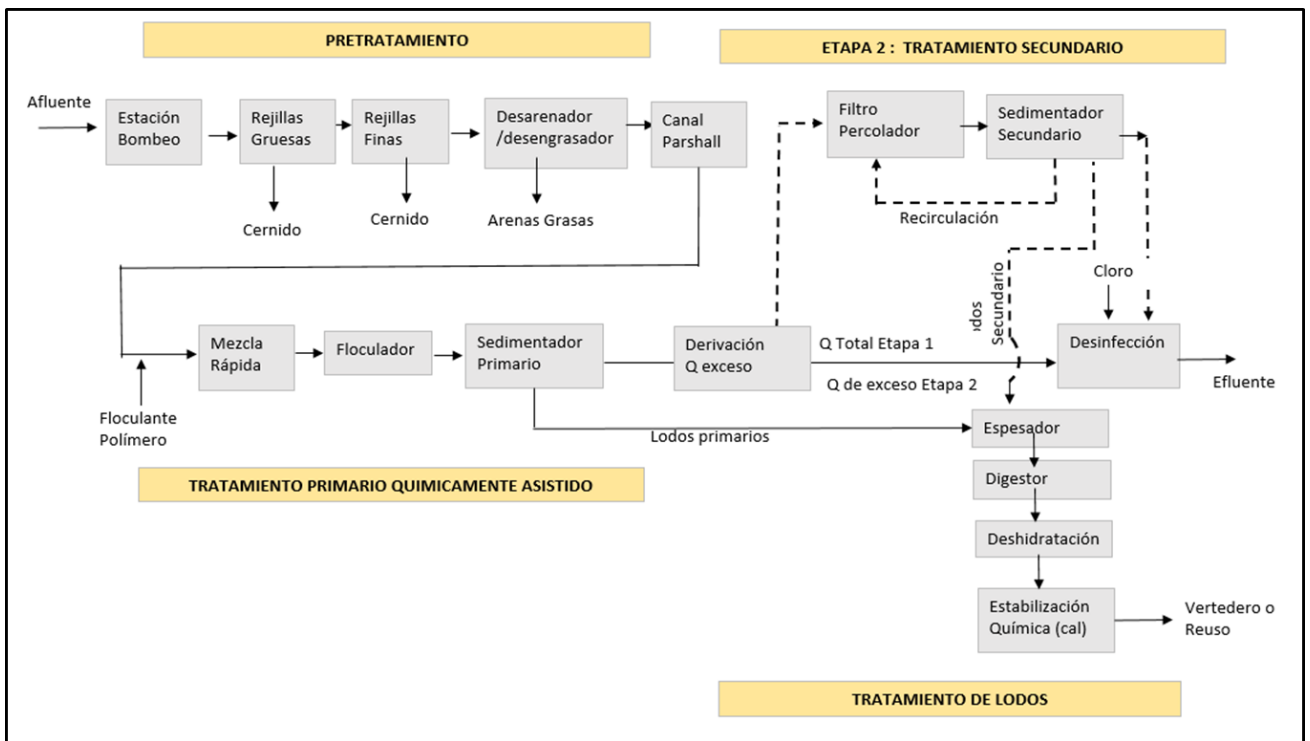


7 PTAR Amatitlán

El diseño de la PTAR Amatitlán es similar al de la PTAR Norte con la diferencia que no se usan digestores anaerobios ni naves de secado solar.

En esta sección solo se presentan las tablas resúmenes.

Diagrama Esquemático PTAR Amatitlán



Estimación de Poblacion por Cuenca de aportación a PTAR Amatitlán					
Municipio	Area Urbana Aportante (Ha)	% area urbana	Población Contribuyente		
			2020	2037	2047
Amatitlán	1470	100	124,774	150,541	164,370
Total			124,774	150,541	164,370

Estimación de caudales MGCS, Guatemala. Cuenca Amatitlán										
Año	Población hab.	Población aportante PTAS hab.	Caudales de Aguas Residuales (m3/d)							
			Domestico	Industrial Com Ins	Q promedio seco + Inf.	Q máximo doméstico	Q maximo seco	Qprom. húmedo	Q max humedo	4 Qprom Seco
2020	124,774	112,296	16,171	5,336	24,733	31,094	36,430	27,959	39,656	98,932
2027	136,114	122,502	17,640	5,821	26,981	33,404	39,225	30,500	42,744	107,924
2037	150,541	135,487	19,510	6,438	29,841	36,299	42,737	33,733	46,629	119,363
2042	157,455	141,710	20,406	6,734	31,211	37,670	44,404	35,282	48,475	124,845
2047	164,370	147,933	21,302	7,030	32,582	39,032	46,062	36,832	50,312	130,328
Factor de retorno		80								
Dotacion Industria, comerci		33	% de doméstico							
Infiltración		15	% de doméstico							
Cobertura y Conectividad		90	%							
Dotación Agua Potable		180	lppd							
Influjo permitido		15	% de doméstico							

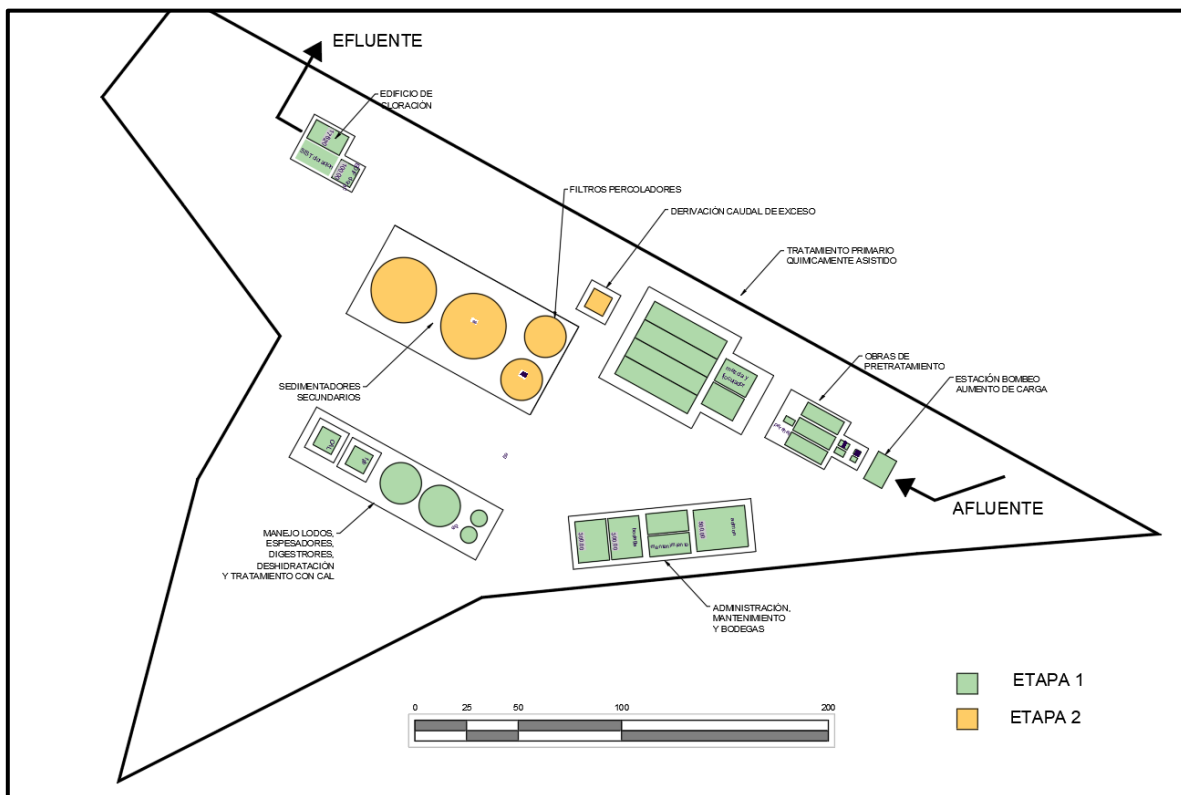
Caracterización Aguas Residuales Amatitlán			
Parámetro	AR Amatitlán (mg/l)	Carga (Kg/d)	
		2037	2047
DBO5	286	8,546	9,331
DQO	484	14,431	15,757
Sólidos en suspensión	250	7,460	8,145
Aceites y grasas	29	879	959
Nitrógeno total	28	822	897
Fósforo total	7	206	225
Coliforme fecal	1.86E+07		

Resumen de Areas Requeridas PTAR Amatitlán					
Proceso	Area/Unidad (m2)	Etapa 1 (2027-2037)		Etapa 2 (2037-2047)	
		TPQA		TPQA + Filtros Perc.	
		No Unidades	Area (m2)	No Unidades	Area (m2)
Pretratamiento					
Estación de Bombeo	250	1	250		
Rejillas Gruesas	7.50	2	15	-	-
Rejillas de 6 mm	15.00	2	30	-	-
Desarenadores	82.89	3	249	-	-
Otros (Medidor Parshall, clasificador, etc)	200	1	200		
TPQA					
Mezclador y Floculadores	170	2	340	-	-
Sedimentadores Primarios	407.27	4	1,629	-	-
Sistema de Cloración	248.7	2	497	-	-
Tratamiento Secundario					
Estructura derivación caudal exceso trat	100			1	100
Filtros Percoladores	258		-	2	515
Sedimentadores Secundarios	738		-	3	2,214
Tratamiento de Lodos					
Espesador por Gravedad	50.27	2	101	-	-
Digestores Anaerobios	254.5	2	509	-	-
Edificio Prensas de Banda	100	1	100		
Tratamiento con cal	100	1	100		-
Estaciones de Bombeo					
Varias	100	5	500		
Edificios					
Administrativos	500	1	500		
Edifi. Operación y mantenimiento	200	2	400		
Edificio de cloración	100	1	100		
Bodega	300	2	600		
Total Unidades			6,120		2,829
Vías y Areas Verdes y Buffer					
Area adicional (caminos, aceras, etc)	40%		2,448		1,131.59
Area de protección buffer	100%		6,120		2,828.98
Area Total / Etapa (m2)			14,687		6,790
Area total Etapas 1 y 2 (m2)				21,477 m²	
				2.1 Ha	

Resumen de Unidades Principales, planta de tratamiento Amatitlán, Guatemala

Sistema	Proceso	Descripción	Etapas 1	Etapas 2	Total
Obras Entrada	Bombas Estación de bombeo	Bombas de alta carga entrada PTAR	3	0	3
	Rejillas Gruesas	Rejillas Gruesas de 25 mm . Ancho 1.0 m	2		2
	Rejillas de 6 mm	Rejillas de 6 mm. Ancho 2 m	2		2
	Desarenadores - Desengrasador	Desarenador y Desengrasador Aireado	3		3
	Aireadores de desarenadores	Tipo enbolo rotativo	2		2
	Clasificador de Arena	Lavador de arena	1		1
	Canal Parshall	Canal de 5 ft	1		1
Trat. Prim	Mezcladores rápido y floculadores	Mezclador mecánico	2		2
	Sedimentadores Primarios	<i>Tipo rectangular</i>	4		4
Trat. Secund.	Estructura de derivación	Derivación de lluvia tratado con TPQA		1	1
	Bombas alimentación Filtros Perc	Bombas centrífugas		3	3
	Filtro percolador	Media crossflow tipo panel de abeja (125 m2/m3)		2	2
Sed. Secund.	Sedimentador tipo circular	Mecanismo de rotación central		2	2
Desinfección	Cloración	Tanque de contacto de cloro	2		2
Espesadores por gravedad	Espesador Gravedad tipo circular	Mecanismo de rotación central	2		2
Digestores y Gas	Digestores mesofílico	Tipo circular, puede lcalentarse a 35 C con calor residual de microtubinas	2	0	2
Deshidratación	Filtración con Prensa de Banda	Prensa de banda completa con módulo de floculación, sistema de polímero y bombas de cavidad progresiva de alimentación	2	0	2
Tratamiento químico lodos	Adición de cal	Tratamiento con cal	1		1

Implantación a escala PTAR Amatitlán





Anexo 3

Memoria Técnica Interceptores de Aguas Residuales MGCS

Informe de Avance Soluciones de Saneamiento

Contenido

1	Ecuaciones Básicas	3
2	Criterios de Diseño	5
3	Interceptores Cuenca Sur Opción 1	6
4	Interceptores Cuenca Sur Norte	11
5	Interceptores Cuenca Sur Este	13
6	Interceptores Cuenca Sur 2-1 Opción 2	15
7	Interceptores Cuenca Sur 2-2 Opción 2	19
8	Interceptores Cuenca Amatitlán	21
9	Estaciones de Bombeo Sistema de colección y Entrada PTARs.....	22

Memoria Técnica Ingeniería de Procesos

Este documento es la memoria de las soluciones propuestas para el sistema de intercepción de aguas residuales de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS).

La implantación de los sistemas de intercepción se realizó por cuenca de drenaje. El área de influencia se divide en cuatro cuencas de drenaje naturales, las cuales a su vez cuentan con respectivos sistemas de intercepción que conducen las aguas residuales a las PTAR respectivas, por tanto se definieron cuatro sistemas principales de intercepción, una por cada cuenca de drenaje:

- Sistema Central Norte que conduce las aguas a la PTAR Norte
- Sistema Este que conduce las aguas residuales a la PTAR Este
- Sistema Amatitlán que conduce las aguas residuales a la PTAR de Amatitlán
- Sistema Sur, el cual tiene dos opciones. En la Opción 1, los interceptores conducen el agua residual a una sola PTAR ubicada en la ribera del lago Amatitlán. En la Opción 2, la cuenca Sur se divide en dos subcuencas y por tanto se proponen dos sistemas de intercepción, uno para cada PTAR.

El documento presenta las estimaciones de población y caudales para las sección o tramos de cada interceptor, así como criterios de diseño, ecuaciones usadas y los cálculos ingenieriles para el dimensionamiento de los mismos.

1 Ecuaciones Básicas

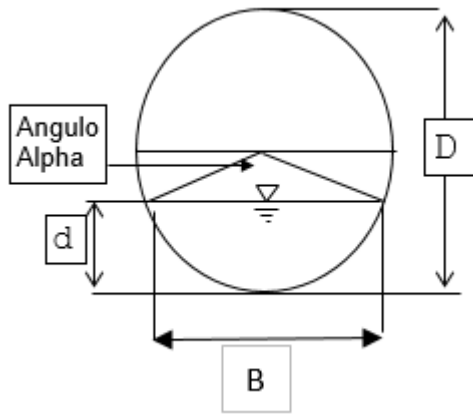
Tuberías a Flujo parcialmente lleno

Las tuberías a flujo parcialmente lleno se diseñan aplicando la ecuación de Manning

Cálculos basados en fórmula de Manning

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = v \cdot A$$



Donde,

Q	Caudal	m ³ /s
v	Velocidad	m/s
S	Pendiente	m/m
A	Área	m ²
R	Radio hidráulico	m
R	A/Pm	m
Pm	Perímetro mojado	m
d	Altura de agua	m
Alpha	Angulo interno	Radianes
B	Ancho superficie agua	m

Tuberías a Flujo lleno

Las tuberías a flujo lleno se diseñan aplicando la ecuación de Hazen and Williams

Cálculos basados en formula de Hazen Williams

$$v=0.3546CD^{0.63} S^{0.54}$$

$$s=(10.6225(Q/C)^{1.85})/D^{4.87}$$

$$D=(Q/(0.2796CS^{0.54}))^{0.38023}$$

$$Q=0.2796CD^{2.63} S^{0.54}$$

donde

s : Pérdidas de fricción en m/m

Q : Caudal en m³/s

C : Coeficiente de Hazen Williams

D : Diámetro en m

V : Q/A : Velocidad en m/s

A : $\pi * (D)^2/4$:Area in m²

Pérdidas menores : K * Vh

Vh: Carga de velocidad : $V^2/(2g)$

K : Coeficiente de pérdidas menores

2 Criterios de Diseño

Criterios para el cálculo de caudales

- Población diseño:2070 (70 años a partir del año 2020)
- Dotación de agua potable: 180 lppd
- Contribución industrial y comercial: 33%
- Porcentaje de retorno 80 %
- Cobertura y conectividad 90 %
- Infiltración: 15 % del caudal medio seco
- Factor de máximo hora: Factor de Harmón sobre población contribuyente
- Factor de derivación de caudal de lluvia Opción 2: 4Qprom
- Factor de derivación de caudal de lluvia Opción 1: para la opción 1, el Q pico de lluvia es igual a 4Qprom para los interceptores secundarios y 3Qpromedio para el Interceptor Villalobos. En otras palabras, el factor de derivación de caudal de lluvia es 3 Q promedio seco solamente en los sitios de conjunción de los Interceptores secundarios con el Interceptor Villalobos

Trazado de interceptores y Colectores

- Cuando sea factible utilizar excavación a zanja abierta. En este caso se priorizará el uso de terrenos públicos
- Se maximiza la cobertura de área por gravedad ya sea con microtunelación o zanja abierta
- Se considera los interceptores necesarios que maximicen el área de cobertura desde un inicio

Criterios de Dimensionamiento Tuberías por Gravedad

El dimensionamiento de los interceptores por gravedad se realizó basado en los siguientes criterios

- Para definir el diámetro de las tuberías se usa la fórmula de Manning con un coeficiente conservador n de 0.013.
- El material de tubería depende del método constructivo. Se consideró GRP, aunque si se construye concreto en Guatemala, también se podría usar o si se usan métodos manuales de construcción de túneles con rozadoras, armado in situ y llenado de concreto.

- Se diseña para caudal sub-crítico con un número de Froude lo más cercano a la unidad.
- La velocidad entre 0.6 m/s y 3 m/s.
- Razón de tirante de agua (d/D) igual a 0.6 para tuberías menores a 1600 mm.
- Para tuberías de 1600 mm o mayores la razón de tirante (d/D) es de 0.8, con un diámetro mínimo de 1400 mm.
- Se utilizan diámetros comerciales
- Cada interceptor se seccionó en tramos separados por dos puntos de control (similar a pozos de visita) los cuales fueron seleccionados en los sitios de conjunción de interceptores y también en puntos donde que reciben un caudal considerable. Para cada tramo de interceptor se estimó y se calculó el diámetro correspondiente.

Criterios de Dimensionamiento Tuberías de Impulsión

El dimensionamiento de las tuberías a presión de las estaciones de bombeo se realizó basado en los siguientes criterios

- Se usa la fórmula de Hazen Williams con un coeficiente conservador C: 110
- Pérdidas menores 20% de pérdidas de fricción
- Material GRP; HDPE, HD, PVC según el diámetro

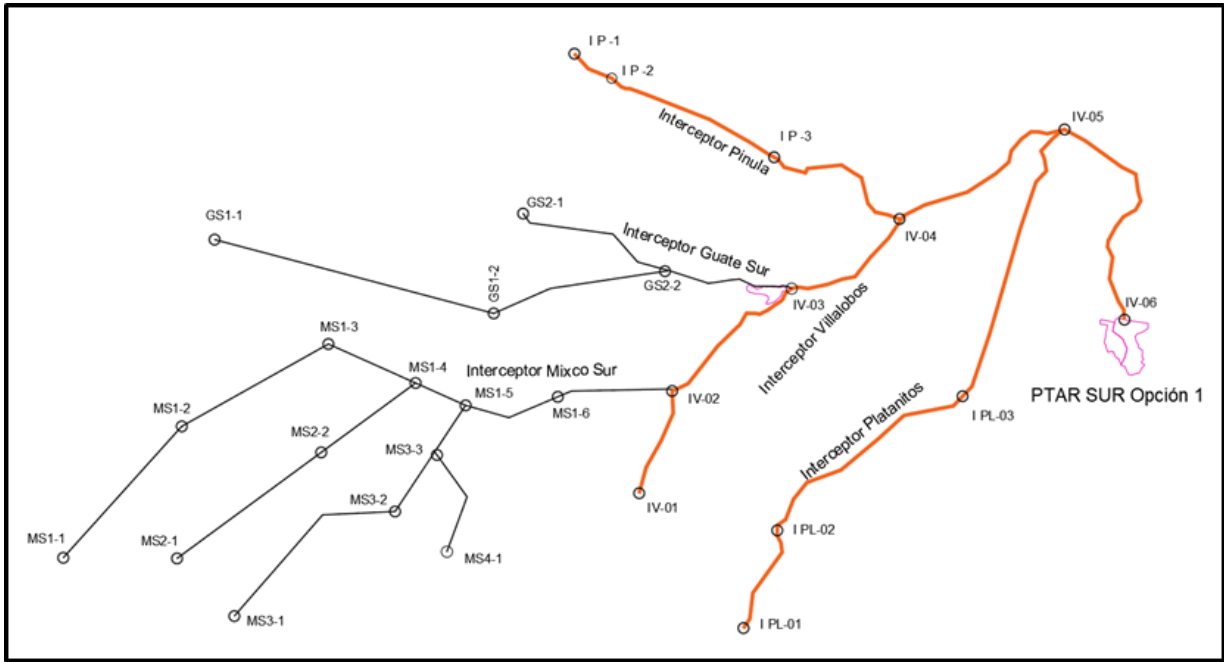
3 Interceptores Cuenca Sur Opción 1

El sistema consta de los siguientes interceptores:

- Interceptor Villalobos que corre sobre la ribera del río Villalobos
- Interceptor Pinula que corre sobre la ribera del río Pinula
- Interceptor Platanitos que corre sobre la ribera del río Platanitos
- Sistema de interceptores de forma detritica para recolectar las aguas residuales de la zona de Mixco y parte de la cuenca sur del municipio de Guatemala.

En esta opción todas las aguas residuales de la cuenca del río Villalobos son conducidas hacia la PTAR ubicada en la ribera del Lago Amatitlán

Diagrama Esquemático de Interceptores Sur Opción 1



Estimación de Población de Tramos de Interceptores Cuenca Sur Opción 1

Nombre de Interceptor				Población contribuyente						
	De	A	Conjunción	Mixco	Gutem.	Villanueva	San Miguel Petapa	Santa Catarina Pinula	Villa Canales	Total
C-Mixco S2										
Sección 1	M-S2-1	M-S2-2		77,199		-	-	-	-	77,199
Sección 2	M-S2-2	M-S1-5	M-S1-5	77,199		-	-	-	-	77,199
C-Mixco S4										
Sección 1	M-S4-1	M-S3-3		26,833		-	-	-	-	26,833
C-Mixco S3										
Sección 1	M-S3-1	M-S3-2		76,210		-	-	-	-	76,210
Sección 2	M-S3-2	M-S3-3	MS-4	53,347		-	-	-	-	53,347
	M-S3-3	M-S1-5	M-S1-5	22,863		-	-	-	-	22,863
C-Mixco S1										
Sección 1	M-S1-1	M-S1-2		170,454		-	-	-	-	170,454
Sección 2	M-S1-2	M-S1-3		170,454		-	-	-	-	170,454
Sección 3	M-S1-3	M-S1-4	M-S2	-		-	-	-	-	-
Sección 4	M-S1-4	M-S1-5	M-S3	15,462		-	-	-	-	15,462
Sección 5	M-S1-5	M-S1-6		-		-	-	-	-	-
Sección 6	M-S1-6	I V-2	I Villa lobos	-		14,863	-	-	-	14,863
C- Guatemala S1										
Sección 1	G-S1-1	G-S1-2			100,138	12,714	-	-	-	112,852
Sección 2	G-S1-2	G-S2-2	G S2-2		-	35,134	-	-	-	35,134
C- Guatemala S2										
Sección 1	G-S2-1	G-S2-2	G-S1-2		40,930	-	-	-	-	40,930
Sección 2	G-S2-2	I V-3 Villalobos			7,418	278	-	-	-	7,696
Interceptor Pinula										
Sección 1	I P-1	I P-2			112,291		-	3,425	-	115,716
Sección 2	I P-2	I P-3	Zon central Guat		67,666		-	18,796	44,058	130,520
Sección 3	I P-3	I V-4	I Villalobos		-		39,757	-	9,387	49,144
Interceptor Platanitos										
Sección 1	I PL-1	I PL-2				213,737	-	-	-	213,737
Sección 2	I PL-2	I PL-3				396,941	-	-	-	396,941
Sección 3	I PL-3	I V-5	I Villalobos			-	105,261	-	-	105,261
Interceptor Villa lobos 1										
Sección 1	I V-1	I V-2	Interc. MS-1			202,219	-	-	-	202,219
Sección 2	I V-2	I V-3	Interc. GS-1			86,665	-	-	-	86,665
Sección 3	I V-3	I V-4	I Pinula			-	49,896	-	-	49,896
Sección 4	I V-4	I V-5	I Platanitos			-	30,074	-	16,376	46,450
Sección 5	I V-5	I V-6	PTAR Cuenca Sur			-	-	-	38,210	38,210
Total				356,371	328,444	962,551	224,989	22,221	108,030	2,336,256

Estimación de Caudales Cuenca Sur Opción1						
Interceptor / Sección	De	A	Pob por sección	Población acumulada	Q promedio seco con Infil.	4 Q Prom Seco con Infil.
			hab	hab	m ³ /d	m ³ /s
Sistema Sur						
C-Mixco S1						
Sección 1	M-S1-1	M-S1-2	170,454	170,454	33,788	1.56
Sección 2	M-S1-2	M-S1-3	170,454	340,909	67,576	3.13
Sección 3	M-S1-3	M-S1-4	-	340,909	67,576	3.13
Sección 4	M-S1-4	M-S1-5	15,462	510,769	101,246	4.69
Sección 5	M-S1-5	M-S1-6	-	690,021	136,778	6.33
Sección 6	M-S1-6	I V-2	14,863	704,884	139,724	6.47
C-Mixco S2						
Sección 1	M-S2-1	M-S2-2	77,199	77,199	15,303	0.71
Sección 2	M-S2-2	M-S1-4	77,199	154,399	30,605	1.42
C-Mixco S3						
Sección 1	M-S3-1	M-S3-2	76,210	76,210	15,107	0.70
Sección 2	M-S3-2	M-S3-3	53,347	129,556	25,681	1.19
Sección 3	M-S3-3	M-S1-5	22,863	179,252	35,532	1.64
C-Mixco S4						
Sección 1	M-S4-1	M-S3-3	26,833	26,833	5,319	0.25
C- Guatemala S1						
Sección 1	G-S1-1	G-S1-2	112,852	112,852	22,370	1.04
Sección 2	G-S1-2	G-S2-2	35,134	147,987	29,334	1.36
C- Guatemala S2						
Sección 1	G-S2-1	G-S2-2	40,930	40,930	8,113	0.38
Sección 2	G-S2-2	G-S2-2-1	7,696	196,613	38,973	1.80
Sección 3	G-S2-2-1	I V-3 Villalobos	7,696	196,613	38,973	1.80
Interceptor Pinula						
Sección 1	I P-1	I P-2	115,715.88	115,715.88	22,938	1.06
Sección 2	I P-2	I P-3	130,520.44	246,236.32	48,810	2.26
Sección 3	I P-3	I V-4	49,144.22	295,380.54	58,551	2.71
Interceptor Platanitos						
Sección 1	I PL-1	I PL-2	213,737	213,737	42,368	1.96
Sección 2	I PL-2	I PL-3	396,941	610,678	121,051	5.60
Sección 3	I PL-3	I V-5	105,261	715,939	141,916	6.57
DIMENSIONAMIENTO INTERCEPTOR VILLALOBOS						
Se considera un factor CSO de 3 en los puntos de conjunción de interceptores secundarios						
Contribución Parcial de Interceptor Villalobos						
Interceptor Villa lobos 1						
Sección 1	I V-1	I V-2	202,219	202,219	40,084	1.86
Sección 2	I V-2	I V-3	86,665	86,665	17,179	0.80
Sección 3	I V-3	I V-4	49,896	49,896	9,891	0.46
Sección 4	I V-4	I V-5	46,450	46,450	9,207	0.43
Sección 5	I V-5	I V-6	38,210	38,210	7,574	0.35
Derivación caudal con factor CSO de 3						
Interceptor Mixco						4.85
Interceptor Guate						1.35
Interceptor Pinula						2.03
Interceptor Platanitos						4.93
Total Interceptor Villa lobos con factor CSO de 3 para Interceptores secundarios						
Sección 1	I V-1	I V-2				1.86
Sección 2	I V-2	I V-3				7.50
Sección 3	I V-3	I V-4				9.31
Sección 4	I V-4	I V-5				11.77
Sección 5	I V-5	I V-6				17.05

Dimensionamiento tuberías Sistema Sur Opción 1

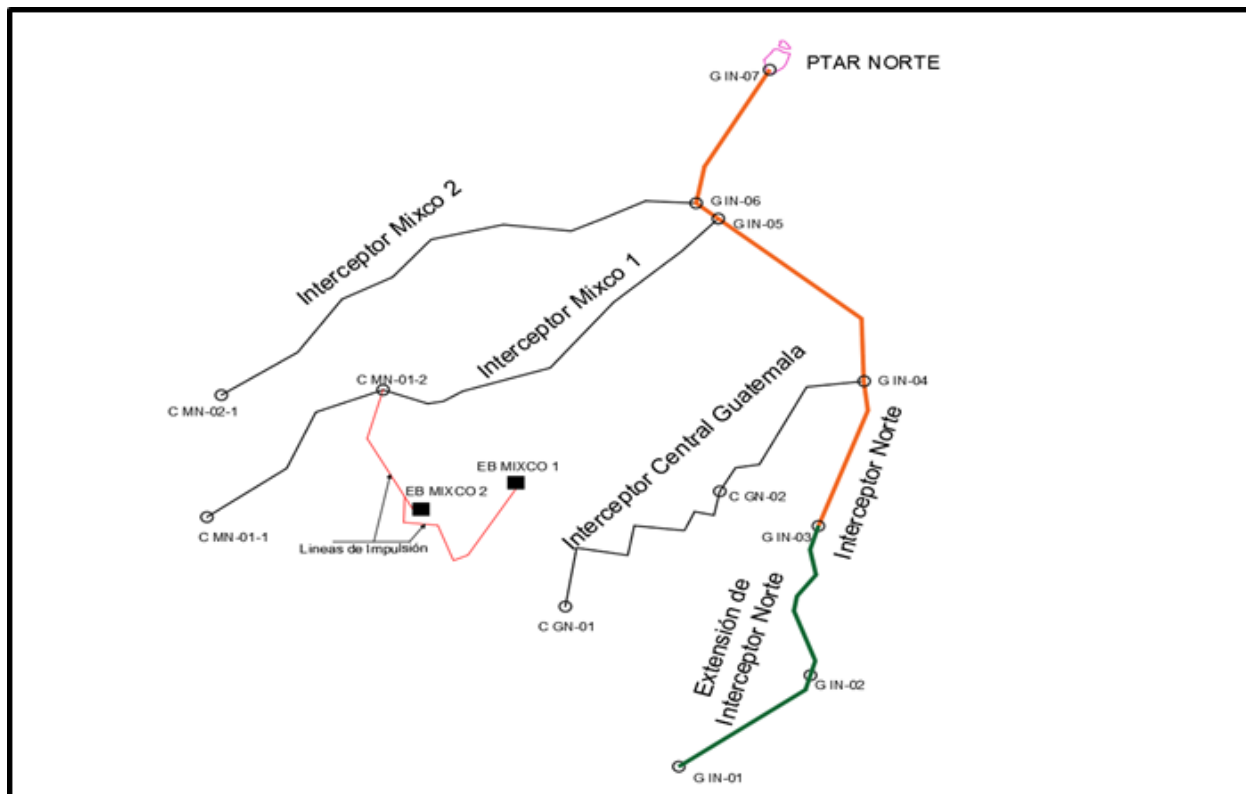
Interceptor / Sección	De	A	4 Q Prom	L	n	D	d/D	V	S	Número de Froude F
			Seco con Infil. m ³ /s							
Sistema Sur										
C-Mixco S1										
Sección 1	M-S1-1	M-S1-2	1.56	3.63	0.013	1.20	0.600	2.21	0.36	0.82
Sección 2	M-S1-2	M-S1-3	3.13	2.67	0.013	1.40	0.800	2.37	0.30	0.49
Sección 2	Tramos en caída libre			0.19		1.40				
Sección 3	M-S1-3	M-S1-4	3.13	1.64	0.013	1.40	0.800	2.37	0.30	0.49
Sección 3	Tramos en caída libre			0.20		1.40				
Sección 4	M-S1-4	M-S1-5	4.69	1.02	0.013	1.60	0.800	2.72	0.33	0.56
Sección 5	M-S1-5	M-S1-6	6.33	1.56	0.013	1.80	0.800	2.90	0.32	0.57
Sección 5	Tramos en caída libre			0.20		1.80				
Sección 6	M-S1-6	I V-2	6.47	2.49	0.013	1.80	0.800	2.96	0.33	0.59
C-Mixco S2										
Sección 1	M-S2-1	M-S2-2	0.71	3.10	0.013	1.00	0.600	1.44	0.19	0.42
Sección 2	Tramos en caída libre			0.45		1.00	0.600			
Sección 2	M-S2-2	M-S1-4	1.42	2.05	0.013	1.20	0.600	2.00	0.29	0.68
C-Mixco S3										
Sección 1	M-S3-1	M-S3-2	0.70	3.36	0.013	1.00	0.600	1.42	0.19	0.41
Sección 2	M-S3-2	M-S3-3	1.19	1.61	0.013	1.20	0.600	1.68	0.21	0.48
Sección 3	M-S3-3	M-S1-5	1.64	1.06	0.013	1.20	0.600	2.32	0.39	0.91
C-Mixco S4										
Sección 1	M-S4-1	M-S3-3	0.25	2.04	0.013	0.60	0.600	1.39	0.36	0.65
Sección 1	Tramos en caída libre			0.16		0.60				
C- Guatemala S1										
Sección 1	G-S1-1	G-S1-2	1.04	5.12	0.013	1.00	0.600	2.10	0.41	0.90
Sección 1	Tramos en caída libre			0.2		1.00				
Sección 2	G-S1-2	G-S2-2	1.36	3.32	0.013	1.20	0.600	1.92	0.27	0.62
C- Guatemala S2										
Sección 1	G-S2-1	G-S2-2	0.38	3.03	0.013	0.80	0.600	1.19	0.18	0.36
Sección 2	G-S2-2	G-S2-2-1	1.80	0.47	0.013	1.40	0.600	1.87	0.21	0.51
Sección 3	G-S2-2-1	I V-3 Villalobos	1.80	2.16	0.013	1.40	0.600	1.87	0.21	0.51
Sección 3	Tramos en caída libre			0.21		1.40				
Interceptor Pinula										
Sección 1	I P-1	I P-2	1.06	0.89	0.013	1.00	0.600	2.16	0.43	0.95
Sección 2	I P-2	I P-3	2.26	3.39	0.013	1.40	0.600	2.34	0.33	0.80
Sección 3	I P-3	I V-4	2.71	3.05	0.013	1.40	0.800	2.05	0.22	0.36
Interceptor Platanitos										
Sección 1	I PL-1	I PL-2	1.96	1.82	0.013	1.40	0.600	2.03	0.25	0.60
Sección 2	I PL-2	I PL-3	5.60	4.78	0.013	1.60	0.800	3.25	0.47	0.80
Sección 3	I PL-3	I V-5	6.57	5.40	0.013	1.80	0.800	3.01	0.34	0.61
Total Interceptor Villa lobos con factor CSO de 3 para Interceptores secundarios										
Sección 1	I V-1	I V-2	1.86	2.23	0.013	1.40	0.600	1.92	0.22	0.54
Sección 2	I V-2	I V-3	7.50	2.88	0.013	1.80	0.800	3.44	0.45	0.79
Sección 3	I V-3	I V-4	9.31	2.56	0.013	2.00	0.800	3.46	0.39	0.72
Sección 4	I V-4	I V-5	11.77	3.53	0.013	2.40	0.800	3.03	0.24	0.46
Sección 5	I V-5	I V-6	17.05	4.60	0.013	2.40	0.800	4.39	0.50	0.97

4 Interceptores Cuenca Sur Norte

Incluye los siguientes interceptores::

- Un Interceptor Norte 1 similar a los propuestos en estudios anteriores
- Una extensión del Interceptor Norte similar los propuestos en estudios anteriores
- Un Interceptor central que es similar a la propuesta original del Plan Maestro del año 1996
- Dos Interceptores para la zona de Mixco
- Bombeo de un pequeño sector de la población entre Guatemala y Mixco

Diagrama Esquemático de Interceptores Norte



Estimación de Población de Tramos de Interceptores Cuenca Norte								
Nombre de Interceptor				Población contribuyente				
	De	A	Conjunción	Mixco	Gutemala	Santa Catarina Pinula	Villa Canales	Total
Interceptor Central Cuate								
Entrada		C-GN-1		-	43,750	-		43,750
Sección 1	C-GN-2	C-GN-2		-	64,264	-		64,264
Sección 2	C-GN-3	G-IN-4	G-IN-4	-	7,778	-		7,778
	EB N1	C-MN-01	EB N1	30,572	-	-		30,572
	EB N2	C-MN-01	EB N2	-	50,166	-		50,166
Interceptor Mixco Norte 1								
Entrada		C-MN-01		31,012	-	-		31,012
Sección 1	C-MN-01-1	C-MN-01-2		110,059	-	-		110,059
Sección 2	C-MN-01-2	G-IN-5	G-IN5	73,372	-	-		73,372
Interceptor Mixco Norte 2								
Sección 1	C-MN-02-1	G-IN-6	G-IN-6	89,076	-	-		89,076
Interceptor Norte								
Sección 1	G-IN-1	G-IN-2		-	186,277	8,192		194,469
Sección 2	G-IN-2	G-IN-3		-	50,361	-		50,361
Sección 3	G-IN-3	G-IN-4	Intercep. Central Cuate	-	31,111	-		31,111
Sección 4	G-IN-4	G-IN-5	Intercep. Mixco 1	-	28,583	-		28,583
Sección 5	G-IN-5	G-IN-6	Intercep. Mixco 2	-	-	-		-
Sección 6	G-IN-6	G-IN-7		-	-	-		-
Total				334,091	462,289	8,192		804,572

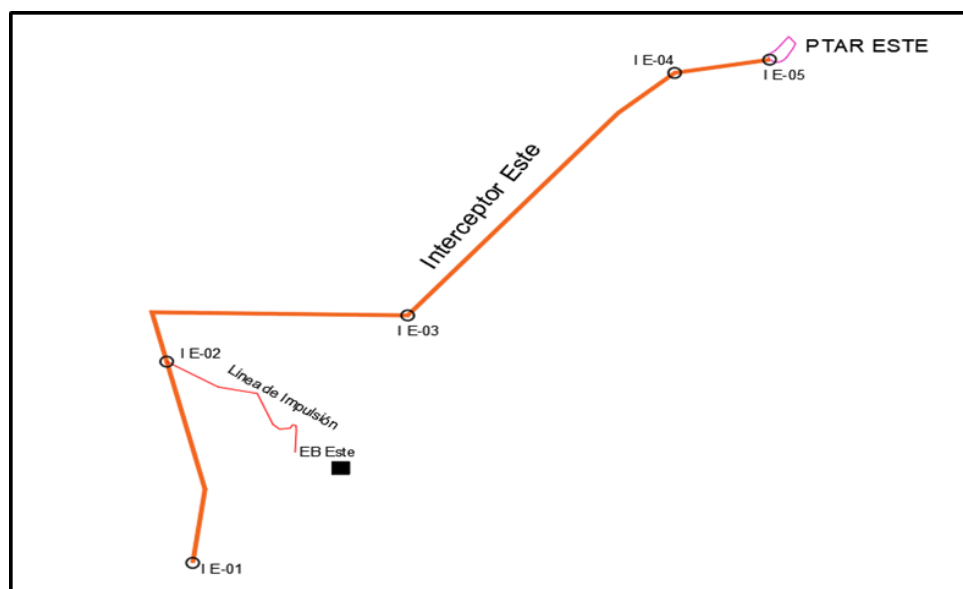
Interceptor / Sección	De	A	Pob por seccion	Población acumulada	Q promedio seco con Infiltr.	4 Q Prom Seco con Infiltr.
			hab	hab	m ³ /d	m ³ /s
Estimación de Caudal Sistema Norte						
Interceptor Central						
Entrada		C-GN-1	43,750	43,750	8,672	0.40
Sección 1	C-GN-2	C-GN-2	64,264	108,013	21,411	0.99
Sección 2	C-GN-3	G-IN-4	7,778	115,791	22,952	1.06
Estaciones de Bombeo a Mixco 1						
	EB N1	C-MN-01-2	30,572	30,572	6,060	0.28
	EB N2	C-MN-01-2	50,166	50,166	9,944	0.46
Interceptorr Mixco Norte 1						
Entrada	C-MN-01-1-1	C-MN-01-1-2	31,012	31,012	6,147	0.28
Sección 1	C-MN-01-1-2	C-MN-01-2	110,059	221,808	43,968	2.04
Sección 2	C-MN-01-2	G-IN-5	73,372	295,181	58,512	2.71
						-
Interceptorr Mixco Norte 2						
Sección 1	C-MN-02-1	G-IN-6	89,076	89,076	17,657	0.82
Interceptor Norte						
Sección 1	G-IN-1	G-IN-2	194,469	194,469	38,548	1.78
Sección 2	G-IN-2	G-IN-3	50,361	244,830	48,531	2.25
Sección 3	G-IN-3	G-IN-4	31,111	275,941	54,698	2.53
Sección 4	G-IN-4	G-IN-5	28,583	420,315	83,316	3.86
Sección 5	G-IN-5	G-IN-6	-	715,496	141,828	6.57
Sección 6	G-IN-6	G-IN-7	-	804,572	159,485	7.38

Dimensionamiento tuberías Sistema Norte

Interceptor / Sección	De	A	4 Q Prom	L	n	D	d/D	V	S	Número de Froude F
			Seco con Infiltr.							
			m ³ /s	Km		m	m/m	m/s	m/100 m	
Interceptor Central										
Entrada		C-GN-1	0.40							
Sección 1	C-GN-2	C-GN-2	0.99	4.37	0.013	1.00	0.600	2.01	0.38	0.82
Sección 2	C-GN-3	G-IN-4	1.06	3.63	0.013	1.00	0.600	2.16	0.44	0.95
Estaciones de Bombeo a Mixco 1										
	EB N1	C-MN-01-2	0.28							
	EB N2	C-MN-01-2	0.46							
Interceptorr Mixco Norte 1										
Entrada	C-MN-01-1-1	C-MN-01-1-2	0.28	2.00	0.013	0.60	0.600	1.61	0.48	0.87
Sección 1	C-MN-01-1-2	C-MN-01-2	2.04	2.00	0.013	1.40	0.600	2.11	0.27	0.65
Sección 2	C-MN-01-2	G-IN-5	2.71	5.00	0.013	1.40	0.800	2.05	0.22	0.36
			-	2.20		1.40				
Interceptorr Mixco Norte 2										
Sección 1	C-MN-02-1	G-IN-6	0.82	6.74	0.013	1.00	0.600	1.66	0.26	0.56
				1.26		1.00				
Interceptor Norte										
Sección 1	G-IN-1	G-IN-2	1.78	3.29	0.013	1.40	0.600	1.85	0.20	0.50
Sección 2	G-IN-2	G-IN-3	2.25	2.83	0.013	1.40	0.600	2.33	0.32	0.79
Sección 3	G-IN-3	G-IN-4	2.53	2.90	0.013	1.40	0.600	2.63	0.41	1.00
Sección 4	G-IN-4	G-IN-5	3.86	7.23	0.013	1.40	0.800	2.92	0.45	0.74
Sección 5	G-IN-5	G-IN-6	6.57	7.70	0.013	1.80	0.800	3.01	0.34	0.61
Sección 6	G-IN-6	G-IN-7	7.38	10.70	0.013	1.80	0.800	3.38	0.43	0.77

5 Interceptores Cuenca Sur Este

Diagrama Esquemático de Interceptores Este



Estimación de Población de Tramos de Interceptor Cuenca Este

Nombre de Interceptor				Población contribuyente		
	De	A	Conjunción	Mixco	Gutemal a	Total
Estación de Bombeo						
	Aporte Estacion de Bombeo				42,000	42,000
Interceptor Este						
Sección 1	I E-01	I E-02	E Bombeo		30,035	30,035
Sección 2	I E-02	I E-03			114,624	114,624
Sección 3	I E-03	I E-04			44,916	44,916
Sección 4	I E-04	I E-05			972	972
Total					190,548	232,548

Interceptor / Sección	De	A	Pob por seccion	Población acumulada	Q promedio seco con Infilt.	4 Q Prom Seco con Infilt.
			hab	hab	m ³ /d	m ³ /s

Estimación de Caudal Sistema Este

	Aporte Estacion de Bombeo		42,000	42,000	8,325	0.39
Interceptor Este						
Sección 1	I E-01	I E-02	30,035	30,035	5,954	0.28
Sección 2	I E-02	I E-03	114,624	186,659	37,000	1.71
Sección 3	I E-03	I E-04	44,916	231,576	45,904	2.13
Sección 4	I E-04	I E-05	972	232,548	46,096	2.13

Dimensionamiento tuberías Sistema Este

Interceptor / Sección	De	A	4 Q Prom Seco con Infilt.	L	n	D	d/D	V	S	Número de Froude F
			m ³ /s							
	Aporte Estacion de Bombeo		0.39							
Interceptor Este										
Sección 1	I E-01	I E-02	0.28	4.86	0.013	0.60	0.600	1.56	0.45	0.82
Sección 2	I E-02	I E-03	1.71	3.91	0.013	1.20	0.600	2.42	0.43	0.99
Sección 3	I E-03	I E-04	2.13	5.93	0.013	1.40	0.600	2.20	0.29	0.70
Sección 4	I E-04	I E-05	2.13	1.70	0.013	1.40	0.600	2.21	0.29	0.71

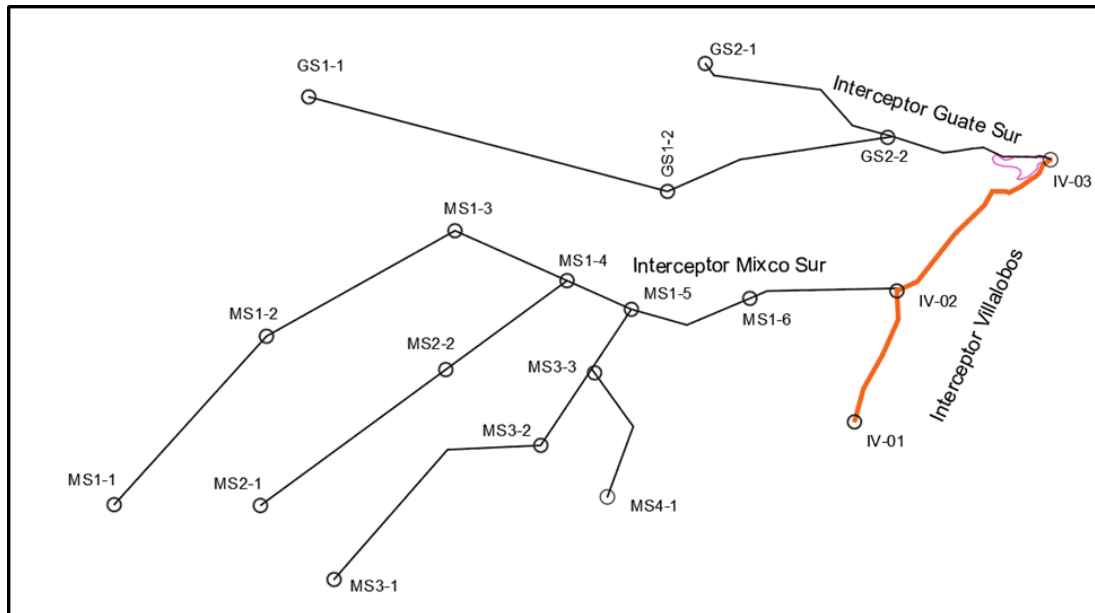
6 Interceptores Cuenca Sur 2-1 Opción 2

En esta opción las aguas residuales de la cuenca del río Villalobos son conducidas hacia dos plantas de tratamiento, una ubicada en la confluencia del río Villalobos y la quebrada el Frutal denominado sistema 2-1 y la otra PTAR ubicada en la ribera del Lago Amatitlán denominado sistema 2-2.

El sistema 2-1 consta de los siguientes interceptores:

- Interceptor Villalobos desde su inicio hasta la confluencia con la quebrada el Frutal
- Sistema de interceptores que recolecta las aguas del municipio de Mixco en la cuenca sur.
- Sistema de interceptores que recolecta parte las aguas del municipio de Guatemala en la cuenca sur..

Diagrama Esquemático de Interceptores Sur 2-1 Opción 2



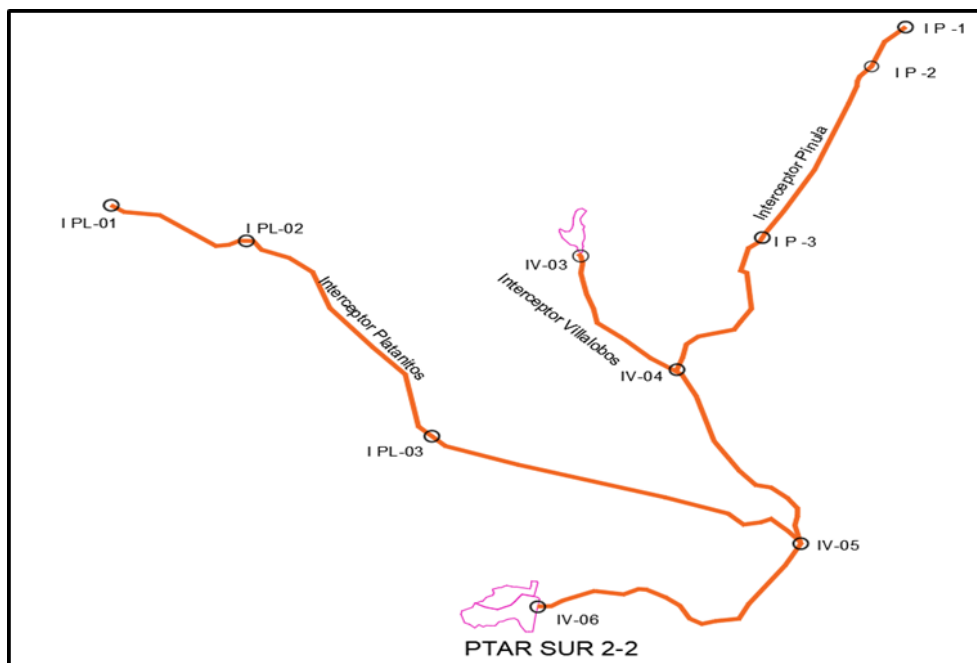
Estimación de Población de Tramos de Interceptores Cuenca Sur 2-1 Opción 2							
Nombre de Interceptor				Población contribuyente			
	De	A	Conjunción	Mixco	Gutem.	Villanueva	Total
C-Mixco S2							
Sección 1	M-S2-1	M-S2-2		77,199			77,199
Sección 2	M-S2-2	M-S1-5	M-S1-5	77,199			77,199
C-Mixco S4							
Sección 1	M-S4-1	M-S3-3		26,833			26,833
C-Mixco S3							
Sección 1	M-S3-1	M-S3-2		76,210			76,210
Sección 2	M-S3-2	M-S3-3	MS-4	53,347			53,347
	M-S3-3	M-S1-5	M-S1-5	22,863			22,863
C-Mixco S1							
Sección 1	M-S1-1	M-S1-2		170,454			170,454
Sección 2	M-S1-2	M-S1-3		170,454			170,454
Sección 3	M-S1-3	M-S1-4	M-S2	-			-
Sección 4	M-S1-4	M-S1-5	M-S3	15,462			15,462
Sección 5	M-S1-5	M-S1-6					-
Sección 6	M-S1-6	I V-2	I Villa lobos			14,863	14,863
C- Guatemal S1							
Sección 1	G-S1-1	G-S1-2			100,138	12,714	112,852
Sección 2	G-S1-2	G-S2-2	G S2-2			35,134	35,134
C- Guatemal S2							
Sección 1	G-S2-1	G-S2-2	G-S1-2		40,930		40,930
Sección 2	G-S2-2	I V-3 Villalobos			7,418	278	7,696
Interceptor Villa lobos 1							
Sección 1	I V-1	I V-2	Interc. MS-1			202,219	202,219
Sección 2	I V-2	I V-3	Interc. GS-1			86,665	86,665
Total				690,021	148,487	351,873	1,190,381

Estimación de Caudales Cuenca Sur 2-1 Opción2							
Interceptor / Sección	De	A	Conjunción	Pob por seccion	Población acumulada	Q promedio seco con Infil.	4 Q Prom Seco con Infil.
				hab	hab	m³/d	m³/s
C-Mixco S1							
Sección 1	M-S1-1	M-S1-2		170,454	170,454	33,788	1.56
Sección 2	M-S1-2	M-S1-3		170,454	340,909	67,576	3.13
Sección 3	M-S1-3	M-S1-4	M-S2	-	340,909	67,576	3.13
Sección 4	M-S1-4	M-S1-5	M-S3	15,462	510,769	101,246	4.69
Sección 5	M-S1-5	M-S1-6		-	690,021	136,778	6.33
Sección 6	M-S1-6	I V-2	I Villa lobos	14,863	704,884	139,724	6.47
C-Mixco S2							
Sección 1	M-S2-1	M-S2-2		77,199	77,199	15,303	0.71
Sección 2	M-S2-2	M-S1-4	M-S1-4	77,199	154,399	30,605	1.42
C-Mixco S3							
Sección 1	M-S3-1	M-S3-2		76,210	76,210	15,107	0.70
Sección 2	M-S3-2	M-S3-3	MS-4	53,347	129,556	25,681	1.19
Sección 3	M-S3-3	M-S1-5	M-S1-5	22,863	179,252	35,532	1.64
C-Mixco S4							
Sección 1	M-S4-1	M-S3-3		26,833	26,833	5,319	0.25
C- Guatemal S1							
Sección 1	G-S1-1	G-S1-2		112,852	112,852	22,370	1.04
Sección 2	G-S1-2	G-S2-2	G S2-2	35,134	147,987	29,334	1.36
C- Guatemal S2							
Sección 1	G-S2-1	G-S2-2	G-S1-2	40,930	40,930	8,113	0.38
Sección 2	G-S2-2	G-S2-2-1		7,696	196,613	38,973	1.80
Sección 3	G-S2-2-1	I V-3	PTAR Sur 1	7,696	196,613	38,973	1.80
Interceptor Villa lobos 1							
Sección 1	I V-1	I V-2	Colector MS-1	202,219	202,219	40,084	1.86
Sección 2	I V-2	I V-3	PTAR Sur 1	86,665	993,768	196,988	9.12
Total a PTAR Sur 2-1					1,190,381	235,961	10.9

Dimensionamiento de Tuberías Cuenca Sur 2-1 Opción2									
Interceptor / Sección	De	A	L	n	D	d/D	V	S	Número de Froude F
			Km		m	m/m	m/s	m/100 m	
C-Mixco S1									
Sección 1	M-S1-1	M-S1-2	3.63	0.013	1.20	0.600	2.21	0.36	0.82
Sección 2	M-S1-2	M-S1-3	2.67	0.013	1.40	0.800	2.37	0.30	0.49
Sección 2	Tramos en caída libre		0.19		1.40				
Sección 3	M-S1-3	M-S1-4	1.64	0.013	1.40	0.800	2.37	0.30	0.49
Sección 3	Tramos en caída libre		0.20		1.40				
Sección 4	M-S1-4	M-S1-5	1.02	0.013	1.60	0.800	2.72	0.33	0.56
Sección 5	M-S1-5	M-S1-6	1.56	0.013	1.80	0.800	2.90	0.32	0.57
Sección 5	Tramos en caída libre		0.20		1.80				
Sección 6	M-S1-6	I V-2	2.49	0.013	1.80	0.800	2.96	0.33	0.59
C-Mixco S2									
Sección 1	M-S2-1	M-S2-2	3.10	0.013	1.00	0.600	1.44	0.19	0.42
Sección 2	Tramos en caída libre		0.45		1.00				
Sección 2	M-S2-2	M-S1-4	2.05	0.013	1.20	0.600	2.00	0.29	0.68
C-Mixco S3									
Sección 1	M-S3-1	M-S3-2	3.36	0.013	1.00	0.600	1.42	0.19	0.41
Sección 2	M-S3-2	M-S3-3	1.61	0.013	1.20	0.600	1.68	0.21	0.48
Sección 3	M-S3-3	M-S1-5	1.06	0.013	1.20	0.600	2.32	0.39	0.91
C-Mixco S4									
Sección 1	M-S4-1	M-S3-3	2.04	0.013	0.60	0.600	1.39	0.36	0.65
Sección 1	Tramos en caída libre		0.16		0.60				
C- Guatemala S1									
Sección 1	G-S1-1	G-S1-2	5.12	0.013	1.00	0.600	2.10	0.41	0.90
			0.2		1.00				
Sección 2	G-S1-2	G-S2-2	3.32	0.013	1.20	0.600	1.92	0.27	0.62
C- Guatemala S2									
Sección 1	G-S2-1	G-S2-2	3.03	0.013	0.80	0.600	1.19	0.18	0.36
Sección 2	G-S2-2	G-S2-2-1	0.47	0.013	1.40	0.600	1.87	0.21	0.51
Sección 3	G-S2-2-1	I V-3	2.16	0.013	1.40	0.600	1.87	0.21	0.51
			0.21						
Interceptor Villa lobos 1									
Sección 1	I V-1	I V-2	2.23	0.013	1.40	0.600	1.92	0.22	0.54
Sección 2	I V-2	I V-3	2.88	0.013	2.00	0.800	3.38	0.38	0.69

7 Interceptores Cuenca Sur 2-2 Opción 2

Diagrama Esquemático de Interceptores Sur 2.2 Opción 2



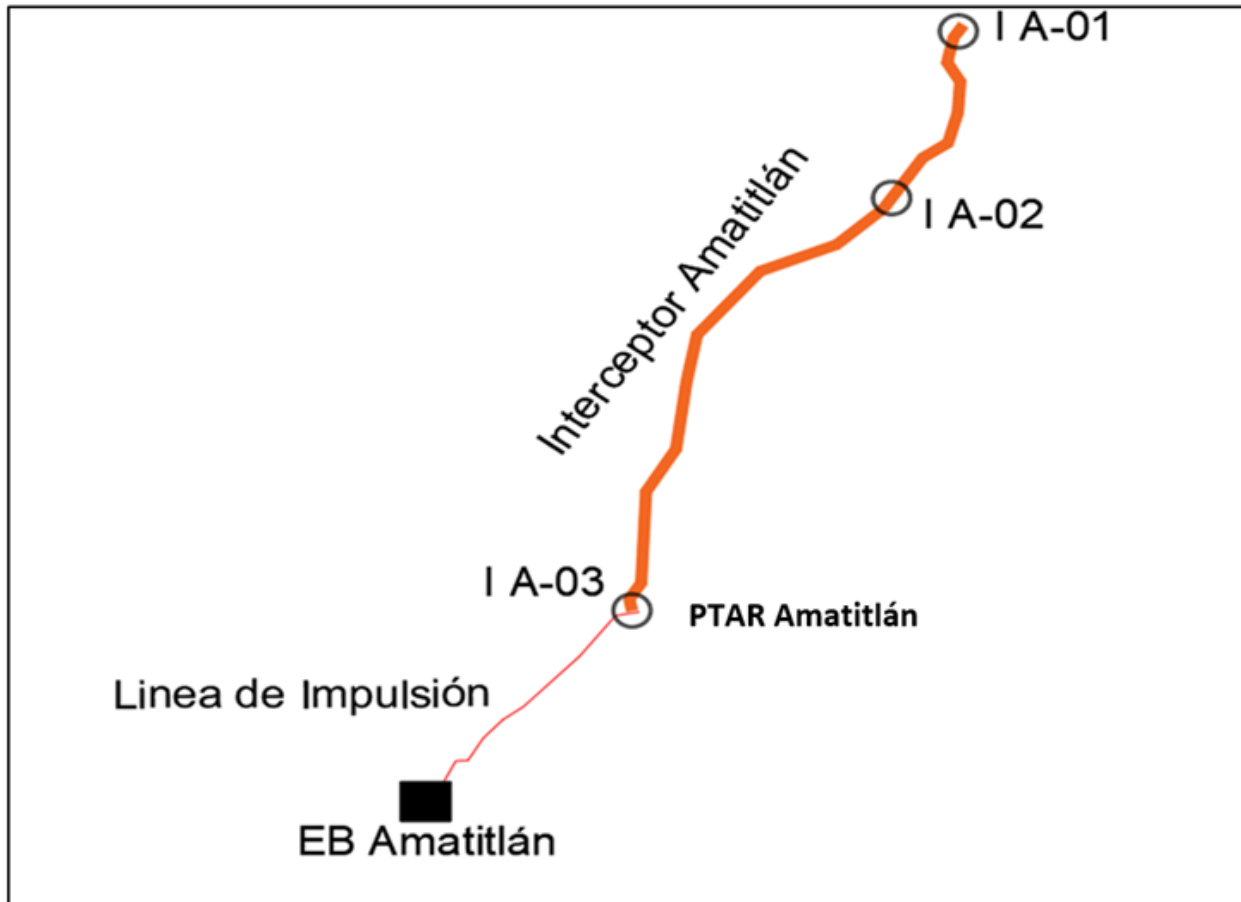
Estimación de Población de Tramos de Interceptores Cuenca Sur 2-2 Opción 2									
Nombre de Interceptor				Población contribuyente					
	De	A	Conjunción	Gutem.	Villanueva	San Miguel Petapa	Santa Catarina Pinula	Villa Canales	Total
Interceptor Pinula									
Sección 1	I P-1	I P-2		112,291			3,425		115,716
Sección 2	I P-2	I P-3	Zon central Guat	67,666			18,796	44,058	130,520
Sección 3	I P-3	I V-4	I Villalobos			39,757		9,387	49,144
Interceptor Platanitos									
Sección 1	I PL-1	I PL-2			213,737				213,737
Sección 2	I PL-2	I PL-3			396,941				396,941
Sección 3	I PL-3	I V-5	I Villalobos			105,261			105,261
Interceptor Villa lobos 1									
Sección 3	I V-3	I V-4	I Pinula		-	49,896			49,896
Sección 4	I V-4	I V-5	I Platanitos			30,074		16,376	46,450
Sección 5	I V-5	I V-6	PTAR Cuenca Sur					38,210	38,210
Total				179,957	610,678	224,989	22,221	108,030	1,145,875

Estimación de Caudales Cuenca Sur 2-2 Opción2							
Interceptor / Sección	De	A	Conjunción	Pob por seccion	Población acumulada	Q promedio seco con Infilt.	4 Q Prom Seco con Infilt.
				hab	hab	m ³ /d	m ³ /s
Interceptor Pinula							
Sección 1	I P-1	I P-2		115,715.88	115,715.88	22,938	1.06
Sección 2	I P-2	I P-3	Zon central Gua	130,520.44	246,236.32	48,810	2.26
Sección 3	I P-3	I V-4	I Villalobos	49,144.22	295,380.54	58,551	2.71
Interceptor Platanitos							
Sección 1	I PL-1	I PL-2		213,737	213,737	42,368	1.96
Sección 2	I PL-2	I PL-3		396,941	610,678	121,051	5.60
Sección 3	I PL-3	I V-5	I Villalobos	105,261	715,939	141,916	6.57
Interceptor Villa lobos 1							
Sección 3	I V-3	I V-4	I Pinula	49,896	49,896	9,891	0.46
Sección 4	I V-4	I V-5	I Platanitos	46,450	391,727	77,649	3.59
Sección 5	I V-5	I V-6	PTAR Cuenca Su	38,210	1,145,875	227,139	10.52

Dimensionamiento de Tuberías Cuenca Sur 2-2 Opción2									
Interceptor / Sección	De	A	L	n	D	d/D	V	S	Número de Froude F
			Km		m	m/m	m/s	m/100 m	
Interceptor Pinula									
Sección 1	I P-1	I P-2	0.89	0.013	1.00	0.600	2.16	0.43	0.95
Sección 2	I P-2	I P-3	3.39	0.013	1.40	0.600	2.34	0.33	0.80
Sección 3	I P-3	I V-4	3.05	0.013	1.40	0.800	2.05	0.22	0.36
Interceptor Platanitos									
Sección 1	I PL-1	I PL-2	1.82	0.013	1.40	0.600	2.03	0.25	0.60
Sección 2	I PL-2	I PL-3	4.78	0.013	1.60	0.800	3.25	0.47	0.80
Sección 3	I PL-3	I V-5	5.40	0.013	1.80	0.800	3.01	0.34	0.61
Interceptor Villa lobos 1									
Sección 3	I V-3	I V-4	2.56	0.013	0.80	0.600	1.45	0.27	0.54
Sección 4	I V-4	I V-5	3.53	0.013	1.40	0.800	2.72	0.39	0.64
Sección 5	I V-5	I V-6	4.60	0.013	2.00	0.800	3.90	0.50	0.92

8 Interceptores Cuenca Amatitlán

Diagrama Esquemático de Interceptores Sur Opción 1



Estimación Población por Tramo Cuenca Amatitlán

Nombre de Interceptor				Población contribuyente
Colector	De	A	Conjunción	Amatitlán
Interceptor Amatitlán				
Sección 1	I A-01	I A-02		81,237
Sección 2	I A-02	I A-03		81,237

Interceptor / Sección	De	A	Pob por seccion	Población acumulada	Q promedio seco con Infilt.	4 Q Prom Seco con Infilt.
			hab	hab	m ³ /d	m ³ /s

Estimación de Caudales CuencaAmatitlán

Interceptor Amatitlán						
Sección 1-1	I A-01-1	I A-01-2	40,618	40,618	4,026	0.19
Sección 1-2	I A-01-2	I A-02-1	40,618	81,237	8,051	0.37
Sección 2-1	I A-02-1	I A-02-2	40,618	121,855	24,154	1.12
Sección 2-2	I A-02-2	I A-03	40,618	162,473	32,206	1.49

Dimensionamiento tuberías Sistema Amatitlán

Interceptor / Sección	De	A	4 Q Prom Seco con Infilt.	L	n	D	d/D	V	S	Número de Froude F
			m ³ /s							
Sección 1-1	I A-01-1	I A-01-2	0.19	0.59	0.013	0.60	0.600	1.05	0.204127	0.37
Sección 1-2	I A-01-2	I A-02-1	0.37	0.59	0.013	0.80	0.600	1.18	0.176044	0.36
Sección 2-1	I A-02-1	I A-02-2	1.12	1.56	0.013	1.40	0.600	1.16	0.080105	0.19
Sección 2-2	I A-02-2	I A-03	1.49	1.56	0.013	1.40	0.600	1.55	0.142409	0.35

9 Estaciones de Bombeo Sistema de colección y Entrada PTARs

Estaciones de bombeo: propuestas en Sistema de Colección:

Sistema Norte

- Estación de Bombeo EBN-1
- Estación de Bombeo EBN 2

Sistema Este

- Estación de Bombeo EBN-1

Sistema Amatitlán

- Estación de Bombeo Amatitlán

Población contribuyente a estaciones de bombeo sistema de colección

Estación de Bombeo	Población contribuyente		
	Mixco	Guatemala	Total
EB E1		42,000	42,000
EB N1	30,572	-	30,572
EB N2	-	50,166	50,166

Estación de Bombeo	De	A	Caudal	No bombas	Caudal	Longitud	Profundidad		Dif elv
			m ³ /s	unid	m ³ /s		Nivel terreno inicial	Nivel terreno final	
Este	EB este	E 02	0.39	5	0.08	2.62	1378	1519	141
Norte 1	EB norte1	EB norte2	0.28	3	0.09	3.2	1484	1523	39
Norte 2	EB norte2	C MN-01-2	0.46	5	0.09	3	1523	1605	82
Amatitlán	EB	PTAR amati	0.14	3	0.05	1.52	1181	1184	3

Estación de Bombeo	D de tubería de impulsión	V impulsión	Material	C	hf de impulsión	hf de tubo de bomba	H pérdidas	CTD	Effic	Potencia / bomba	Potencia Total
	Impulsión	m/s			m/100m	m/100m	m	m		Kw	Kw
Este	0.8	0.77	GRP	110	0.09	0.13	2.4	143.85	0.75	145	725
Norte 1	0.6	0.99	GRP	110	0.20	0.19	6.5	46.84	0.75	57	172
Norte 2	0.6	1.63	GRP	110	0.51	0.19	15.3	100.35	0.75	121	604
Amatitlán	0.4	1.10	GRP	110	0.39	0.21	6.0	10.19	0.75	6	18

Estaciones de bombeo: propuestas en entrada a PTARs

Estaciones de Bombeo entrada a PTARs Opción 1										
Estación de Bombeo			Caudal	No bombas	Caudal/unidad	Nivel de entrada invert	Nivel terreno	Elev. Sobre terreno	Nivel de salida	Dif elv
			m ³ /s	unid	m ³ /s	m	m	m	m	m
Amatitlán	EB entrada PTAR		1.49	3	0.50	1182	1185	7	1192	10
PTAR SUR	EB entrada PTAR		12.60	10	1.26	1191	1196	7	1203	12

Nota: la Estación de bombeo de la PTAR Sur se diseña para caudal futuro del 20 años correspondiente al año 2047

Estaciones de Bombeo entrada a PTARs Opción 1									
Estación de Bombeo			D	hf	H perdidas	CTD	Effic	Potencia / bomba	Potencia Total
			m	m/100m	m	m		Kw	Kw
Amatitlán	EB entrada PTAR		0.6	0.59	0.06	10.07	0.75	65	196
PTAR SUR	EB entrada PTAR		1.6	0.03	0.00	12.00	0.75	198	1,978

Estaciones de Bombeo entrada a PTARs Opción 2										
Estación de Bombeo	De	A	Caudal	No bombas	Caudal	Nivel de entrada invert	Nivel terreno	Elev. Sobre terreno	Nivel de salida	Dif elv
			m ³ /s	unid	m ³ /s	m	m	m	m	m
PTAR SUR 2-1	EB entrada PTAR		8.00	8	1.00	1238	1255	7	1262	24
PTAR SUR 2-2	EB entrada PTAR		8.80	8	1.10	1191	1196	7	1203	12

Nota: las estaciones de bombeo de las PTARs se diseñaron para cuadal futuro del 20 años correspondiente al año 2047

Estaciones de Bombeo entrada a PTARs Opción 2											
Estación de Bombeo	D	V	Material	C	hf	Hperdidas	CTD	Effic	Potencia / bomba	Potencia Total	
	m	m/s			m/100m	m	m		Kw	Kw	
PTAR SUR 2-1	1.6	0.50	HD		110	0.02	0.00	24.01	0.75	314	2,511
PTAR SUR 2-2	1.2	0.97	HD		110	0.09	0.01	12.01	0.75	173	1,382

Nota: las estaciones de bombeo de las PTARs se diseñaron para cuadal futuro del 20 años correspondiente al año 2047