

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
CARRERA DE INGENIERIA EN GESTION AMBIENTAL LOCAL



TRABAJO DE GRADUACION

**ESTUDIO TECNICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN
EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE EL TUMBADOR, SAN MARCOS**

**Trabajo presentado a las autoridades del Centro Universitario de
Suroccidente -CUNSUROC- de la Universidad de San Carlos de
Guatemala -USAC-**

Por:

MIGUEL ANGEL ROSALES CÁCERES

CARNET: 200844714

Previo a conferirle el título que lo acredita como:

Ingeniero en Gestión Ambiental Local

En el grado académico de Licenciado

Mazatenango, noviembre de 2014.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

AUTORIDADES

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Rector

Dr. Carlos Enrique Camey Rodas

Secretario general

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CUNSUROC

Dra. Alba Ruth Maldonado de León

Presidenta

REPRESENTANTE DE DOCENTES

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril

Secretario

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Ángel Estuardo López Mejía

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

Br. Cristian Ernesto Castillo Sandoval

Vocal

PEM. Carlos Enrique Jalel de los Santos

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

Msc. Carlos Antonio Barrera Arenales

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Msc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador Área Social Humanista

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Lic. Edin Aníbal Ortiz Lara

Coordinador las Carreras de Pedagogía

Msc. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador Carrera de Ingeniería en Alimentos

Dr. Marco Antonio del Cid Flores

Coordinador Carrera en Ingeniería en Agronomía Tropical

Msc. Erick Alexander España Miranda

Encargada Carrera Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogado y
Notario

Licda. Tania María Cabrera Ovalle

Encargado Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Msc. Celso Gonzales Morales

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA DEL CUNSUROC

Encargado de las carreras de Pedagogía

Lic. Manuel Antonio Gamboa Gutiérrez

Encargada Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la
Comunicación

Msc. Paola Marisol Rabanales

DEDICATORIA

A DIOS

Por brindarme la oportunidad de finalizar una etapa más en mi vida educativa con la fortaleza para soportar los momentos difíciles. Para él toda la gloria y la honra.

A MI MADRE

Irma Elena Cáceres Reyes, por su amor y apoyo incondicional en cada momento de mi vida y por su afán en forjar buenos principios en mí y mis hermanas.

MI PADRE

Miguel Angel Rosales Reyes (+)

A MIS HERMANAS

Blanca Aida y María de los Ángeles, por su amor y apoyo en todo momento.

A MIS SOBRINAS

Sherlyn, Ashly, Melanie y Angie por su cariño y alegría.

A MIS ABUELOS

Herminio Cáceres y Blanca Aida Reyes (+), por amor y apoyo incondicional.

A MI TIA TELMA

Por la valiosa ayuda que me ha brindado en todo momento, especialmente por el aprecio hacia mi madre y hermanas.

AGRADECIMIENTOS

- A:** Dios, por ser el que me levanta, fortalece y guía mis pasos.
- A:** Universidad de San Carlos de Guatemala, especialmente a la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por formarme como un profesional orgulloso.
- A:** La Municipalidad de El Tumbador, San Marcos, institución que hizo factible mi ejercicio profesional supervisado.
- A:** Inga. Lucrecia Vela Armas, por su asesoría y orientación en el Ejercicio Profesional Supervisado.
- A:** Mis evaluadoras Inga. Lucrecia Vela, Inga. Sharon Quiñonez y Lcda. Karen Pérez, por guiar de una manera correcta la investigación realizada.
- A:** Personal docente de Ingeniería en Gestión Ambiental Local por contribuir a formarme profesionalmente.
- A:** Ing. José Luis García e Ing. Julio Ramírez, por su apoyo en la realización en esta investigación.

Índice general

Contenido	Pág.
ABSTRAC.....	1
I. RESUMEN.....	2
II. INTRODUCCION.....	4
III. OBJETIVOS.....	6
3.1 General.....	6
3.2 Específicos.....	6
IV. MARCO TEORICO.....	7
4.1. Información general del área de estudio.....	7
4.1.1 Población.....	7
4.1.2 Asistencia social.....	9
4.1.3 Educación.....	10
4.1.4 Topografía.....	10
4.1.5 Hidrología.....	12
4.1.6 Flora y fauna.....	13
4.1.7 Servicios Municipales.....	15
4.2 Recursos hídricos de Guatemala.....	15
4.3 Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	16
4.4 Tipos de aguas residuales.....	21
4.5 Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.....	25
4.6 Tipos de plantas de tratamientos de aguas residuales.....	32
V. MATERIALES Y METODOS.....	37
5.1 Recursos humanos.....	37
5.2 Recursos físicos.....	37
5.3 Equipo.....	37
5.4 Presupuesto del estudio técnico.....	38
5.5 Metodología de la investigación.....	39
VI. RESULTADOS Y DICUSION.....	43
6.1 Información general del estudio técnico.....	44
6.2 Plan de gestión de aguas residuales.....	58
6.3 Plan de tratamiento de aguas residuales.....	60
VII. CONCLUSIONES.....	74
VIII. RECOMENDACIONES.....	76
IX. BIBLIOGRAFIA.....	77
X. ANEXOS.....	79

Índice de cuadros

1.	Identificación de ríos que delimitan el municipio de El Tumbador.....	12
2.	Precipitación pluvial del Municipio de El Tumbador, San Marcos.....	13
3.	Composición del agua residual doméstica.....	21
4.	Presupuesto del estudio técnico.....	38
5.	Límites máximos y permisibles de descarga de aguas residuales en el artículo 20 del Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos.....	46
6.	Resultados del análisis de la materia orgánica del efluente.....	47
7.	Modelos de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno para descargas.....	48
8.	Resultados de los análisis realizados al afluente.....	53
9.	Parámetros de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales	65
10.	Presupuesto de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	68
11.	Descripción de operación en planta de tratamiento de aguas residuales.....	70
12.	Descripción de mantenimiento en planta de tratamiento de aguas residuales.....	71

Índice de figuras

1.	Mapa del municipio de El Tumbador, San Marcos.....	8
2.	Mapa de pendientes del Municipio de El Tumbador.....	11
3.	Mapa de curvas de nivel del Municipio de El Tumbador.....	14
4.	Tanque de sedimentación.....	33
5.	Esquema de tanque imhoff.....	34
6.	Esquema de laguna facultativa.....	35
7.	Flujograma de lodos activados.....	36
8.	Identificación de efluentes de agua residual en el casco urbano del Municipio El Tumbador.....	39
9.	Ubicación del punto principal de descarga de agua residual, Aforo de caudal.....	40
10	Procedimiento de cadena de custodia de muestras de agua residual.....	41
11.	Mapa de ubicación del cuerpo receptor.....	54
12.	Mapa de localización y ubicación del ente generador que descarga aguas residuales.....	56
13.	Mapa de localización y ubicación del afluente de abastecimiento y de efluente de aguas residuales.....	57
14.	Plano de propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales....	67
15.	Ubicación de planta de tratamiento de aguas residuales en el casco urbano del municipio de El Tumbador.....	69

ABSTRACT

This research was conducted in the urban municipality of El Tumbador, San Marcos department located in the south western region of Guatemala, in order to prepare a technical study of domestic wastewater generated in this area.

This technical investigation was prepared in coordination with the environmental and natural resources office of the municipality, during the months of July through September, where two surface points were evaluated: the power supply and main effluent of wastewater discharged to the receiving body (The Triangle river), performing physical, chemical and bacteriological analysis.

Identifying 17 points of sewage discharge, which was determined by the volumetric capacity, the primary effluent sample was performed. This represents 41% of the population at a rate of 650 cubic meters per day.

All the time of sampling, measurements in place, potential temperature and hydrogen were made. Following this we proceeded based on the sampling protocol, collecting water samples, which were taken to the laboratories of the National Institute of Municipal Development and Analytics Solutions for their analysis.

The results obtained were compared with the limits for the first stage of Article 20 of Regulation discharge and reuse of wastewater and sludge disposal, the Government Agreement 236-2006.

Determining that the parameter exceeds the maximum permissible limits is the fecal coliform worth 24×10^5 MPN/100 ml. On the contrary, the other remaining 19 parameters if they meet the maximum limits for discharging waste water into receiving bodies.

To reduce fecal coliform, the permissible limits, a treatment plant wastewater in biological type was designed, which requires an approximate area of 150 m² and an estimated investment quetzals of one million two hundred and seventy-six thousand two hundred seventy-one and fifty six cents (1, 276, 271.56).

I. RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el casco urbano del municipio de El Tumbador, del departamento de San Marcos en la región sur occidental de Guatemala, con el fin de elaborar un estudio técnico de las aguas residuales domésticas generadas en esta área.

Este estudio técnico fue elaborado en coordinación con la oficina municipal de medio ambiente y recursos naturales, en los meses de julio a septiembre, donde se evaluaron dos puntos superficiales: la fuente de abastecimiento y el principal efluente de aguas residuales que descarga al cuerpo receptor (río El Triangulo), llevando a cabo análisis físicos, químicos y bacteriológicos.

Se realizó la identificación de los 17 puntos de descarga de aguas residuales, donde se determinó por medio del aforo volumétrico, el efluente principal a muestrear. Este representa al 41% de los habitantes con un caudal de 650 metros cúbicos al día.

Al momento de realizar el muestreo, se hicieron las determinaciones *in situ* de, temperatura y potencial de hidrógeno. Posteriormente a ello se procedió con base al protocolo de muestreo, la recolección de muestras de agua, las cuales fueron trasladadas a los laboratorios del Instituto Nacional de Fomento Municipal y Soluciones Analíticas, para sus respectivos análisis.

Los resultados obtenidos, se compararon con los límites establecidos para la primera etapa del artículo 20 del Reglamento de descarga y reuso de aguas residuales y disposición de lodos, del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Determinando que el parámetro que excede los límites máximos permisibles es el coliformes fecales con un valor de 24×10^5 NMP/100ml. Por lo contrario, los otros, 19 parámetros restantes si cumplen con los límites máximos establecidos para descargar las aguas residuales hacia cuerpos receptores.

Para disminuir los coliformes fecales, a los límites permisibles, se diseñó una planta de tratamiento de agua residual de tipo biológico, la cual necesita una área aproximada de 150 m² y una inversión estimada en quetzales de un millón doscientos setenta y seis mil doscientos setenta y uno y cincuenta y seis centavos (1, 276, 271.56).

II. INTRODUCCIÓN

El municipio de El Tumbador, está situado en el departamento de San Marcos en el sur occidente de Guatemala, con una extensión territorial de ochenta y cuatro kilómetros cuadrados (84 km²) y población actual estimada de 42,941 habitantes. Actualmente dentro de la administración municipal, se cuenta con una oficina de Gestión Ambiental, encargada de promover actividades de conservación del medio ambiente.

Con base a la planificación de dicha oficina, se programó realizar un estudio técnico de aguas residuales domésticas generadas en el casco urbano del municipio, durante los meses de agosto a septiembre del año 2014. Esta investigación fue realizada siguiendo los lineamientos establecidos en el Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, según Acuerdo Gubernativo 236-2006 emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), como medida de control y monitoreo para la protección de los cuerpos receptores de los impactos antropogénicos.

Los objetivos de la investigación son, la identificación de las descargas de aguas residuales en el área del casco urbano, la caracterización de las aguas de la descarga principal y con base a lo anterior proponer un sistema de tratamiento para aguas residuales.

Para la ejecución de este estudio, se realizó un recorrido en campo que permitió la identificación de los puntos de descarga de aguas residuales y dentro de estos se aforo el efluente principal que vierte un caudal de 650 m³/día, hacia el cuerpo receptor (río El Triángulo). Posteriormente se recolectaron las muestras donde se midieron *in situ* temperatura y potencial de hidrógeno, siguiendo con el protocolo adecuado para su preservación, fueron trasladadas a los laboratorios para su respectivo análisis.

Los resultados de cada parámetro, fueron comparados con los límites establecidos en el artículo 20 del Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos. Reportando técnicamente las aguas residuales una demanda

bioquímica de oxígeno (DBO) de 318 miligramos por litro, con una carga contaminante de 206,7 kilogramo/día, el cual se encuentra por debajo de los límites establecidos. Además los valores de cada parámetro de metales, cumplen con los límites establecidos para descargar las aguas residuales a cuerpos receptores.

El parámetro que excede el límite máximo permisible, es el de coliformes fecales con un valor mayor a 24×10^5 número más probable en cien mililitros.

Por lo tanto, se propone un sistema de tratamiento de aguas residuales, que se componen de un derivador de masías, canal de rejillas, trampa de grasas, desarenador, un tanque Imhoff, filtro percolador, sedimentador y un digestor de lodos.

El objetivo del sistema será reducir los valores de cada parámetro en cumplimiento con los límites establecidos por el Reglamento de descarga y reuso de aguas residuales y disposición de lodos.

III. OBJETIVOS

3.1 General:

- a. Elaborar el Estudio Técnico de las aguas residuales domésticas generadas en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.

3.2 Especificos:

- a. Identificar las descargas principales de aguas residuales en el área del casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.
- b. Caracterizar la descarga principal de agua residual en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.
- c. Proponer el sistema de tratamiento adecuado para las aguas residuales domésticas, generadas en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.

IV. MARCO TEORICO

4.1 Información general del área de estudio.

Según el Plan de Desarrollo Municipal (PDM) 2011-2025, el municipio de El Tumbador fue creado en el año de 1878 por Acuerdo Gubernativo del entonces Presidente de la República Gral. Justo Rufino Barrios. Es uno de los 30 municipios del departamento de San Marcos, en la región VI o región sur-occidental a una distancia de 49 kilómetros de la cabecera departamental por la carretera asfaltada Ruta Nacional 13, limita al norte con los municipios de San Rafael Pie de la Cuesta y San José El Rodeo; al sur con el municipio de Pajapita sirviendo como limites los monjones de la hacienda la Entrada, Fincas Santa Anita y Aldeas El Amparo y la Democracia; al oriente con los municipios de San Pedro Sacatepéquez y Nuevo Progreso; al poniente con el municipio de Catarina. Se ubica a 225 Kilómetros de la ciudad capital, su ubicación geográfica esta en latitud 14°51'45" y longitud 91°56'06" y la extensión territorial es de 84 kilómetros cuadrados (Figura 1. El área indica azul la ubicación del municipio dentro del país).

4.1.1 Población.

Según el Instituto Nacional Estadística (INE), para el año 2002 la población de El Tumbador era de 35,507 habitantes; tomando como base la tasa de crecimiento poblacional del departamento de San Marcos (2.4%), se estima que actualmente el municipio tiene 42,941 habitantes. La distribución de la población es similar, siendo el 49.93% sexo masculino y el 50.73% sexo femenino (PDM 2011-2025).

Carlos (2014), estima que la población que representa el casco urbano es de 5,500 habitantes, distribuida en cuatro colonias: (San José, El Carmen, San Antonio, Flor del Café) y tres barrios (San Francisco, Los Tres Reyes y Concepción).

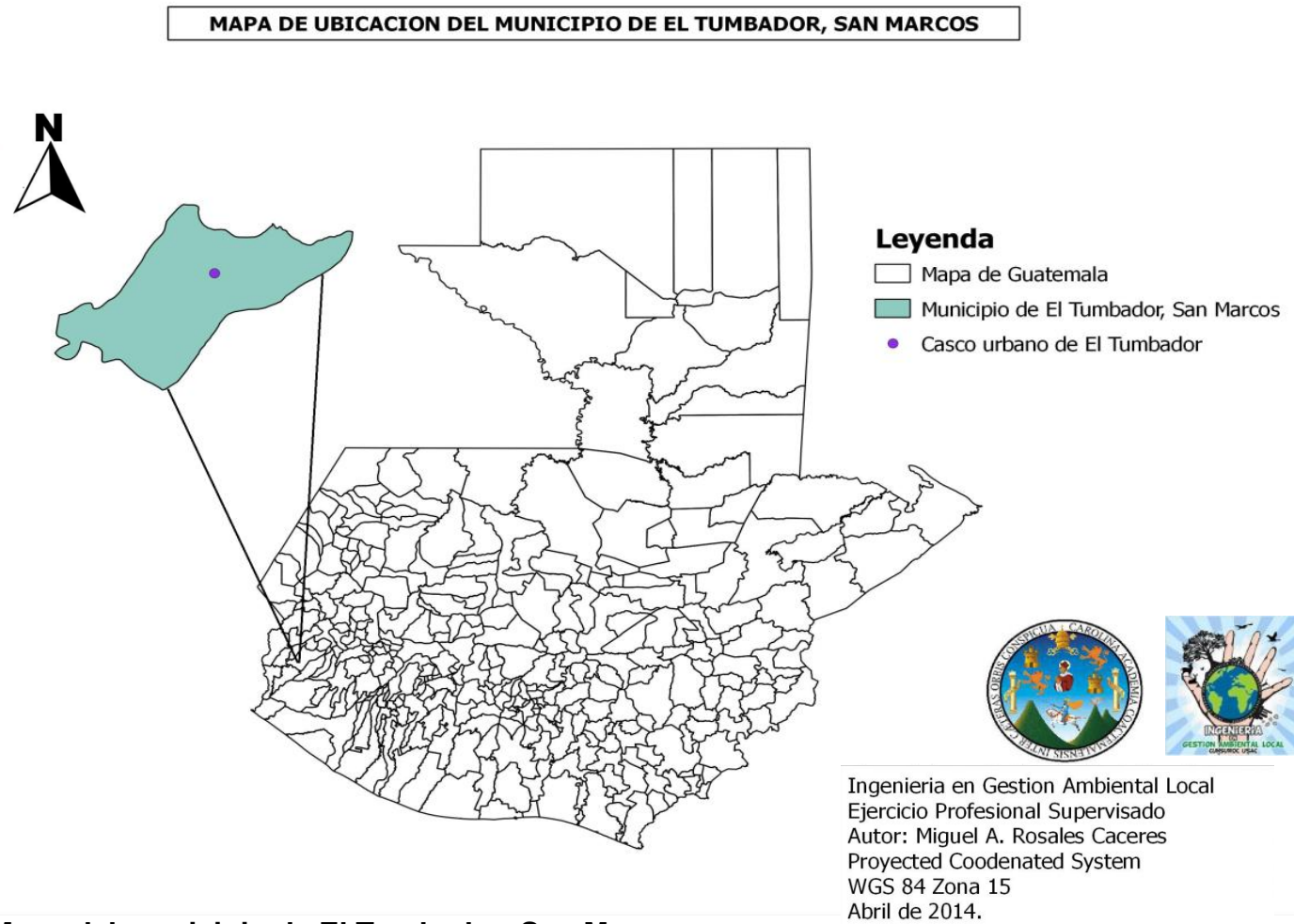


Figura 1. Mapa del municipio de El Tumbador, San Marcos.

Fuente: El autor, abril de 2014.

La población del municipio está compuesta mayormente por la población joven que representa 58.08% (joven de 0 a 19 años); 17.81% la joven adulta de 20 a 29 años; 21.95% la adulta de 30 a 59 años; y por último con un 4.72% el adulto mayor de 60 años en adelante. Como aspecto relevante el PDM menciona que la esperanza de vida después de los 60 años es mínima (PDM, 2011-2025).

En el municipio la población se ha concentrado un 82.05% en el área rural, delimitando como áreas urbanas a la cabecera municipal, aldea El Amparo y aldea San Jerónimo. Con un Índice de Desarrollo Humano de 0.546% lo cual refleja precarias condiciones de vivienda, salud, servicio de agua, saneamiento y asistencia escolar. El índice de marginación de 0.17 catalogado como alto en el departamento, por la falta de servicios de saneamiento, acceso a la información, el bajo nivel de educación y el factor económico (PDM, 2011-2025).

4.1.2 Asistencia social

Dentro del municipio la asistencia en el área de salud, es proporcionada en su mayoría por organizaciones internacionales como Visión Mundial, Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos de América (USAID), que prestan servicio de bienestar, como capacitaciones a comadronas y técnicos del centro de salud, teniendo cobertura en la mayor parte de comunidades (PDM, 2011-2025).

Las causas de morbilidad en el municipio son: parásitos intestinales, diarreas, vómitos, gripe, fiebres, enfermedades de la piel, dolores de muela y oídos, neumonías, desnutrición y otras (PDM, 2011-2025).

Las principales causas de fallecimientos en edades infantiles, se dan por diarrea, neumonía, fiebre alta, muerte neonatal y desnutrición. La atención prestada se distribuye en casos de emergencia, partos, accidentes menores y baños medicinales. La cobertura del área de salud, en la parte con vinculación directa al ministerio, se centra en la cabecera municipal y las poblaciones que se encuentran en la región, motivos por el cual es más difícil para los habitantes de las otras comunidades recibir atención. Las principales causas de mortalidad en el

municipio son: neumonía, paro cardíaco, tumor y cirrosis del hígado, tumor maligno e infecciones intestinales bacterianas (PDM, 2011-2025).

4.1.3 Educación

La mayoría de las comunidades se cuenta con escuela primaria, sin embargo, algunas presentan daños en su estructura. Esto se debe a que la inversión por parte del ministerio a este sector, ha sido solo para funcionamiento. Actualmente se han identificado como fortaleza la inversión por Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) y la actual administración municipal en construcción de establecimientos educativos, para proveer de servicios a los habitantes de cada comunidad (PDM, 2011-2025).

4.1.4 Topografía

Las características topográficas del municipio, son plano, semiplano y quebrado, el casco urbano se estableció sobre un terreno elevado y en el cual se aprecian paisajes de cobertura forestal; palo blanco (*Rosedendrom donell smitthii*), cedro (*Cedrela odorata*), ganadera y cultivos extensivos café (*Coffea arabica*), maíz (*Zea mays*), macadamia (*macadamia sp*) y hule en tipos de clones como Rin 16. (PDM, 2011-2025).

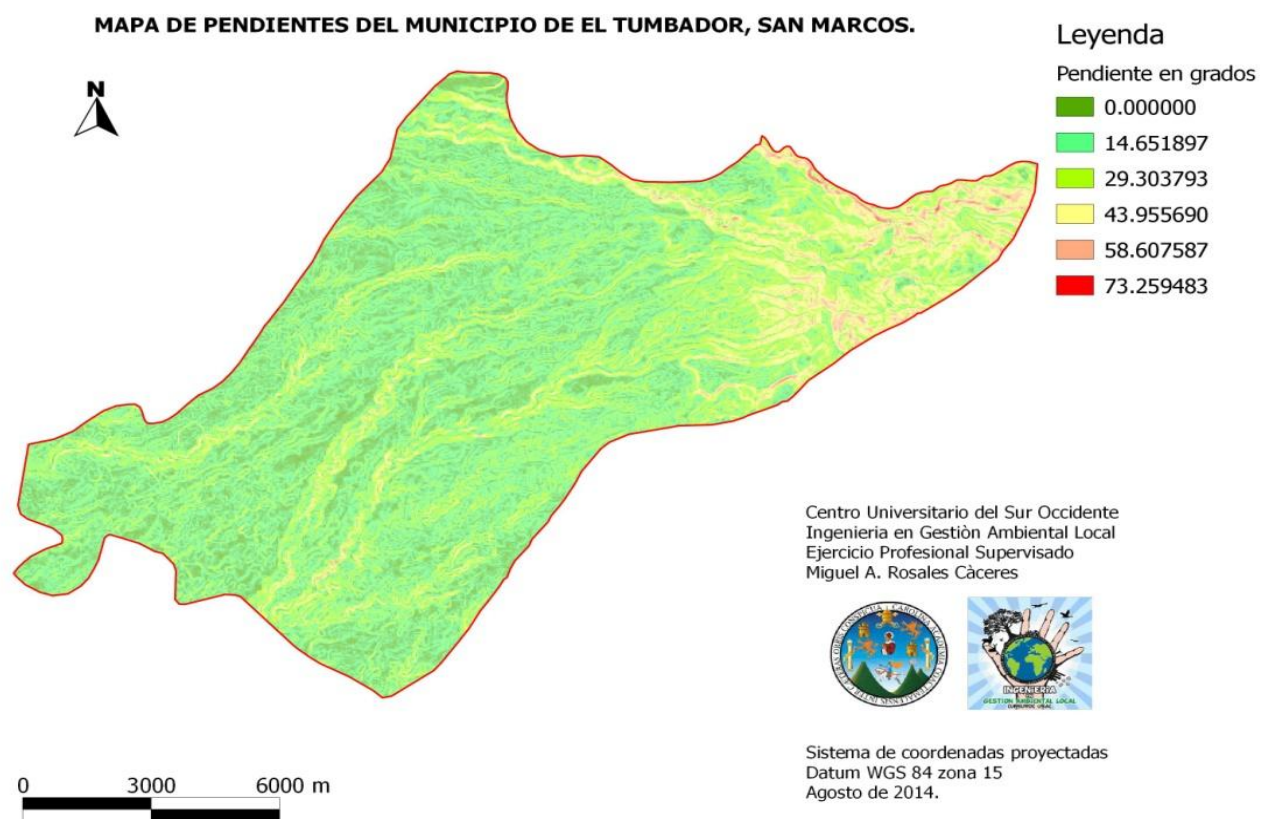


Figura 2. Mapa de pendientes del Municipio de El Tumbador San Marcos.

Fuente: El autor, agosto de 2014.

En la figura dos (2), se presenta la información de pendientes en el municipio, donde se tiene un porcentaje bajo de pendientes en la parte baja, indicando terrenos planos y semiplanos. La pendiente media y alta con porcentajes altos, determinando terrenos quebrados, que contribuyen al crecimiento de vegetación, escorrentía, erosión, deslizamientos en las áreas.

4.1.5 Hidrología

En este municipio se cuenta con 16 ríos, que pertenecen a dos cuencas (El Suchiate y el Naranjo) siendo estos los que se detallan en el cuadro siguiente:

Cuadro 1. Identificación de ríos que delimitan el municipio de El Tumbador.

Municipio	Subcuenca
El Tumbador, San Marcos	San Carlos, Pataxte, Mopá, Ixlamá, Xulá, Pajapa, Meléndrez, Naranjo, Trinidad, Amargura, Camarón, Nahuatan, Limón el Triangulo, San Juan Olimpo, Mopá y Xulá.

Fuente: PDM 2011-2025.

Cada subcuenca identificada limita el área municipal con municipios de San Rafael pie de la cuesta y San José El Rodeo.

El casco urbano, está delimitado por dos micro cuencas, siendo estos; El Triangulo y Luarca, las dos fuentes de abastecimiento de agua del municipio. (Rosales, 2014)

Según, PDM 2011-2025, determinó que en el año 2011, se ha registrado una precipitación pluvial 4396 mm, hacia las microcuencas que abastecen a las comunidades del municipio.

Cuadro 2. Precipitación pluvial del municipio de El Tumbador, San Marcos.

Precipitación pluvial	Milímetros mm
Precipitación promedio	1109.67
Precipitación máxima	4600
Precipitación	3243.9

Fuente: PDM, 2011-2025.

4.1.6 Flora y fauna

Según el PDM (2011-2025), la cobertura forestal es debido al establecimiento de cultivo de café bajo sombra en varias fincas, que ocupa actualmente 13,710.13 Has, bosque latifoliado en 2,578.50 Has, bosque conífero con 46.56 Has, y bosque mixto con 8.19 Has, esto permite la permanencia de la biodiversidad del territorio ya que se observan las especies de palo blanco (*Rosedendrom donell smitthii*), conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), ceiba (*Ceiba petandra*), cedro (*Cedrela odorata*), entre otros que son formadores de microclimas en las distintas áreas del municipio.

En la figura tres (3), se presenta el relieve del municipio, en el se puede observar que va desde topografías planas de 300 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), hasta sectores montañosos de 2820 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) (Rosales, 2014).

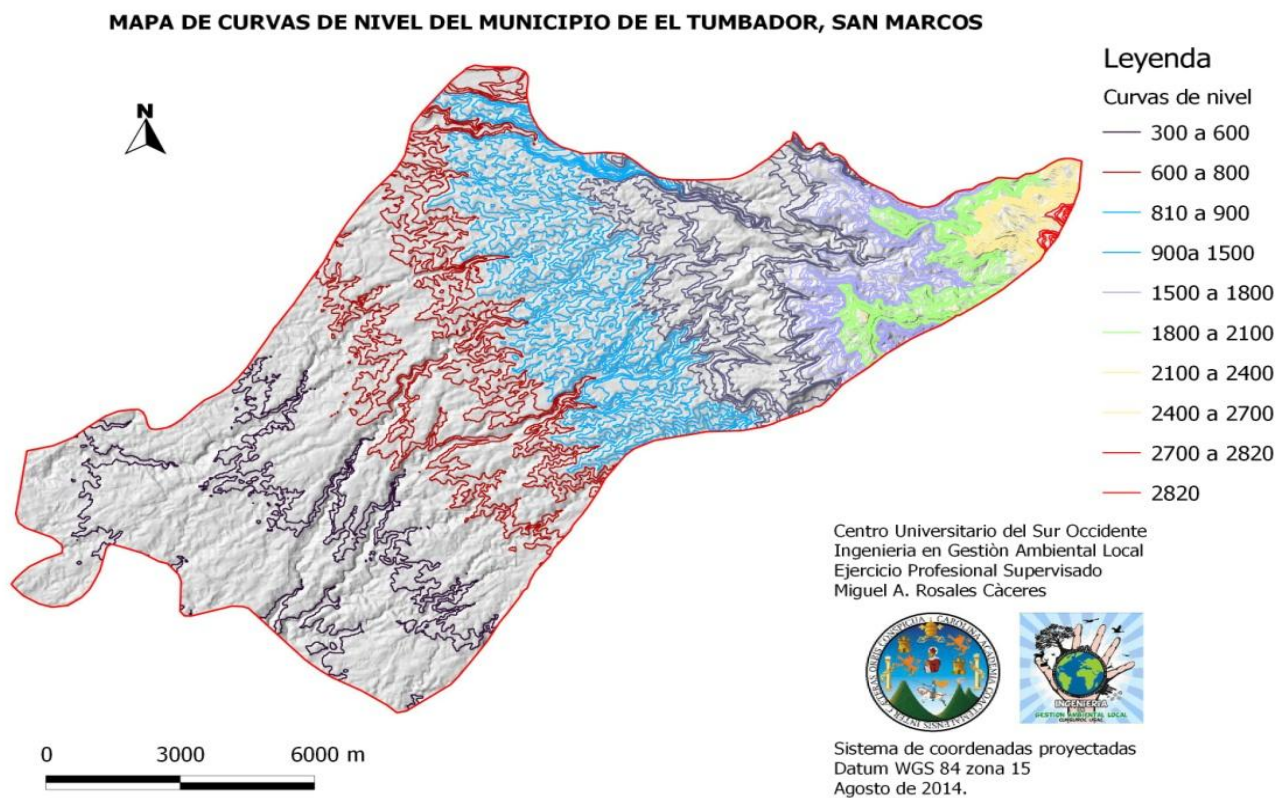


Figura 3. Mapa de curvas de nivel del municipio de El Tumbador, San Marcos.

Fuente: E l autor, agosto de 2014.

4.1.7 Servicios municipales

Según Carlos (2014), el servicio de agua potable: es administrado por la municipalidad, por medio de mantenimiento de tuberías, drenajes y cobro de arbitrios a los usuarios del casco urbano y comunidades.

En cuanto a servicios de recolección de desechos sólidos se realiza durante el día, en horarios de 6:00 am a 4:00 pm; recorriendo las principales avenidas en el casco urbano, por el personal de mantenimiento de la municipalidad (Carlos, 2014).

4.1.7.1 Sistema de aguas residuales

El municipio de El Tumbador, San Marcos, presenta un sistema de recolección de aguas de tipo unitario, donde se mezclan las aguas pluviales y domésticas en una misma red, para ser descargadas por un total de diecisiete (17) puntos de descarga hacia los cuerpos receptores que delimitan al área urbana, el cual genera contaminantes físicos, químicos y bacteriológicos por falta de un sistema de tratamiento (Rosales, 2014).

4.2 Recursos hídricos de Guatemala

El problema de contaminación se considera muy grave en Guatemala, aunque en general existe más información cualitativa que cuantitativa al respecto. No hay una toma de muestras sistemática que abarque puntos de control en todo el país; existe información con cierta sistematización en cuencas determinadas como de los lagos de Amatitlán y Atitlán (López, 2010).

Las municipalidades están conscientes que la contaminación del agua es un problema serio, sin embargo por la falta de recursos se estima que únicamente el 6% da algún tipo de tratamiento a sus aguas negras. Las ordenanzas municipales son insuficientes para controlar las descargas domésticas o industriales a los cuerpos de agua (García, 2006).

Guatemala es un país favorecido con gran cantidad de agua; en promedio se estima que tenemos una disponibilidad de agua de 25,116 litros por habitante, casi 10 veces más que el mínimo de 2,740 litros que a nivel mundial, que se considera como el umbral donde hay riesgo de falta de agua. De hecho, muchas veces tenemos exceso que causa problemas de inundación y deslaves. Hay dos razones principales que están relacionadas con el mal manejo de este recurso; en primer lugar tenemos que el agua en nuestro país no se distribuye uniformemente en todas las regiones ni a lo largo del año, como lo es en la región de occidente se presenta con mayor intensidad de lluvia, provocando deslizamientos en el área. Caso contrario en región oriental muestra deficiencias de precipitación, que agudiza por tener una estación seca larga; durante seis meses. La segunda razón, es por la contaminación en la mayoría de fuentes superficiales de agua del territorio nacional, por la falta de tratamiento a estas aguas (López, 2010).

4.3 Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Para ejercer el control, monitoreo y aprovechamiento de las aguas, la Constitución de la Republica de Guatemala, por medio de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, emitió lo siguiente: **“Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”**, con el objetivo de establecer los criterios que deben cumplir para la descarga y reuso de aguas residuales, los cuales deben aplicarse a entes generadores de aguas residuales, las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, las personas que produzcan aguas residuales para reuso, las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales y personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos (PDM, 2011-2025).

Este Reglamento indica los artículos que son aplicables para la descarga de aguas residuales a las municipalidades, siendo estos descritos a continuación:

Artículo 5. ESTUDIO TÉCNICO. 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 reuso y lodos.

Artículo 6. CONTENIDO DEL ESTUDIO TÉCNICO. Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas, indicadas en el artículo 5 del presente Reglamento, para documentar el estudio técnico deberán tomar en cuenta los siguientes requisitos:

I. Información general:

- a) Nombre, razón o denominación social.
- b) Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- c) Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta al presente Reglamento.
- d) Horarios de descarga de aguas residuales.
- e) Descripción del tratamiento de aguas residuales.
- f) Caracterización del efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.
- g) Caracterización de las aguas para reuso.
- h) Caracterización de lodos a disponer.
- i) Caracterización del afluente. Aplica en el caso de la deducción especial de parámetros del artículo 23 del presente Reglamento.
- j) Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas Residuales, si aplica.
- k) Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
- l) Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva.

II. Documentos

- a) Plano de localización y ubicación, con coordenadas geográficas, del ente generador o de la persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público.
- b) Plano de ubicación y localización, con coordenadas geográficas, del o los dispositivos de descarga, para la toma de muestras, tanto del afluente como del efluente. En el caso del afluente cuando aplique.
- c) Plan de gestión de aguas residuales, aguas para reuso y lodos. Las municipalidades o empresas encargadas de prestar el servicio de tratamiento de aguas residuales, a personas que descargan sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, incluirán la siguiente información: el catastro de dichos usuarios y el monitoreo de sus descargas.
- d) Plan de tratamiento de aguas residuales, si se descargan a un cuerpo receptor o alcantarillado.
- e) Informes de resultados de las caracterizaciones realizadas.

Artículo 7. RESGUARDO DEL ESTUDIO TÉCNICO. La persona individual o jurídica conservará el Estudio Técnico, manteniéndolo a disposición de las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando se lo requieran por razones de seguimiento y evaluación.

Artículo 10. VIGENCIA DEL ESTUDIO TÉCNICO. 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.

Artículo 13. CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE Y DEL EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES. 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 en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico.

Artículo 16. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES. Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- a) Temperatura,
- b) Potencial de hidrógeno,
- c) Grasas y aceites,
- d) Materia flotante,
- e) Sólidos suspendidos totales,
- f) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- g) Demanda química de oxígeno,
- h) Nitrógeno total,
- i) Fósforo total,
- j) Arsénico,
- k) Cadmio,
- l) Cianuro total,
- m) Cobre,
- n) Cromo hexavalente,
- o) Mercurio,
- p) Níquel,
- q) Plomo,
- r) Zinc,
- s) Color y
- t) Coliformes fecales.

Artículo 50. MEDICIÓN DE CAUDAL. En la toma de cada muestra simple se hará una medición de caudal, para poder relacionarla con la concentración y así determinar la carga.

Artículo 51. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales vigilará que se cumplan con todos los requisitos y procedimientos, establecidos en el presente Reglamento para los entes

generadores y para las personas que descargan aguas residuales al alcantarillado público.

Artículo 54. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MUESTREO. Para los efectos de lo Previsto en el presente Reglamento, los laboratorios estatales, universitarios, privados legalmente constituidos, o los laboratorios establecidos por los entes generadores, emplearán los métodos de análisis y muestreo establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas; o en su defecto por entidades como:

- a) Asociación Americana de Salud Pública, Asociación Americana de Obras de Agua y Federación de Ambientes Acuáticos en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales;
- b) Organizaciones técnicas reconocidas en el ámbito nacional e internacional, y
- c) Especificaciones del fabricante de los equipos que se utilicen.

Los informes de los resultados de los análisis de laboratorio, deberán ser firmados por profesional colegiado activo especializado en la materia.

4.4 Tipos de aguas residuales

4.4.1 Aguas residuales domésticas

Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera. (García, 2006).

De acuerdo con Metcalf y Eddy (1995), las aguas residuales se determinan por su composición física, química, biológica, existiendo, tales como la muestra a continuación:

Cuadro 3. Composición del agua residual domestica.

Contaminante	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Alta
Sólidos totales	mg/l	350	720	1200
Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/l	110	220	400
Demanda químico de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno total	mg/l	20	40	85
Fosforo total	mg/l	4	8	15
Coliformes totales	NMP/100	106-107	107-108	107-109

Fuente: Metcalf y Eddy. (1995).

4.4.2 Aguas residuales industriales

Son aquellas aguas residuales que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de las descargas no sólo de una industria, sino también dentro de un mismo tipo de industria. Las industrias no emiten descargas de forma continua, si no únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso (García, 2006).

4.4.3 Muestreo de aguas residuales

Según Ramírez (2014), para obtener muestras representativas de aguas residuales y aguas para reuso debe efectuar el muestreo de acuerdo a las siguientes instrucciones:

- Los parámetros a determinar en el lugar (*in situ*) son: temperatura, potencial de hidrógeno y materia flotante. Estos parámetros deben ser determinados inmediatamente después de la captación de la muestra.
- El potencial de hidrógeno y temperatura se efectuará utilizando equipo debidamente calibrado. Los resultados obtenidos deberán agregarse a los informes finales.
- Para la toma de muestras de grasas y aceites deberá utilizarse envases de vidrio a fin de evitar las adherencias a las paredes internas del recipiente.
- En el caso de coliformes fecales se deberán tomar muestras simples en recipientes estériles, debido a que estos organismos son altamente susceptibles a cambios físicos o químicos. Es indispensable el uso de guantes para evitar el contacto directo con las aguas residuales.
- Para el análisis microbiológico los recipientes han de tener una capacidad mínima de 250 ml. Para los análisis físico-químicos se necesitan muestras de 2 Litros, aunque para determinadas pruebas pueden requerirse volúmenes mayores.
- Lavar el recipiente dos o tres veces con el agua que se va a recoger, previo a agregar algún conservante o estabilizador.
- En el centro del flujo del caudal, donde la velocidad es mayor y la posibilidad de asentamiento de sólidos es menor, cuando aplique.
- Donde exista la menor turbulencia del caudal.
- En curvas o en pendientes mayores al 5% de la superficie.
- No captar muestras con presencia de espuma.
- Evitar muestrear la superficie o raspar el fondo de la corriente.
- Unificar caudales para asegurar la uniformidad del efluente.
- Conservar a 04° grados centígrados en un recipiente cerrado.
- Se etiquetaran para su perfecta identificación y se llevará un registro. En la ficha o etiqueta deberán consignarse los datos del solicitante del análisis, los datos del agua (origen, punto, fecha y hora del muestreo, temperatura y cualquier otro dato que sea requerido).

4.4.4 Medición de caudales en aguas residuales

Según García (2006), la medición de caudales en el efluente de aguas residuales o de aguas para reuso debe cumplir con lo siguiente: realizar la medición en forma continua en un día normal de actividad del ente generador o de la persona que descarga al alcantarillado público.

Consiste en la medición directa del caudal empleando un recipiente de volumen conocido, cuyo tiempo de llenado se mide o controla. El caudal, se obtiene mediante la siguiente relación:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q: Caudal (L/s).

V: Volumen del recipiente (L).

T: tiempo de llenado (s).

4.4.5 Carga de materia orgánica.

La estimación de carga se obtiene al relacionar el caudal del efluente de aguas residuales con el valor de concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) determinado en laboratorio. Técnicamente, la carga se define como el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente. Representa la masa de materia (demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno) y del volumen del agua que será vertida, a través de las aguas residuales, por un ente generador o persona que descarga al alcantarillado público (López, 2010).

Según Ramírez (2014), la importancia de la determinación radica en lo siguiente:

- a) Proporciona una medida ponderada del impacto que tendrán las aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor en particular y que representa el peso de las dos variables relacionadas (materia y agua).

- b) Es un criterio fundamental para racionalizar el uso del agua, porque es útil para controlar esta variable que tiene incidencia en la determinación de la carga. Independientemente de la calidad del agua, al aumentar el caudal aumenta la carga.
- c) Es un criterio fundamental para mejorar la calidad del efluente, debido a que es necesario para controlar la concentración de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno en las aguas residuales.
- d) Permite establecer la necesidad de mantener o reducir los valores de las variables (caudal y concentración), ya que al incrementar uno o los dos valores, aumenta la carga. Al disminuir dichos valores, a partir de los valores iniciales, se reduce la carga; si consecuentemente con ello, se reduce la cantidad de aguas residuales, se mejora la eficiencia en el uso del agua.
- e) Es un elemento indispensable en el diseño de algunos sistemas de tratamiento.

Ecuación de carga:

Con base en la definición de carga, la fórmula aplicar se presenta a continuación:

Carga = Caudal ($\text{m}^3/\text{día}$) x Concentración (mg/L).

4.4.6 Caracterización de una muestra de aguas residuales.

Es la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, para reuso o lodos. (Acuerdo Gubernativo 236-2006).

Según Ramírez (2014), la importancia radica en conocer el grado de contaminación, en que se encuentra un cuerpo receptor, por medio de análisis de laboratorio.

4.4.7 Valor inicial de descarga (VIC)

Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales en su Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales, el Valor Inicial de Carga (VIC) que se obtiene al introducir las variables o insumos básicos, debe utilizarse para correr el modelo en todas las etapas de cumplimiento. Servirá de base para que los entes generadores o personas que descargan al alcantarillado público, identifiquen la carga con la que iniciarán el proceso de reducción progresiva. Los entes generadores o personas que descargan al alcantarillado público, deberán consignar en el Estudio Técnico (según el artículo 17), el VIC, el cual no debe ser mayor de 250000 kilogramos por día de conformidad con lo estipulado en el modelo de reducción progresiva de cargas.

4.5 Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales

4.5.1 Características físicas

La característica física más importante es el contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y dilución. (Cubillos, 2000).

4.5.1.1 Temperatura

Varía de un lugar a otro y durante el día y épocas del año, estos cambios de temperatura aceleran la descomposición de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación y disminuyen la solubilidad del oxígeno y otros gases. La densidad, viscosidad y tensión superficial disminuyen al aumentar la temperatura, o al contrario cuando esta disminuye, estos cambios modifican la velocidad de sedimentación de partículas en suspensión y la transferencia de oxígeno en procesos biológicos de tratamiento (Cubillos, 2000).

4.5.1.2 Color y turbiedad

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, materia coloidal y sustancias en solución. Las fuentes incluyen la infiltración y aportes de

conexiones en sistemas de recolección, descargas industriales y descomposición de compuestos orgánicos. Todo esto dependiendo de la época de año y las características sociales de la población. En forma cualitativa, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual; el color café claro, es característico de aguas que llevan aproximadamente seis (6) horas después de la descarga, el color gris indica que tienen un grado bajo de descomposición y el color gris oscuro o negro, que han sido alteradas por una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias (Cubillos, 2000).

4.5.1.3 Sólidos totales

Los sólidos de las aguas residuales pueden clasificarse en dos grupos generales: según su composición o su condición física. Sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos o disueltos. En general, son de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desechos animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden incluirse compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno; algunos pueden estar combinados con nitrógeno, azufre y fósforo (Gonzales, 2003).

Los grupos principales son: proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, junto con sus productos de descomposición. Están sujetos a degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos; además, son combustible, es decir, pueden ser quemados.

- a. Sólidos suspendidos: son los que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua. Son los sólidos que pueden separarse de las aguas residuales por medios físicos o mecánicos, como la sedimentación y la filtración, incluye las partículas flotantes mayores (Gonzales, 2003).

- b. Sólidos sedimentables: son la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que sedimente en un periodo determinado que, generalmente, es una hora. Debe entenderse que son los sólidos que sedimentan en una hora en un cono Imhoff. Generalmente, los resultados se expresan en mililitros de sólidos por litro de agua residual (Terry, Gutiérrez & Balanza, 2010).

4.5.1.4 Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo (Diccionario abierto, 2014).

Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética (García, 2006).

- a. Aceites animales, entre los que se encuentran los provenientes de peces como sardinas y salmones, del hígado del tiburón y del bacalao, o de mamíferos marinos como el delfín o la ballena; de las patas de vacunos, equinos y ovinos se extraen también aceites usados como lubricantes e impermeabilizantes (García, 2006).
- b. Aceites vegetales, el grupo más numeroso; por sus usos pueden ser clasificados en alimenticios, como los de girasol, algodón, maní, soja, oliva, uva, maíz y no alimenticios (Terry, Gutiérrez & Balanza, 2010).

4.5.2 Características químicas.

A diferencia de las aguas naturales, las aguas residuales han recibido sales inorgánicas y materia orgánica de la preparación de alimentos y metabolismo humano principalmente y toda clase de materiales que se descartan por los desagües, además es necesario incluir los detergentes y desinfectantes. (Gonzales, 2003).

4.5.2.1 Potencial de hidrogeno (pH).

El pH mide la concentración de iones hidrógeno en el agua. Un valor alto indica una baja concentración de iones hidronio, y por tanto una alcalinización del medio y un valor pequeño indica una acidificación, lo ideal es entre 6,0 y 9,0. El impacto ambiental más importante del pH tiene relación con los efectos sinérgicos. La sinergia es la combinación de dos o más sustancias que produce efectos superiores a la suma de dichas sustancias. Este proceso es importante en las aguas de la superficie. La escorrentía de áreas agrícolas, domésticas e industriales puede contener hierro, aluminio, amoníaco, mercurio y otros elementos. El pH del agua determinará los efectos tóxicos de estas sustancias, en caso de que los tengan. (García, 2006).

4.5.2.2 Nitrógeno

El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato, son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Este es proveniente de: aguas de lluvia, tras un periodo de sequía, en zonas industriales, aguas residuales industriales (fábricas de gas y hielo), aguas residuales agrícolas (excrementos de animales, basuras, fertilizantes), descomposición de productos nitrogenados orgánicos en el suelo y putrefacción de plantas. El nitrógeno total es la suma del nitrógeno presente en los compuestos orgánicos aminados y en el amoníaco, determinándose el nitrógeno orgánico por diferencia entre el nitrógeno total y amoniacal (García, 2006).

4.5.2.3 Fósforo

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Este proviene de los desechos humanos y de los detergentes en un 85% y el otro 15% proviene de la agricultura, siendo su influencia relativamente pequeña, debido a que, al contrario de los nitratos, el fósforo se absorbe y se almacena bien en el suelo (García, 2006).

4.5.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación biológica de la materia orgánica carbonacea en los desechos, a 20 °C durante un periodo de tiempo específico (García, 2006).

Se expresa la cantidad de oxígeno gaseoso (O_2), necesaria para biodegradar la materia orgánica. Este parámetro ha sido objeto de continuas discusiones, sin embargo, mejorando y precisando las condiciones de pH, temperatura y salinidad, constituye un método válido para el estudio de los fenómenos naturales de degradación de materiales orgánicos. (Acuerdo Gubernativo 236-2006).

4.5.2.5 Demanda química de oxígeno

Ramírez 2014, menciona que la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

4.5.2.6 Arsénico

Es un subproducto de la fundición del cobre y el plomo, así como de la extracción de vetas de oro, plata y cobalto. Si bien es un contaminante que se transporta por aire, puede contaminar los cuerpos de agua. Así mismo un componente de algunos insecticidas y fungicidas agrícolas. (García, 2006)

4.5.2.7 Cadmio

Es un metal tóxico que se libera como contaminante desde las industrias como la galvanoplastia y los fabricantes de baterías. Se encuentra en las descargas de efluentes de dichas industrias y se deposita con facilidad en los lodos del fondo de los cuerpos receptores (Sáenz, 2002).

4.5.2.8 Cobre

El cobre es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente en rocas, el suelo, el agua y el aire. El cobre es un elemento esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida. Por lo tanto, las

plantas y los animales deben absorber cobre de los alimentos o bebidas que ingieren, o del aire que respiran (Sáenz, 2002).

Es liberado por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura, y por la liberación de aguas residuales a ríos y lagos. El cobre también es liberado desde fuentes naturales como por ejemplo volcanes, vegetación en descomposición y provocando incendios forestales en el área de presencia.

El cobre liberado al ambiente generalmente se adhiere a partículas de materia orgánica, arcilla, tierra o arena en la superficie del terreno. El cobre no se degrada en el medio ambiente. Los compuestos de cobre pueden degradarse y liberar cobre al aire, el agua o los alimentos (Montoya, 2007).

4.5.2.9 Cromo

El cromo es un elemento químico, esencial para organismos que pueden interferir en el metabolismo. Las actividades que incrementan las concentraciones son el acero, las industrias textiles y de pintura, a través de la combustión del carbón (Montoya, 2007).

4.5.2.10 Mercurio

El mercurio es un elemento que puede ser encontrado de forma natural, en metal y como sales de mercurio o mercurio orgánico. Algunas actividades humanas liberan mercurio directamente al suelo y agua, tales como: la aplicación de fertilizante y los vertidos de aguas residuales industriales (Montoya, 2007).

4.5.2.11 Níquel

El níquel es un elemento abundante, constituye el 0.008% de la corteza terrestre y el 0.01% de rocas ígneas. Este es liberado por medio de la incineración de desechos sólidos (Montoya, 2007).

4.5.2.12 Plomo

Puede estar presente en los alimentos y el agua que consumimos. Los suministros de agua sin tratamiento se pueden contaminar a causa de las descargas de las plantas de tratamiento de líquidos cloacales y las descargas de la actividad

agrícola. Otro ingreso de plomo se debe a las instalaciones de agua que anteriormente se realizaban con cañerías de plomo (Terry, Gutiérrez & Balanza, 2010).

4.5.2.13 Zinc

Es un elemento poco común, pero es esencial para el desarrollo de clases de organismos vegetales y animales. Este es liberado por actividades industriales, como la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado de acero (Terry, Gutiérrez & Balanza, 2010).

4.5.2.14 Coliformes fecales

Los análisis bacteriológicos ponen de manifiesto la presencia de bacterias que alteran y modifican la aptitud del agua para un determinado uso. Así, la presencia de la bacteria *Salmonella typhi* asociada a las materias fecales, hace inaceptable el agua para usos de orden higiénico–sanitarios, pero en cambio debido a otras bacterias que facilitan la destrucción de la materia orgánica y que generalmente la acompañan, aumenta la capacidad autodepuradora del agua (Terry, Gutiérrez & Balanza, 2010).

Se consideran organismos exclusivamente fecales: *Escherichia coli*, *coliformes fecales* y *estreptococos fecales*. El interés indicador de este grupo de organismos, obedece a la presencia de gran número de ellos en las materias fecales de los animales de sangre caliente, y a su resistencia a los agentes antisépticos, sobre todo, cloro y sus derivados (García, 2006).

4.5.3 Análisis de las muestras de aguas residuales

En la identificación de valores máximos y mínimos en cada parámetro físico, químico y bacteriológico, se deben recolectar las muestras en el lugar, dependiendo del tiempo disponible, de los análisis que se tengan que verificar y del propósito de la investigación. La persona debe ser especializada en el tema de aguas residuales utilizando equipo especializado y preciso, para medir *in situ*,

temperatura y potencial de hidrogeno, para posteriormente transportar cada muestra al laboratorio. Los datos obtenidos determinarán si está cumpliendo o no, con las normas o reglamentos de descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores (Ramírez, 2014).

4.6 Tipos de planta de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR).

A continuación se detallan las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales:

4.6.1 Tanques sépticos

Según García 2006, Los tanques sépticos se utilizan para el tratamiento de las aguas servidas de familias que habitan en localidades que no cuentan con servicios de alcantarillado.

Ventajas:

- Apropiado para comunidades rurales, edificaciones, condominios.
- Su limpieza no es frecuente.
- Tiene bajo costo de construcción y operación.

Desventajas

- Uso limitado para los habitantes.
- Uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.



Figura 4. Tanque se sedimentación.

Fuente: García, 2006.

4.6.2 Tanques Imhoff

Es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Estos son adecuados para comunidades de 5000 habitantes o menos, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad.

Ventajas

- Contribuye a la digestión de lodos, mejor que un tanque séptico.
- No descarga lodo en el efluente.
- Las aguas que se introducen el tanque no necesitan tratamiento preliminar.
- El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Para su construcción se necesita un área pequeña.

Desventajas

- Son estructuras profundas (>6metros).
- Es difícil construir en arena fluida o en roca y tener precauciones cuando el nivel freático sea alto.

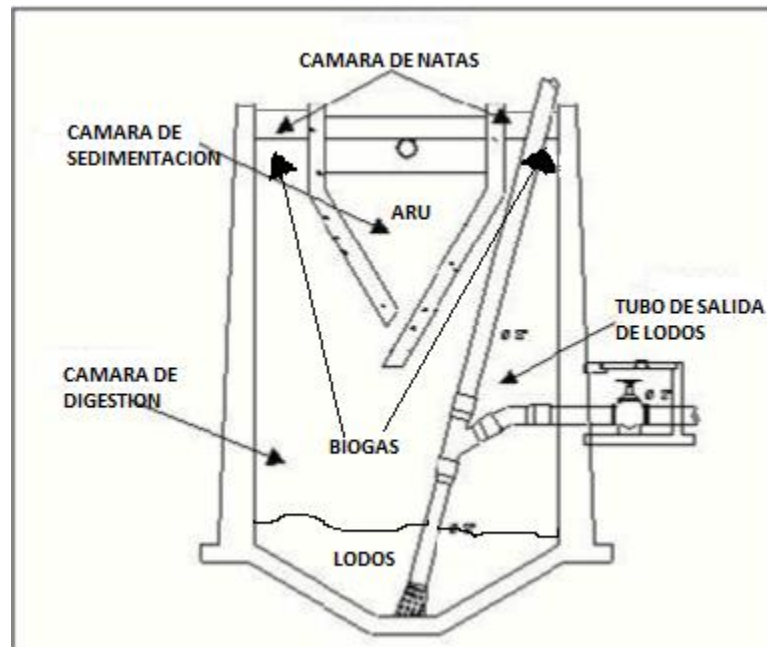


Figura 5. Esquema de tanque imhoff.

Fuente: García, 2006.

4.6.3 Lagunas de estabilización

Un sistema de tratamiento de aguas residuales que se compone de dos o tres estanques, conectados en serie. En estos, la simbiosis entre las bacterias y algas se aprovecha para degradar la materia orgánica; las primeras consumen materia orgánica y oxígeno y producen CO_2 , mientras que las segundas consumen CO_2 , y producen oxígeno por medio de la fotosíntesis, lo que mantiene concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas en la zona superior de la laguna (Metcalf y Eddy, 1995).

Para la disposición apropiada de las aguas residuales domésticas se puede utilizar el sistema de lagunas de estabilización, el cual constituye un sistema natural que ofrece costos mínimos de operación, por lo cual es reconocido como el más adecuado para las condiciones económicas de poblaciones de bajos recursos financieros; convirtiéndose en una de las solución al problema de salud humana (Metcalf y Eddy, 1995).

Una laguna de estabilización de aguas residuales es una estructura simple para embalsar agua, de poca profundidad de 1 a 4 m y con períodos de retención de uno a cuarenta días. Las lagunas de estabilización, tienen como propósito explícito conseguir que las aguas acumuladas en ellas lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por ley, que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales al ser utilizadas para riego de cultivos en general. Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realiza un proceso conocido con el nombre de autodepuración, o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico. Estas lagunas realizan el tratamiento primario, secundario y terciario, mediante el establecimiento de dos de ellas o más en forma paralela con el objetivo de operar mientras se realiza mantenimiento (Metcalf y Eddy, 1995).

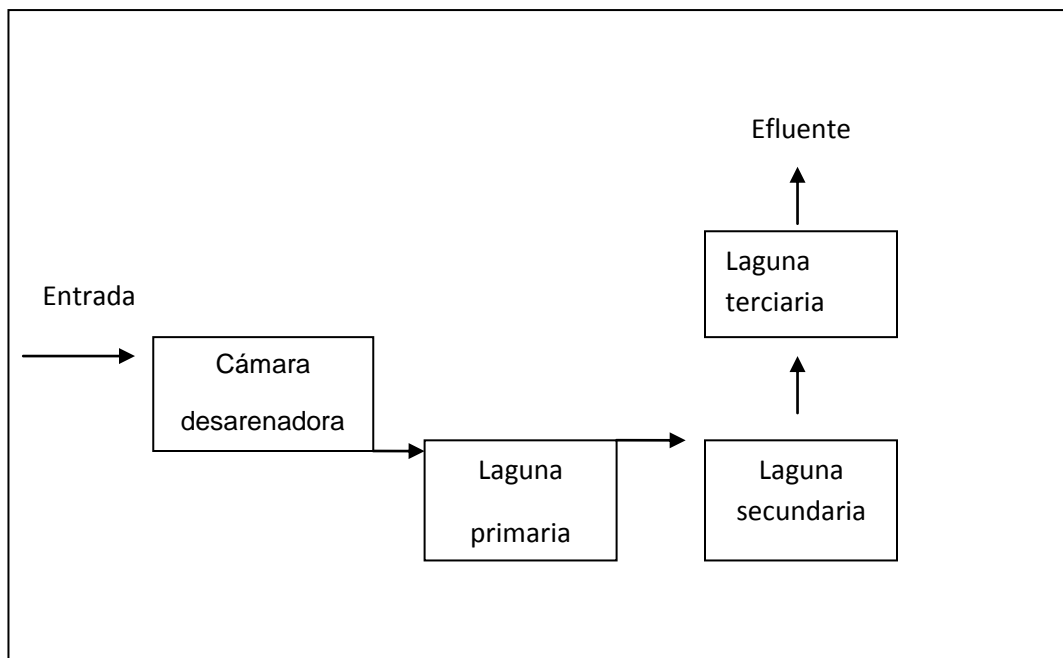


Figura 6. Esquema de laguna facultativa.

Fuente: García, 2006.

La forma geométrica de lagunas pueden ser; romboide, rectángulo y volumétricamente la de un paralelepípedo irregular, mientras que las lagunas secundarias y terciarias pueden presentarse en forma irregulares (García, 2006).

4.6.4 Proceso de lodos activados

Este proceso de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digerirán para reproducirse y sobrevivir. Cuando la masa de microorganismo crece y es mezclada con la agitación introducida al tanque por medios mecánicos o de inyección de aire, esta tiende a agruparse (floculación) para formar una masa activa. Se prescinde del sedimentador primario, de forma que la totalidad de la materia orgánica es recibida en el tanque de aeración. La baja carga orgánica y el largo tiempo de residencia de lodos, características de esta variante, permiten alcanzar la estabilización del lodo, mediante un proceso similar al de la digestión anaerobia. La ventaja de esta, es que simplifica considerablemente el manejo de lodos, que es importante en todo tratamiento de aguas residuales (Cubillos, 2000).

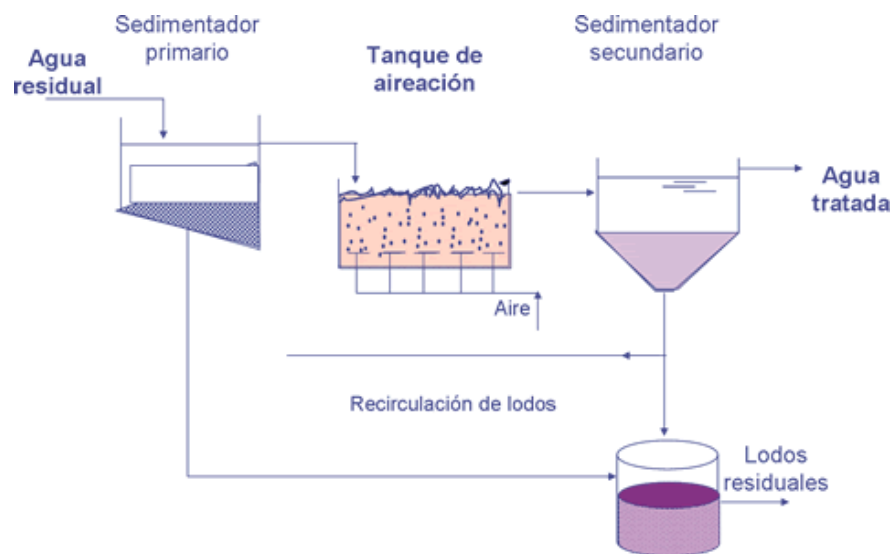


Figura 7. Flujograma de lodos activados.

Fuente: Cubillos, 2000.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Recursos humanos

- Personal de la municipalidad de El Tumbador.
- Epesista de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental (CUNSUROC, USAC).

5.2 Recursos físicos

- Nevera de icopor con 10 bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a los 4°C.
- Frasco con agua destilada.
- Cinta adhesiva.
- Balde plásticos de 5 a 10 litros.
- Tubo plástico de 25 centímetros de largo para homogenización de la muestra.
- Cinta métrica de 25 metros.
- Cronometro. .
- Papel absorbente.
- Guantes de hule.
- Formato de toma de muestras.
- Etiquetas.
- Tabla portapapeles.
- Bolígrafo o marcador de tinta indeleble.
- Bata de algodón.
- Acido sulfúrico (H_2SO_4) como preservante.

5.1 Equipo

Los equipos para la toma de parámetros in situ fueron los siguientes:

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Equipos para medición de temperatura y potencial de hidrogeno.

5.3 Presupuesto del estudio técnico.

Cuadro 4. Presupuesto de la Investigación.

No	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio por unidad Q	Precio total Q
1	Guantes de hule	2	Pares	20.00	42.00
2	Mascarilla	2	Pares	4.00	8.00
3	Agua en forma sólida (hielo)	1	Libras	25.00	25.00
4	Agua destilada	1	Litro	75.00	75.00
5	Nevera icopor	2		150.00	300.00
6	Cinta métrica	1	Metros	95.00	95.00
7	Bata	1		100.00	100.00
8	Cinta adhesiva	1		4.00	4.00
9	Galones vacíos para recolección de muestra.	2	Galones	25.00	50.00
10	Bolígrafo/marcadores	2		2.00	4.00
11	Termómetro	1		10.00	10.00
12	Combustible para transporte de muestras al laboratorio.	20	Galones	640.00	640.00
13	Análisis en Instituto de Fomento Municipal.	2		850.00	1700.00
14	Análisis en soluciones analíticas	1		3,580.00	3,580.00
15	Impresiones y empastado	9			625
		Total			Q 7,258.00

Fuente: Autor, 2014.

5.4 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

5.4.1 Identificación de las descargas de aguas residuales en el casco urbano.

Se realizó un recorrido por el casco urbano para identificar los cuerpos receptores, que son utilizados para descargar las aguas residuales domésticas.

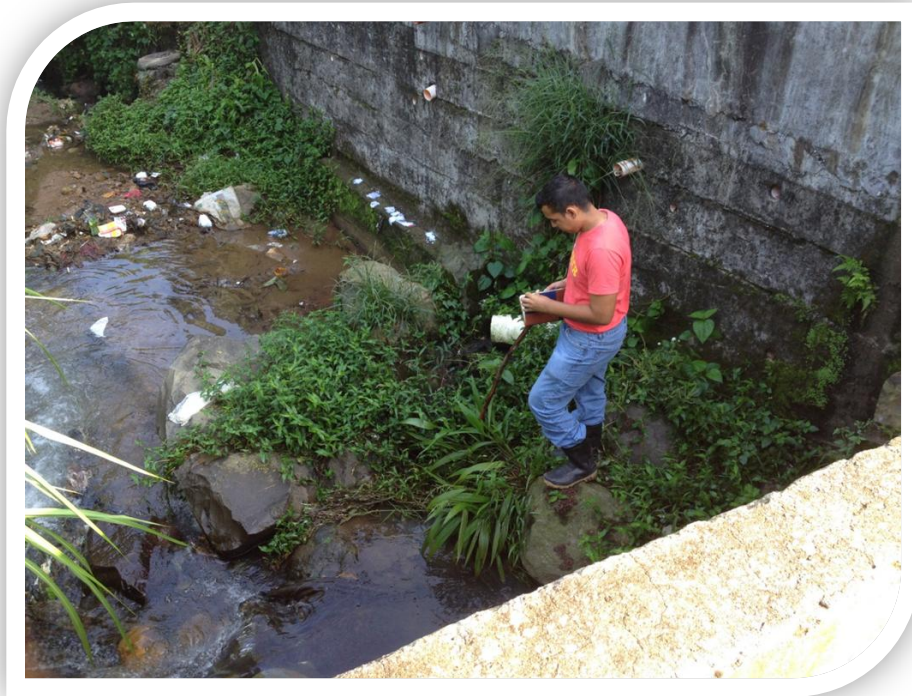


Figura 8. Identificación de efluentes de agua residual en el casco urbano.

Fuente: El autor, mayo, 2014.

Se identificaron 17 puntos de descarga de agua residual, de ellos 16 realizaban la descarga de un volumen de caudal que no implicaba realizar el aforo por ser un flujo intermitente, siendo difícil la determinación de horarios de descarga al cuerpo receptor.



Figura 9. (a.) Ubicación del punto principal de descarga de aguas residuales del casco urbano. (b.) Aforo del caudal principal.

Fuente: El autor, mayo, 2014

De acuerdo con el recorrido en campo, se observa que el punto principal de descarga cuenta con un flujo de descarga continua durante las 24 horas del día, abastecido por el 41% de la población que conforman el casco urbano del municipio.

Según lo establecido en el artículo 50 del Reglamento, se determinaron los caudales de aguas residuales provenientes del casco urbano, después se procedió a realizar el aforo por medio del método volumétrico. En el mismo punto se determinó la temperatura y el potencial de hidrogeno (pH), mediante una evaluación *in situ*.

Se recolectaron las muestras correspondientes, para generar una muestra compuesta.

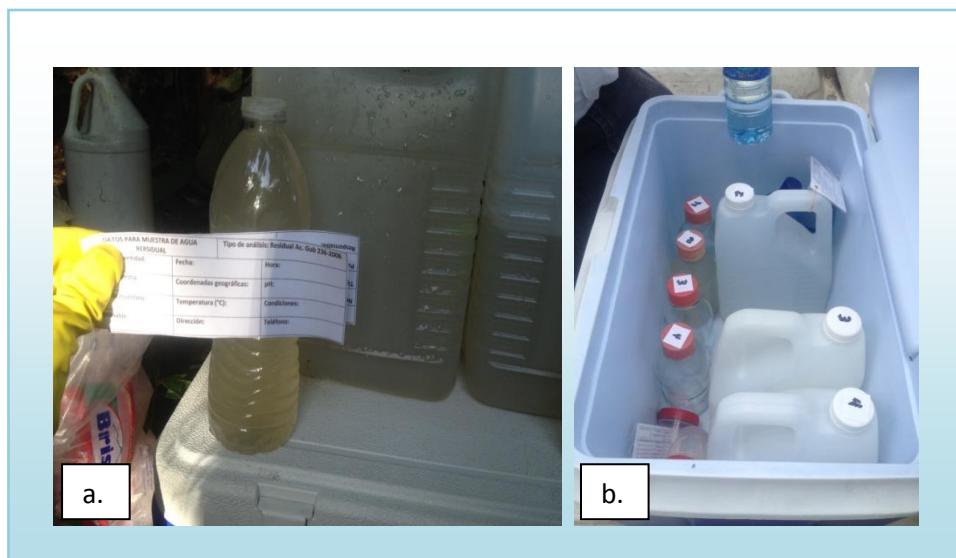


Figura 10. (a.) Etiquetado de muestras. (b.) Cadena de custodia para la muestra.

Fuente: El autor, mayo de 2014.

Las muestras se recolectaron el uno de agosto del presente año, en frascos de vidrio esterilizados con capacidad de 1000 ml, el cual fue utilizado para el análisis de grasas y aceites, y en recipientes de plástico de un galón, para análisis de metales, DBO y DQO. Se procedió con los datos solicitados por los laboratorios con la identificación de fecha, hora, ubicación de coordenadas geográficas, nombre de la descarga, temperatura, potencial de hidrógeno y nombre del responsable. Con esta información en las etiquetas, se procedió a refrigerar las muestras de aguas residuales a una temperatura de cuatro grados (4°C). Seguidamente se transportaron hacia el Laboratorio certificado que se basa en los *Standard Methods* para la realización de los análisis.

Con base a los resultados del caudal, análisis de laboratorio, recopilación de información a personal de la municipalidad y el recorrido en campo de recolección de datos geográficos, se procedió a realizar el estudio técnico de aguas residuales de la forma siguiente:

El dato de la carga contaminante se determinó, multiplicando el caudal por la concentración, que servirá para la determinación del valor inicial de carga (VIC).

El modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno, a fin de cumplir con la meta gradual, con cuatro etapas de cumplimiento, se determinó por medio del valor del caudal en metros cúbicos por hora, multiplicado por la demanda bioquímica de oxígeno, según el literal a), de artículo 24, del estudio técnico. La reducción del 10% de la primera etapa de cumplimiento, según el artículo 17 del Reglamento.

Para el desarrollo de la propuesta del sistema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), se realizaron las siguientes actividades:

- a) Se seleccionó e interpretaron los elementos; caudal y análisis de laboratorio disponibles para el proyecto.
- b) Se determinó el grado de tratamiento necesario.
- c) Definición de las alternativas de tratamiento, para la fase líquida y la fase sólida.
- d) Selección de los parámetros de diseño de la PTAR y determinación de los valores a utilizar.
- e) Elaboración de la disposición en planta de las diversas unidades.
- f) Elaboración del perfil hidráulico preliminar para las diversas alternativas.
- g) Dimensionamiento de unidades en cada proceso de tratamiento.

VI. RESULTADOS

En cumplimiento con el “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.



ESTUDIO TECNICO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE EL TUMBADOR, SAN MARCOS.

Ingeniería en Gestión Ambiental Local

CUNSUROC, USAC.

Octubre de 2014.

6.1 Información general del estudio técnico

a) Nombre, Razón o Denominación Social de la persona Individual o jurídica pública o privada: Municipalidad de El Tumbador, San Marcos.

b) Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales: El Director Municipal de Planificación, encargado de coordinar los proyectos de saneamiento en el Municipio de El Tumbador, San Marcos.

c) Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta al presente Reglamento: Servicios municipales y ente público administrador de aguas residuales.

d) Horarios de descarga de aguas residuales:

Las actividades del ente generador de aguas residuales, se desarrollan durante las 24 horas. Sin embargo el mayor aporte lo realiza durante dieciocho (18) horas del día de forma continua, en horarios de tres a diez (03:00 a 10:00) y de once a veintidós (11:00 a 22:00) horas, siendo determinado mediante un monitoreo, por medio del método volumétrico. Esta descarga se ubica en la tercera categoría (mayor que 12 horas), según el artículo 49 del Reglamento de Acuerdo Gubernativo 236-2006.

e) Descripción del tratamiento de aguas residuales:

Actualmente las aguas residuales ordinarias, que se generan en el casco urbano del municipio de El Tumbador San Marcos, no cuentan con ningún sistema o planta para su tratamiento, para los 17 puntos de desfogue en distintas ubicaciones, sin embargo uno es el principal efluente de descarga.

La existencia de producción de lodos y descomposición de materia orgánica presentes en las aguas residuales son producto de actividades domesticas, estos se van depositando en los cuerpos receptores y no en un punto especifico como lo sería si existiese una planta de tratamiento de aguas residuales.

f) Caracterización del efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.

- **Ubicación del Efluente**

La descarga principal (01) y las descargas secundarias (16) de agua residual de tipo ordinario en el casco urbano del municipio de El Tumbador San Marcos, según su ubicación geográfica, se encuentran en la Latitud Norte 14°53'41.9" y Longitud Oeste 91°56'06.1", y en coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), se ubican en P 0614557 y 1643672, vertiendo el punto uno al cuerpo receptor identificado como Rio El Triángulo. Mientras que las 16 restantes son conducidas hacia el rio Luarca.

En el estudio de las aguas residuales se realizó la identificación del punto de descarga principal, del cual se obtuvieron muestras simples, de la forma siguiente: se recolectaron las mismas, para conformar una muestra compuesta que fuera representativa durante el día. Esta actividad se realizó el uno (01) de agosto del año dos mil catorce (2,014). Con respecto al caudal, se determinó mediante un aforo volumétrico que el efluente está vertiendo seiscientos cincuenta metros cúbicos al día (650 m³/día) de aguas residuales hacia el cuerpo receptor.

Las aguas residuales presentan cierta homogeneidad en cuanto a la composición y carga contaminante, por la incidencia de un estimado de 2,200 habitantes y la no existencia de industrias.

Para determinar la calidad de las aguas del efluente principal de descarga del casco urbano, de acuerdo a los parámetros del “Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”, se realizó el análisis de la muestra en un laboratorio certificado.

En el cuadro cinco (5) se presentan valores iniciales que se colocaron con base a los resultados del análisis realizado a la muestra, donde se ubica el dispositivo principal que descarga al cuerpo receptor (Rio El Triángulo) y los límites máximos permisibles para descargar aguas residuales a cuerpos receptores según el artículo 20 del Reglamento.

Cuadro 5. Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales en el artículo 20 del Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos.

Parámetro	Dimensional	Valores inicial	Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro	Cumple o excede
			Uno	Dos	Tres	Cuatro	
Temperatura	Grados Celsius	6	TCR +/- 7	TCR+/- 7	TCR+/- 7	TCR+/- 7	Cumple
Grasas y aceites	Miligramos por litro	<6	100	50	25	10	Cumple
Materia flotante	Ausencia /presencia	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Cumple
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	12	600	400	150	100	Cumple
Nitrógeno total	Miligramos por litro	22	100	50	25	20	Cumple
Fósforo	Miligramos por litro	4.9	75	30	15	10	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidad de potencial de hidrógeno	6.5	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	Cumple
Coliformes fecales	Numero más probable en cien mililitros	24x10 ⁵	1x10 ⁶	1x10 ⁵	1x10 ⁴	1x10 ⁴	Excede
Arsénico	Miligramos por litro	0.0316	0.5	0.1	0.1	0.1	Cumple
Cadmio	Miligramos por litro	<0.0036	0.4	0.1	0.1	0.1	Cumple
Cianuro total	Miligramos por litro	<0.01	3	1	1	1	Cumple
Cobre	Miligramos por litro	0.09	4	3	3	3	Cumple
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.005	0.5	0.1	0.1	0.1	Cumple
Mercurio	Miligramos por litro	<0.00044	0.1	0.02	0.01	0.01	Cumple
Níquel	Miligramos por litro	0.02	4	2	2	2	Cumple
Plomo	Miligramos por litro	<0.008	1	0.4	0.4	0.4	Cumple
Zinc	Miligramos por litro	0.11	10	10	10	10	Cumple
Color	Unidades platino cobalto	50	1300	1000	750	500	Cumple

Fuente: Acuerdo gubernativo 236-2006, resultados análisis, mayo de 2014.

Como ente generador el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos, descarga aguas residuales durante las veinticuatro (24) horas del día, con un caudal de seiscientos cincuenta metros cúbicos por día ($650 \text{ m}^3/\text{día}$) y una demanda bioquímica de oxígeno de trescientos dieciocho miligramos por litro (318 mg/l), donde se determinó un Valor Inicial de Carga (VIC) de doscientos seis punto seis kilogramos por día (206.06 kg/día).

Cuadro 6. Resultados del análisis de la materia orgánica del efluente.

Fecha	Parámetro	Dimensionales	Resultados
01 de mayo de dos mil catorce	DBO	mg/l	318
	DQO	mg/l	428

Fuente: Datos de laboratorio, Mayo de 2014

La relación entre DBO y DQO también es conocida como índice de degradabilidad, que corresponde a materia orgánica poco degradable.

Según el índice de biodegradabilidad, la relación entre la D.Q.O y la D.B.O, es de 1.35 DQO/DBO , lo cual determina una materia orgánica muy degradable, ya que los valores arriba de cuatro, se toman como altamente biodegradables.

Con el fin de reducción de cargas contaminantes a mediano y largo plazo, se presenta el modelo de reducción progresiva, que se aplica a las personas, municipalidades y/o empresas existentes que descargan al alcantarillado público, con las metas establecidas en el artículo 19 del Reglamento y que están referidas a descargar un máximo de $3,000 \text{ kg/día}$ y 200 mg/l o menos en el parámetro de calidad asociado de demanda bioquímica de oxígeno.

Cuadro 7. MODELO DE REDUCCION PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO PARA DESCARGAS.

	1a FASE DE APLICACIÓN / DURACIÓN 5 AÑOS				
Carga inicial fase 1, CI:	3000 ≤ EG < 6000	6000 < EG < 12000	12000 < EG < 25000	25000 < EG < 50000	50000 < EG < 250000
Reducción, %:	10	20	30	35	50
Reducción, kg/d:	22,90	0,00	0,00	0,00	0,00
Carga final fase 1, CF:	206,06	0,00	0,00	0,00	0,00
	2a FASE DE APLICACIÓN / DURACIÓN 4 AÑOS				
Carga inicial fase 2, CI:	3000 ≤ EG < 5500	5500 < EG < 10000	10000 < EG < 30000	30000 < EG < 50000	50 000 < EG < 125 000
Reducción, %:	10	20	40	45	50
Reducción, kg/d:	20,61	0,00	0,00	0,00	0,00
Carga final fase 2, CF:	185,46	0,00	0,00	0,00	0,00
	3a FASE DE APLICACIÓN / DURACIÓN 5 AÑOS				
Carga inicial fase 3, CI:	3000 ≤ EG < 5000	5000 < EG < 10000	10000 < EG < 30000	30000 < EG < 65000	
Reducción, %:	50	70	85	90	
Reducción, kg/d:	92,73	0,00	0,00	0,00	
Carga final fase 3, CF:	92,73	0,00	0,00	0,00	
	4a FASE DE APLICACIÓN / DURACIÓN 4 AÑOS				
Carga inicial fase 4, CI:	3000 ≤ EG < 4000	4000 < EG < 7000			
Reducción, %:	40	60			
Reducción, kg/d:	37,09	0,00			
Carga final fase 4, CF:	55,64	0,00			
Habitantes equivalentes, HE:	1.113	0			
Reducción total, %:	75,70	0,00			

Fuente: Datos con base al artículo 26, Reglamento de descarga de aguas residuales, autor, 2014.

- **Discusión de resultados**

La interpretación de cada parámetro sujeto a medición, se realizaron en el mes de agosto a octubre, con base a los límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpos receptores, para cumplimiento de la primera etapa en artículo 20, del Reglamento de Las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Respecto al dato de la carga contaminante, se determinó que la descarga es de 206,06 kg/día, basados en el caudal de 650 m³/día. Según el Reglamento, los entes generadores que descarguen demandas menores o iguales a 3,000 kg/día de D.B.O en el día, deberán reducir en la segunda etapa un 10%, esto indica que se deberá reducir en 20,61 kg/día, lo cual permitirá una descarga de 185,46 kilogramo por día. En la segunda etapa se deberá de tomar la carga de 185,46 kg/día, como valor inicial para la reducción del otro período, según artículo 17.

El límite máximo permisible de grasas y aceites, para descarga hacia cuerpos receptores, es de 100 miligramos por litro. Basado en resultado del análisis se determinó que el efluente se encuentra dentro del límite con un valor menor a 6 miligramos por litro.

El límite máximo permisible de materia flotante, para descarga hacia cuerpos receptores, es la ausencia. Basado en el resultado del análisis de laboratorio se determinó que el efluente cumple con el límite de ausencia.

El límite máximo permisible de sólidos suspendidos totales (S.S.T), para descargar hacia cuerpos receptores tiene un valor de 600 miligramos por litro. Basado en el resultado del análisis de laboratorio se determinó que el efluente se encuentra dentro del límite con un valor de 12 miligramos por litro.

El valor de límite máximo permisible de Nitrógeno (N) para descargar es de 100 miligramos por litro para descargar hacia cuerpos receptores. Basado en el resultado del análisis de laboratorio se determinó que el efluente descarga un valor de 22 miligramos por litro, lo que indica que se encuentra dentro del límite.

El límite máximo permisible de fósforo (P), para descargar hacia cuerpos receptores, es de 75 miligramos por litro. Basado en el resultado del análisis de laboratorio el efluente se encuentra dentro del límite máximo permisible, con un valor de 4.9 miligramos por litro.

Para el caso del potencial de Hidrógeno, se determinó que la descarga deposita un potencial de Hidrogeno de 6.5 unidades al río, por lo tanto, el efluente se encuentra dentro límite máximo permisible de 6 a 9 unidades para descargar hacia cuerpos receptores.

Respecto a los coliformes fecales, se determinó que el efluente sobrepasa el límite máximo permisible, con un valor mayor a 2,400,000, (24×10^5) comparando el resultado con el límite para descarga, tendrá que reducir a 1×10^6 , para descargar hacia cuerpos receptores.

El límite máximo permisible para descarga de arsénico (As), es de 0.5 miligramos por litro en la primera etapa, por lo tanto el efluente se encuentra dentro del límite, con un valor de descarga residual de 0.0316 miligramos por litro.

El límite máximo permisible para descargar Cadmio (Cd) hacia cuerpos receptores es de 0.4 miligramos por litro. Por lo tanto el efluente se encuentra dentro de los límites permisibles, con un valor de <0.0036 miligramos por litro, para descargar hacia cuerpos receptores.

El límite máximo permisible para descargar Cianuro (CN) hacia cuerpos receptores es de 3 miligramos por litro. Por lo tanto el efluente se encuentra dentro del límite permisible, con un valor de descarga menor a 0.01 miligramos por litro.

El límite máximo permisible para descarga de cobre (Cu), es de cuatro miligramos por litro. Por lo tanto se determinó que el efluente se encuentra dentro del límite, con un valor de 0.09 miligramos por litro, para descargar hacia cuerpos receptores.

El límite máximo permisible para descarga de cromo (Cr), es de 0.5 miligramos por litro. Basado en el resultado del análisis de laboratorio, el efluente se encuentra dentro del límite con 0.005 miligramos por litro para descargar hacia cuerpos receptores.

El límite máximo permisible para descargar mercurio (Hg) hacia cuerpos receptores es de 0.1 miligramos por litro. Por lo cual se determinó basado en el análisis de laboratorio que el efluente se encuentra dentro del límite, con un valor menor a 0.00044 miligramos por litro.

El límite máximo permisible para descarga de níquel (Ni) hacia cuerpos receptores es de 4 miligramos por litro. Por lo cual se determinó basado en el resultado del análisis de laboratorio, que el efluente se encuentra dentro del límite, con un valor de 0.02 miligramos por litro.

El límite máximo permisible para descarga de plomo (Pb), es de 1 miligramo por litro. Basado en el resultado del análisis de laboratorio, que el efluente se encuentra dentro del límite con un valor menor a 0.008 miligramos por litro.

El límite máximo permisible para descarga de zinc (Zn) hacia cuerpos receptores es de 10 miligramos por litro. Basado en el resultado del análisis de laboratorio, que el efluente cumple el límite con un valor de 0.11 miligramos por litro.

El límite máximo permisible para descarga de color, es de 1,300 unidades platino cobalto (UPC). Basado en el resultado de análisis se determinó que el efluente se encuentra dentro del límite, con un valor de 50 UPC, para descargar hacia cuerpos receptores.

Cabe resaltar que los valores de cada parámetro anteriormente discutido en relación a la primera etapa, seguirían cumpliendo con los límites máximos permisibles de la segunda etapa, con fecha máxima de cumplimiento del dos de mayo de dos mil quince. Sin embargo se resalta que para garantizar que la carga contaminante este cumplimiento con el Reglamento, es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, que contemple

el caudal de desfogue, cantidad de población, características físicas, químicas y bacteriológicas del efluente.

g) Caracterización de las aguas para rehúso. (Art. 14)

Debido a que actualmente las aguas residuales no son reutilizadas en ninguna actividad, se deja sin efecto la caracterización de estas aguas.

h) Caracterización de Lodos. (Art. 15)

En la actualidad no existe el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario en el casco urbano del Municipio de El Tumbador, San Marcos, por lo que no se generan o producen tales lodos o sedimentos. De igual manera se elimina la medición de los parámetros en el estudio técnico de: arsénico, zinc, cadmio, mercurio, cromo y plomo.

i) Caracterización del afluente.

La fuente principal de abastecimiento lo constituye el río El Triángulo, que nace en la finca Plan de arena, llegando a la finca El Ferrol, siendo la ubicación geográfica Latitud Norte 14°52'11.8" y Longitud Oeste 91°55'14.1", a una altitud de novecientos sesenta y ocho (968) metros sobre el nivel del mar (msnm), la cual es conducida por medio de un sistema de captación y distribuida hacia al casco urbano del municipio de El Tumbador.

Para determinar la calidad del agua que ingresa al casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos, se realizó un muestreo y análisis de laboratorio en el tanque de captación.

El cuadro ocho (8), indica el valor de cada parámetro con el que ingresa el agua previa a ser utilizada por habitantes del casco urbano.

Cuadro 8. Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados al afluente.

Parámetros	Dimensionales	Valores
Temperatura	Grados Celsius	<10
Grasas y aceites	Miligramos por litro	<2.0
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	<10
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1.6
Fosforo total	Miligramos por litro	0.05
Potencial de hidrogeno	Unidades de potencial de hidrogeno	7.0
Coliformes fecales	Numero más probable en cien mililitros	7000
Color	Unidades platino cobalto	1.9

Fuente: Análisis realizados por el laboratorio del INFOM. Julio, 2014.

De esta manera se logra observar que el agua en su ingreso a ser utilizada por los habitantes, presenta un valor de coliformes fecales de 7,000 número más probable en cien miligramos (NMP/100ml).

j) Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales.

El cuerpo receptor principal al cual se descargan aguas residuales del casco urbano del municipio de El Tumbador San Marcos, es el Rio El Triángulo, según su ubicación geográfica, se encuentra en latitud norte 14°51'54.79" y longitud oeste 91°56'6.72", a una altitud de 866 metros sobre el nivel del mar (msnm).



Figura 11. Ubicación del cuerpo receptor donde se descarga aguas residuales.

Fuente: el autor, septiembre de 2014.

k) Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales.

La red de alcantarillado existente en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos, funciona de forma combinada (aguas residuales y aguas pluviales), siendo estas vertidas por la mayoría de barrios a través de los conductos de concreto hacia los cauces de los Río El Triángulo y Luarca. (Ver en anexos plano 1 y 2).

I) Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva.

De acuerdo a los resultados del Estudio Técnico de aguas residuales en el municipio de El Tumbador, San Marcos, se considera los parámetros que serán excluidos de mediciones en los análisis posteriores, siendo los siguientes:

- Mercurio
- Cromo
- Plomo
- Cadmio
- Arsénico

Estos parámetros quedarán exentos de medición en los siguientes análisis de las diferentes etapas que establece el Reglamento por los valores determinados debajo de los límites máximos permisibles hasta la etapa cuatro y la falta del sistema de tratamiento para las aguas residuales que produzcan tales lodos y sedimentos.



Figura 12. Mapa de localización y ubicación del ente generador que descarga aguas residuales.

Fuente: Autor, 2014.



Figura 13. Mapa de localización y ubicación de afluente de abastecimiento y efluente de agua residual.

Fuente: Autor, 2014.

6.2 Plan de gestión de aguas residuales en el municipio de El Tumbador, San Marcos.

Para el establecimiento del plan de gestión de aguas residuales debe considerarse lo siguiente:

- a. Acercamiento con los diferentes actores involucrados, tales como universidades públicas y/o privadas, Concejo Municipal de Desarrollo (COMUDE), Consejo de Desarrollo Departamental (CODEDE), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y organizaciones no gubernamentales que estén relacionadas al tema de saneamiento.

Este proceso tiene como objetivo conformar una junta directiva entre los principales actores, para que inicien con el trabajo técnico.

Las actividades propuestas para cada etapa del trabajo son:

1. Identificación de las principales fuentes contaminantes hacia el cuerpo receptor.
2. Reunión con entes técnicos del municipio, como la dirección municipal de planificación (DMP), la unidad de gestión ambiental municipal (UGAM), oficina municipal de la mujer y la oficina de la juventud.
3. Reunión con Alcalde y consejo Municipal, conjuntamente con los técnicos y organizaciones para conocer el proyecto y discutirlo con el fin de mejorarlo.
4. Sensibilización a los líderes de cada sector del casco urbano para darles a conocer el proyecto.
5. Elaboración del plan de monitoreo, evaluación y seguimiento al proyecto de tratamiento de aguas residuales.

La participación social de los actores locales, constituye la parte más importante para poder sensibilizar a la comunidad, con la finalidad de ejecutar un proyecto de saneamiento de manera eficiente y sostenible, para conservación del medio ambiente y la población beneficiada.

6.2.1 Caracterización biofísica y social en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.

El objetivo de realizar la caracterización, es de actualizar el factor social, económico, salud, ambiental, tecnológico, saneamiento y nivel de educación.

Para la realización de esta caracterización, se deberán de identificar y delimitar lo siguiente:

- a. Social: la organización comunitaria, idioma, cosmovisión y liderazgo, escuelas.
- b. Económico: inversiones, créditos, impuestos y arbitrios.
- c. Ambientales: calidad de agua para consumo, tipo de suelo, biodiversidad, cuerpos receptores.
- d. Saneamiento: catastro de usuarios de servicios municipales, puestos de salud y sistema de alcantarillado.

La caracterización biofísica del casco urbano, partiendo de la perspectiva técnica; será de utilidad para realizar el monitoreo del estado del área.

Esta comprende los aspectos siguientes:

- a. Determinación de las características hidrológicas, fuentes de agua superficial y subterránea, calidad y cantidad de los recursos hídricos.
- b. Monitoreo del clima como precipitaciones, humedad, temperatura y velocidad de viento.
- c. Determinación de la cobertura forestal del casco urbano.
- d. Identificación de características topográfica, relieve del casco urbano.

Esta evaluación y análisis se debe elaborar cada dos años, con el fin de evaluar los impactos ambientales que generan las actividades antropogénicas del lugar. Estos datos deberán de ser resguardados por la dirección municipal de planificación, para llevar un registro de los recursos actuales del municipio.

6.3 Plan del sistema de tratamiento de aguas residuales en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.

6.3.1 Introducción

Considerando que las autoridades en el municipio de El Tumbador, tienen como prioridad cumplir con los límites máximos permisibles de parámetros de descarga hacia cuerpos receptores, establecidos en el artículo 20, del Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos, del Acuerdo Gubernativo 236-2006, con iniciativa de mejorar la calidad de agua residual que se desfoga hacia el río El Triángulo y la finalidad de proteger el medio ambiente y el bienestar de los habitantes, se propone el sistema de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que consta de un sistema de rejillas, desarenador, sedimentador, filtro percolador y digestor de lodos, con el objetivo de tratar un caudal de 650 m³/día que generan actualmente los 2,200 habitantes equivalentes al 41% del total de la población y que tiene una proyección de veinte años, con una capacidad futura a tratar de 745 viviendas.

6.3.2 Objetivos

a. General

Proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.

b. Especifico:

Disminuir de manera progresiva los límites máximos permisibles de los parámetros establecidos en el Reglamento de aguas residuales.

6.3.3 Beneficiarios

Con el establecimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos, se estima que se estará beneficiando a 2,200 habitantes, que desfogon sus aguas de tipo ordinario por medio del alcantarillado público hacia el cuerpo receptor (El Triángulo). Asimismo se estaría contribuyendo en la parte baja del municipio, a la recuperación de las aguas superficiales que utilizan los usuarios en sus actividades diarias.

6.3.4 Propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales

6.3.4.1 Tipo de planta

Tomando en cuenta los diversos factores particulares de la comunidad, se considera necesaria la implementación del sistema que contempla las etapas siguientes:

- a. Tratamiento preliminar o pretratamiento.
- b. Tratamiento primario.
- c. Tratamiento secundario.
- d. Tratamiento de lodos.

Se considera necesaria la implementación de la tecnología siguiente:

- a. Derivador de demasías.
- b. Canal de rejillas (2 unidades).
- c. Canasta para deshidratar sólidos retenidos en el canal de rejillas.
- d. Desarenador (2 unidades para alternar en periodos de mantenimiento).
- e. Unidad de medición de caudal (vertedero, Sutro, Parshall).
- f. Unidad de Trampa de Grasas.

Se considera adecuada la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo biológico con procesos aerobios y anaerobios en su desarrollo, esperando tener una eficiencia en su remoción del 90% en los principales parámetros de contaminantes demanda bioquímica oxígeno y sólidos

suspendidos. La planta propuesta no requiere ninguna parte mecánica y se podría decir que en su totalidad trabaja con la carga hidráulica que genera cada unidad, esto permite tener una planta con una alta eficiencia y con una baja actividad de operación y mantenimiento.

Criterios de diseño de la forma siguiente:

Ecuación para obtener la carga de materia orgánica a tratar:

$$\text{Carga} = \text{caudal m}^3 / \text{día} \times \text{concentración kg/ m}^3 \text{ DBO}_5$$

$$318 \text{ ml/l} \times 1 \text{ gr/1000ml/} \times 1 \text{ kg/1000gr} \times 1000 \text{ l/ m}^3 = 0.318 \text{ kg/ m}^3$$

$$650 \text{ m}^3 / \text{día} \times 0.318 \text{ kg/ m}^3 = 206.7 \text{ kg/día DBO}_5$$

$$\text{DBO}_5/\text{DQO} = 318/428 = 0.74 > 0.60$$

Determinándose una carga diaria sobre el Rio El Triángulo de 206.7 kilogramos/día de DBO₅, además se puede apreciar que si tomamos de referencia la relación DBO₅/DQO obtenemos valores mayores a 0.60 lo que nos da un índice alto de tratabilidad por medio de métodos biológicos, lo que significa que el sistema adecuado de tratamiento es de tipo biológico.

6.3.4.2 Detalle de proceso de planta de tratamiento de aguas residuales

Utilizando la convención más usual, de manera específica, todo proceso de tratamiento contiene varias etapas, las cuales dependen una de la otra, en el ciclo de tratamiento:

- a. Pretratamiento
- b. Tratamiento Primario
- c. Tratamiento Secundario
- d. Tratamiento de Lodos

a. Pretratamiento

Canal de Rejas: Están formados por barras usualmente espaciadas desde 7 hasta 15 m, se usarán las rejas grandes en posición vertical, la regla general es que deben instalarse con un ángulo de inclinación de 45° a 60° respecto de la vertical.

Desarenadores: Se utilizarán para retener cantidades relativamente grandes de sólidos inorgánicos como arena, ceniza y grava. La cantidad es muy variable; principalmente por el alcantarillado combinado. Se localizarán antes de los sedimentadores precedidos por cribas o rejas gruesas.

Trampa de Grasas: La utilización de una trampa de grasas, es con el objeto de retener las grasas generadas por actividades domésticas, ya que en cantidades considerables las grasas pueden afectar los procesos biológicos que se llevan a cabo en las demás unidades de la planta de tratamiento.

b. Tratamiento primario

Cada dispositivo que se usará en el tratamiento primario está diseñado para retirar de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánico sedimentables.

Tanque Imhoff: Conocido también como tanque de doble acción, puede ser rectangular o circular y se divide en tres compartimentos o cámaras que son: la sección superior que se conoce como cámara de derrame continuo o compartimento de sedimentación, la sección inferior que se conoce como cámara de digestión de lodos, el respiradero y cámara de natas.

c. Tratamiento secundario

Este tratamiento de aguas residuales contará con el sistema siguiente:

Filtro percolador: El sistema de distribución del agua residual va colocado en la parte superior del filtro y su función es distribuir el agua residual lo más uniforme

posible, con el objeto de tener la misma carga hidráulica por unidad de superficie del filtro.

El sistema filtrante: tiene por objeto servir de soporte del cultivo biológico que crece sobre el área superficial expuesta por el mismo y a su vez permite la circulación del aire necesario para que el proceso se realice en un medio aerobio.

Sistema recolector: éste permite recolectar aguas tratadas en el filtro y asimismo proporcionar el área necesaria para la circulación del aire.

Sedimentador: La función principal del sedimentador, es retener gran parte de las partículas en suspensión que son arrastradas por las aguas residuales, esto se logra mediante el reposo o estancamiento del agua durante períodos de tiempo que generalmente oscilan de 1.5 a 4 horas.

Digestor de lodos: Para su estabilización se construirá un depósito de forma tronco cónico que funcionará como digestor de lodos en donde la materia orgánica es estabilizada por la acción de bacterias anaeróbicas.

La digestión o estabilización del lodo, para las condiciones climáticas de la región se realizará a temperatura ambiente en un lapso de 45 días de almacenamiento, para luego ser trasladados a los lechos de secado.

d. Tratamiento de lodos

Su función es la deshidratación de lodos, para esto, los lodos digeridos se descargan y extienden en patios de fondo permeable, el espesor de capas de lodo en los patios de secado, será de 15 a 20 cm como máximo. Para agilizar la deshidratación, se recomienda que los patios tengan la superficie expuesta al aire y a la energía solar.

6.3.4.3 Dimensiones

Para el dimensionamiento de todas las unidades en que consta la planta de tratamiento para el casco urbano del Municipio de El Tumbador, San Marcos, se optó por diseñar dos unidades por cada fase con la capacidad de poder procesar el 50% de volumen de agua que llegue a la planta, además esto facilitará la operación y mantenimiento en todo el proceso de la planta.

Cuadro 9. Parámetros de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales.

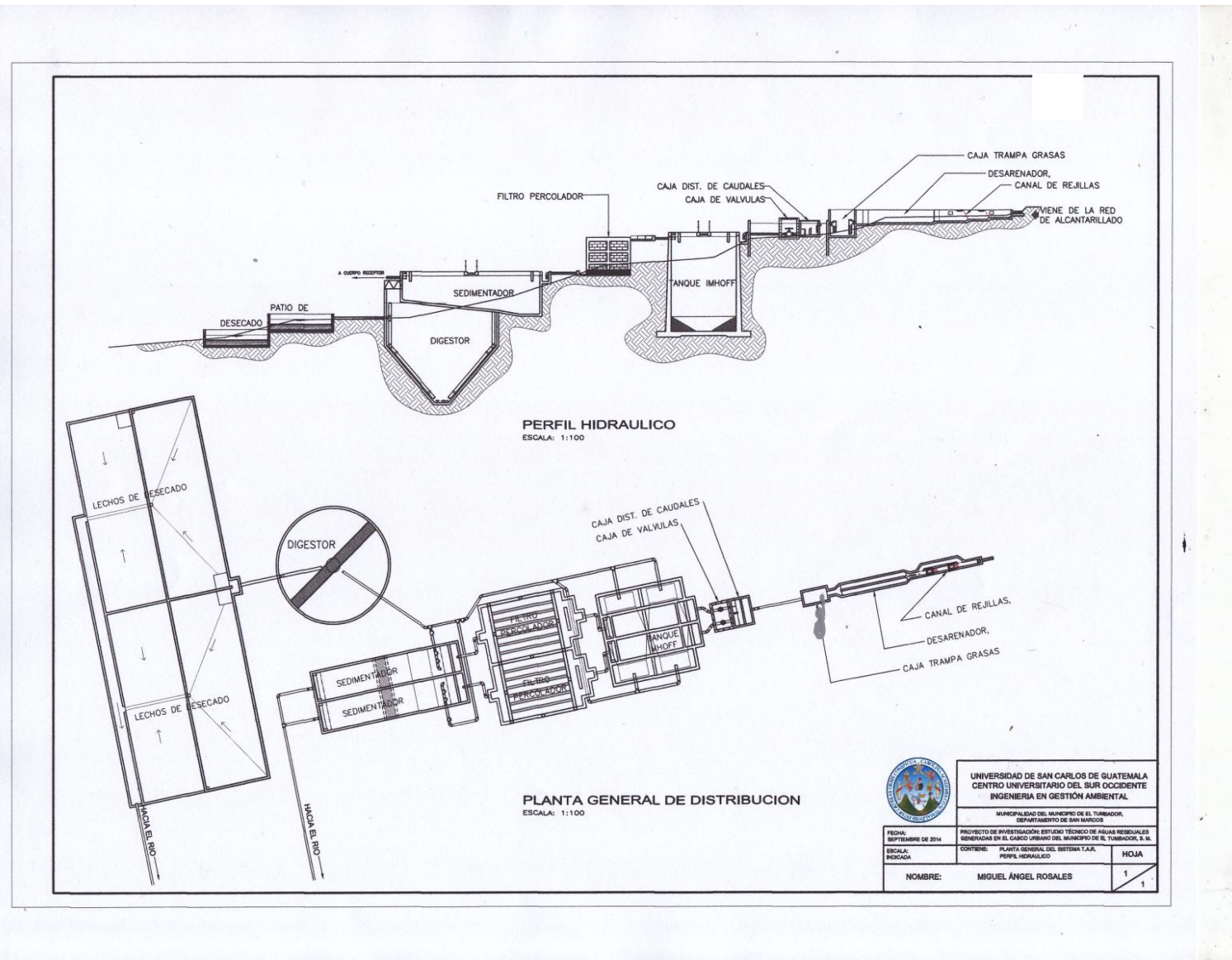
Parámetros de diseño	Cantidad	Dimensional
Población actual	2200	Habitantes
Viviendas actuales	440	Viviendas
Periodo de ejecución del proyecto	2	Años
Periodo de diseño	20	Años
Tasa de crecimiento	2.42	Porcentaje
Poblacion futura	3,722.96	Habitantes
Viviendas futuras	745	Viviendas
Dotación de agua potable	150	Litro/hora/día
Factor retorno	0.90	Coeficiente
Volumen diario de aguas residuales	650	Metros cúbicos (m³)
Coeficiente máximo horario	4.00	
Coeficiente mínimo horario	0.50	
Caudal medio	5.82	Litros /segundos
Caudal máximo	23.27	Litros /segundos
Caudal mínimo	2.91	Litros /segundos

Fuente: autor, 2014.

Para cada dimensión de la unidad de planta de tratamiento de aguas residuales propuesta para el casco urbano del municipio El Tumbador, se realizó la implementación de la cantidad de parámetros de diseño para mayor eficiencia (ver en anexos cuadros 3 al 11).

6.3.4.4 Eficiencia esperada

La eficiencia de remoción de Imhoff para DBO_5 es del 50%, lo que quiere decir que si la carga de entrada inicial al sistema es de 318 mg/l después del tratamiento primario se obtendrá una carga del agua tratada como primer paso de DBO_5 159 mg/l. En cuanto a filtros percoladores mas sedimentadores con tratamiento secundario se tiene una eficiencia de 85%, entonces si la carga de entrada a la unidad previamente pasada por el tratamiento primario es de DBO_5 159 mg/l después de su paso por el sistema y una remoción de 85% se esperaría un agua depositada en el cuerpo receptor de 24 mg/l muy por debajo por lo requerido por la legislación actual y en buena parte muy bueno para el cuerpo receptor que la contaminación en total sea reducida en un 93% por su paso por el sistema propuesto.



6.3.5 Cuadro 10. Presupuesto de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Regiones de trabajo	Material Q	Mano de obra Q	Transporte Q	Herramienta Q	Totales Q
Canal de rejas	11,224.97	7,759.67	561.25	232.79	19,778.68
Trampa de grasas	9,262.90	5,183.89	463.09	155.52	15,064.39
Digestor	28,118.30	14,380.60	1405.91	431.42	44,336.23
Reactor	253,026.52	126,402.31	15181.59	4,550.48	399,160.70
Sedimentador	76,965.15	35,113.88	3,848.26	1,053.42	77,372.21
Patio de secado de lodos	109,124.77	35,074.64	5,456.24	1,052.24	150,707.89
Costos directos					Q 823,401.01
Imprevistos	10%				82,340.10
Administración	5%				41,170.05
Dirección técnica	10%				82,340.10
Utilidades	30%				247,020.30
Costos indirectos					Q 452,870.55
Total					Q 1,276,271.56

Fuente: Autor, 2014. Según cotización realizada en el municipio de Guatemala.



Figura 15. Ubicación de planta de tratamiento de aguas residuales en el casco urbano del municipio de El Tumbador.

Fuente: Autor, 2014.

6.3.6 Manual de operación de planta de tratamiento y mantenimiento.

Como se mencionó con anterioridad, la propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales del casco urbano, cuenta con varias unidades de tratamiento, las que se dividen en pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento de lodos, por lo que a continuación se describirá la operación y mantenimiento de cada una.

Se describen los periodos de operación y actividades requeridas en cada unidad de la forma siguiente:

Cuadro 11. Descripción de operación en planta de tratamiento de aguas residuales.

UNIDAD	PERIODO DE OPERACION	ACTIVIDADES
Canal de rejas	Tres veces al día	Se deberán remover todas las basuras retenidas en las rejas.
Desarenador	Semanal	Extracción de arenas de canal
Imhoff	Cada dos meses	Limpieza de tubería y canal
	Cada 45 días	Extracción de lodos por cada válvula colocada en el lado lateral del reactor un bote de 5 galones por válvula.
	Cada cinco años	Inspección de estructura en parte interior.
Filtros Percoladores	Cada dos días	Limpieza y chequeo de tubería de distribución
Sedimentador	Cada cinco horas	Evacuación de lodos a la caja de bombeo inicial.

Fuente: el autor, 2014.

Cuadro 12. Descripción de mantenimiento en planta de tratamiento de aguas residuales.

UNIDAD	PERIODO DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES
Rejas y compuertas	Cada dos meses	Aplicar 2 manos de pintura anticorrosiva a la estructura metálica
Canal de rejas y Desarenador	Cada dos meses	Aplicar 2 manos de pintura anticorrosiva a la estructura metálica. Limpiar rieles. Reparar grietas en caso de ser necesario.
Tanque Imhoff	Cada 15 días	Inspección de obra física exterior
	Cada cinco años	Inspección de obra física interior y proveer de una capa de pintura a las paredes.
	Cada dos meses	Aplicar 2 manos de pintura anticorrosiva a canal y soportes metálicos.
Filtros percoladores y Sedimentador	Cada 15 días	Revisar el sistema de distribución por fugas Inspección de cajas, manto superficial y canal de salida Verificar que los codos y juntas del sistema de distribución no goteen
	Cada dos meses	Limpieza de tubería, desunir cada uno de los tubos en juntas y realizando extracción lodos sin dejar de funcionar el filtro.

Sistema de distribución de toda la planta	A diario	Revisión de tubería por chequeo de fugas Inspección ocular de pozos de visita de entrada Revisión de codos, juntas, válvulas en general.
Cabezal de descarga	Cada 15 días	Limpieza y chapeo de maleza del área interna de la PTAR. Retiro de materiales que impidan la libre salida del agua
Taludes, caminamientos, cerco perimetral, caseta de guardianía	Cada seis meses	Inspección de obra física.

Fuente: el autor, 2014.

6.3.6.1 Personal requerido para las operaciones en la planta de tratamiento de aguas residuales:

Para efectuar las labores de operación y mantenimiento de una manera eficiente, se estima que se debe contratar a un operador que deberá inspeccionar la planta periódicamente varias veces al día, para mantener funcionando perfectamente la PTAR.

Para la contratación de personal de la planta de tratamiento se debe de tomar en cuenta los requerimientos mínimos de calificación:

- a) Educación primaria aprobada.
- b) Capaz de llevar registros de caudales y recolección de muestras de aguas residuales en las diferentes unidades que componen la PTAR.
- c) Tener habilidades propias para labores de operación y mantenimiento.
- d) Capacitación de primeros auxilios.

- e) Que se encuentre vacunado contra las siguientes enfermedades: Hepatitis B, tétanos, fiebre tifoidea y todas las demás que por algún percance tenga contacto con las aguas residuales.
- f) Haber desarrollado sensibilización ambiental, para la preservación de los recursos naturales en el área.

Las recomendaciones necesarias para el operador.

- a) Lavarse siempre las manos antes de comer, con abundante agua; y comer solo en áreas específicamente designadas para ese uso.
- b) Lavarr las herramientas con agua limpia después de utilizarlas.
- c) Desinfectar inmediatamente cualquier herida, corte o contusión.
- d) Recibir capacitación en primeros auxilios.
- e) Se recomienda realizar la disposición adecuada de los desechos sólidos dentro del proyecto antes de ser trasladados a su destino final.
- f) La entrada a la instalación debe mantenerse cerrada, incluso cuando el operador se encuentre trabajando dentro de la misma.
- g) La planta de tratamiento deberá contar siempre con una fuente de agua limpia y desinfectante.
- h) Se aconseja toallas desechables de papel para evitar contaminación directa con toallas de tela.

VII. CONCLUSIONES

- 7.1 Fueron identificadas 17 descargas de aguas residuales en el área del casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.
- 7.2 Se determinó por medio de aforo volumétrico, que el punto principal que descarga de aguas residuales hacia el cuerpo receptor, vierte un caudal de seiscientos cincuenta metros cúbicos por día ($650 \text{ m}^3/\text{día}$).
- 7.3 El agua residual reporta una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de trescientos dieciocho miligramos por litro (318 mg/l), cumpliendo con los límites establecidos en el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos.
- 7.4 El Valor Inicial de Carga (VIC) reporta un dato de setecientos cincuenta y cinco punto siete kilogramos por día (206.7 kg/día), el cual indica que está por debajo de la carga contaminante que exige el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos. .
- 7.5 La relación entre demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) es de 1.35, lo cual determina una materia orgánica muy degradable.
- 7.6 El agua residual reporta un valor de coliformes fecales que se encuentra por arriba de los límites máximos permisibles para descargar hacia cuerpos receptores, siendo este $24 \times 10^5 \text{ NMP/100ml}$.
- 7.7 Los valores de metales pesados, cromo, arsénico, cadmio, zinc, mercurio, níquel y cobre no excedieron los límites máximos establecidos en el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, por lo tanto quedan exentos de medición en los análisis posteriores.
- 7.8 Se determinó que la tecnología adecuada para el tratamiento de aguas residuales en el casco urbano, es un sistema con unidades de pre tratamiento, tratamiento primario y secundario por medio de rejillas, desarenador, trampa de grasas, tanque Imhoff y filtro percolador, sedimentador y un digestor de lodos.
- 7.9 El tanque Imhoff permitirá una remisión de DBO_5 del 50%.

7.10 El filtro percolador disminuiría un 85% de la materia orgánica, cumpliendo así con las disminuciones proyectadas en el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.

VIII. RECOMENDACIONES

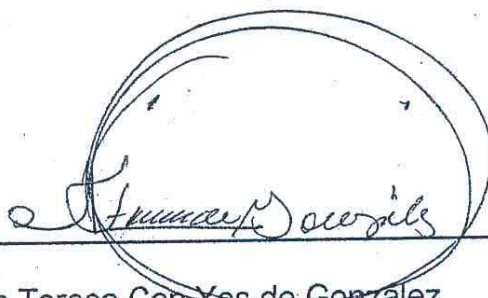
- 8.1** Establecer el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto en este documento, con unidades de pre tratamiento, tratamiento primario y secundario por medio de rejillas, desarenador, trampa de grasas, tanque Imhoff y filtro percolador, sedimentador y un digestor de lodos con fines de reducir el impacto ambiental en el cuerpo receptor.
- 8.2** En cumplimiento con el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos realizar dos muestreos (época seca y de lluvia) durante el año, en cada efluente que descarga aguas residuales hacia el cuerpo receptor (río El Triángulo y Luarca) en el municipio de El Tumbador, San Marcos.
- 8.3** Dar a conocer la tecnología propuesta en el estudio técnico a las diferentes autoridades municipales, con la iniciativa de promover la implementación de proyectos de saneamiento, con bajo costo de operación y mantenimiento.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Carlos, I. 2014. Generalidades del Municipio. (Entrevista). El Tumbador, San Marcos. Municipalidad de El Tumbador, San Marcos.
2. Cubillos. 2000. Aguas residuales. (En línea). Consultado el: 20/05/2014. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>
3. Diccionario Abierto. 2012. Definición de Caso Urbano. (En línea). Consultado el: 22/05/2014. Disponible en: <http://www.significadode.org/casco%20de%20poblaci%C3%B3n%20%20casco%20urbano.htm>.
4. Diccionario abierto.2014. Aquamarket (En línea). Consultado el: 25/03/2014. Disponible en: <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3186&termino=Muestra+integrada>.
5. García, A. 2006. Estudio de la calidad de agua de tres efluentes provenientes de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa” para su reutilización en el riego del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L). Tesis Msc. Guatemala, Gt. USAC. ERIS. Facultad de Ingeniería.
6. González, R. 2003. Proyecto de aguas residuales. (En línea). Consultado el: 19/05/2014. Disponible en:<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/895/Capitulo3.pdf-en>
7. López, A. 2010. Implementación del material denominado “ripio clasificado de concreto” como material filtrante en filtros percoladores en la planta piloto “Ing. Arturo Pazos Sosa”. Tesis Msc. Guatemala, Gt. USAC. ERIS. Facultad de Ingeniería.
8. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). 2006. Reglamento de las Descargas y Reusó de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Guatemala, Gt.
9. Metcalf & Eddy.; Burton, F. 1995. Ingeniería de aguas residuales (En línea). Consultado el:06/06/2014. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/CaracterizacionAguasResidualesUrbanas.htm>

10. Montoya. 2007. Aguas residuales y lodos. Universidad del Valle, Cali, Colombia. (En línea). Consultado el 22/05/2014. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>.
11. Ramírez, J. 2014. Diseño de plantas de tratamientos para aguas residuales. (Entrevista). USAC. Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS). Guatemala, Gt.
12. Sáenz, R. 2002. Introducción y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura (En línea). Consultado el: 10/07/2014. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/repind53/rys/rys.html>
13. SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia). 2010. Plan de Desarrollo El Tumbador, San Marcos, (2011-2025). El Tumbador, San Marcos. Gt. 112p.
14. Terry, B. C.; Gutiérrez, D. J.; Balanza, A. M. 2010. Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental. Playa, La Habana, Cuba. (En línea). Consultado el: 28/03/2014. Disponible en: http://www.proyesc.cu/informes/Manejos_Aguas_residuales.pdf.

Vo. Bo.



Lcda. Ana Teresa Cap Yes de Gonzalez

Encargada de Biblioteca.



X. Anexos



14 Avenida 19-50, Condado El Naranjo, Bodega # 23
Ofibodegas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : MIGUEL ANGEL ROSALES (11650) Número de orden : 87425
 Dirección : SAN ANTONIO, SUCHITEPEQUEZ Código de muestra : 14.08.01.01.16
 Persona Responsable : MIGUEL ANGEL ROSALES Fecha de ingreso : 01/08/2014
 Referencia Cliente : DESCARGA PRINCIPAL 01 Fecha del informe : 11/08/2014
 Paquete de análisis : AGUAS RESIDUALES Asesor : RECEPCION INDUSTRIALES

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo : 01/08/2014 Fecha Inicio de Análisis : 01/08/2014
 Hora de Muestreo : 06:00 Hora de Ingreso : 15:56:32
 Recipiente : PLASTICO, VIDRIO Y BOLSA ESTERIL Temperatura de Ingreso : REFRIGERADA
 Tipo de muestra : AGUA RESIDUAL Temperatura almacenaje : REFRIGERADA
 Localización : NO INDICA Responsable de muestreo : CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
TEMPERATURA (in situ)	°C	0.0	1 - 100 °C	Termómetro digital
pH (in situ)	unidades de pH	0	1 - 14	pH Fix
GRASAS Y ACEITES	mg/L	< 6	6	EPA 1664
MATERIA FLOTANTE		Ausente		
SOLIDOS EN SUSPENSION TOTALES	mg/L	12	6	SM 2540D
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	4	0.1	SM 2540F
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	mg/L	318	6	SM 5210B 4500C
*DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/L	428	3	HACH 8000
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	mg/L N	22	2.5	SM Kjeldahl 4500B
ARSENICO	mg/L As	0.0316	0.00124	EPA 7060A REVISIONI
CADMIO	mg/L Cd	< 0.0036	0.0036	SM 3120B
CIANURO	mg/L CN	< 0.01	0.01	HACH 8027
COBRE	mg/L Cu	0.09	0.001	SM 3120B
CROMO TOTAL	mg/L Cr	0.005	0.001	SM 3120B
MERCURIO	mg/L Hg	< 0.00044	0.00044	EPA 245.1
NIQUEL	mg/L Ni	0.02	0.001	SM 3120B
PLOMO	mg/L Pb	< 0.008	0.008	SM 3120B
ZINC	mg/L Zn	0.11	0.0076	SM 3120B
COLOR	u PtCo	50	1	HACH 8025
*COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	> 24E+5	<3	SM 9223
FOSFORO	mg/L P	4.9	0.14	SM 3120B
RELACION DQO/DBO		1.35		
RELACION DBO/DQO		0.74		

*ACREDITADO ISO 17025 según OGA-LE-R31-09

Nota: Temperatura y pH in situ no determinados

Metodología basada en:

EPA 'Oil and grease' and petroleum hydrocarbons' n-Hexane extractable material (HEM) and silica gel treated n-hexane extractable material (SGT-HEM) by extraction and gravimetry Method 1664 1194
 HACH Reactor digestion method for Chemical Oxygen Demand
 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF 21 ed 2005
 Determination of Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry
 Enzyme Substrate Coliform Test (9223)

Licda. Elsa Jauregui Jimenez
 QUIMICA BIOLOGA
 COLEGIADA No. 1192

Miguel Angel Mendoza B.
 INGENIERO QUIMICO
 COLEGIADO No. 2001

Revisado: _____
 Licda. Elsa Jauregui Jimenez
 Química Bióloga, Colegiada No. 1192

Revisado: _____
 Gerente de Laboratorios



Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
 Este informe es válido únicamente en su impresión original

Página 1 / 1

Anexo no.1. Informes de resultados de las caracterizaciones realizadas en efluente.

Fuente: Laboratorio Soluciones Analíticas, mayo 2014.


INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL -INFOM-
LABORATORIO DE AGUA

11 Avenida "A" 11-67, zona 7, La Verbena, Guatemala

Teléfono/fax: 2472-3499

laboratorio@infom.gt

www.infom.gob.gt


**INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES
MUESTRA No. 1746-14**
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Interesado:	MUNICIPALIDAD DE EL TUMBADOR		
Punto de muestreo:	Captación		
Fuente:	Río Ferol	pH <i>in situ</i> (unidades):	----
Municipio:	El Tumbador	Temperatura <i>in situ</i> (°C):	----
Departamento:	San Marcos	Técnica de preservación:	Refrigeración
Fecha de captación:	15-Julio-2014	Fecha de recepción:	16-Julio-2014
Hora de captación:	10:00	Hora de recepción:	08:00
Responsable de captación:	Rubén Castañeda (Personal del Laboratorio INFOM)		

RESULTADOS

ITEM	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	UNIDADES	RESULTADO
1	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/L DBO ₅	<10
2	Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L DQO	<10
3	Fósforo total	mg/L P	0.05
4	Nitrógeno Total	mg/L N	1.6
5	Color	Unidades Pt-Co	1.9
6	Sólidos en suspensión	mg/L	<10
7	Sustancias extraíbles con hexano (aceites y grasas)	mg/L	<2.0
8	pH	Unidades pH	7.0
9	Temperatura	°C	23
10	Materia Flotante	Presente / Ausente	Ausente

OBSERVACIONES

- ☒ El resultado de pH corresponde al medido en el Laboratorio.



Vo.Bo.

Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
 Ingeniero Químico, Colegiado 685
 Director del Laboratorio de Agua

Anexos no.2. Análisis físico, químico en el afluente del casco urbano.

Fuente: Laboratorio INFOM, 2014.



INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL -INFOM-
LABORATORIO DE AGUA
 11 Avenida "A" 11-67, zona 7, La Verbena, Guatemala
 Teléfono/fax: 2472-3499



INFORME DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL MUESTRA No. 1747-14

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Interesado:	MUNICIPALIDAD EL TUMBADOR	Cloro residual <i>in situ</i> (mg/L):	----
Punto de muestreo:	Captación	pH <i>in situ</i> (unidades):	----
Fuente:	Rio Ferol	Temperatura <i>in situ</i> :	----
Municipio:	El Tumbador	Técnica de preservación:	Refrigeración
Departamento:	San Marcos	Fecha de recepción:	16-Julio-2014
Fecha de captación:	15-Julio-2014	Hora de recepción:	08:00
Hora de captación:	10:00		
Responsable de captación:	Rubén Castañeda (Personal del Laboratorio INFOM)		

RESULTADOS

ITEM	PARÁMETRO BACTERIOLÓGICO	RESULTADO	UNIDADES
1	Grupo Coliforme Fecal	7000	NMP/100 mL ⁽¹⁾
2	Grupo Coliforme Total	7000	NMP/100 mL ⁽¹⁾

(1) Número más probable en 100 ml de muestra

OBSERVACIONES

- ☒ El examen de los grupos Coliforme Total y Coliforme Fecal se realizó a través del Método de Fermentación en tubos por diluciones múltiples.



William Estrada Vargas
 Químico Biólogo, Colegiado 2241
 Supervisor Microbiológico



Jorge Mario Estrada Asturias
 Ingeniero Químico, Colegiado 685
 Director del Laboratorio

Anexos no. 3. Informe de análisis bacteriológico en afluente del casco urbano.

Fuente: Laboratorio INFOM, 2014.

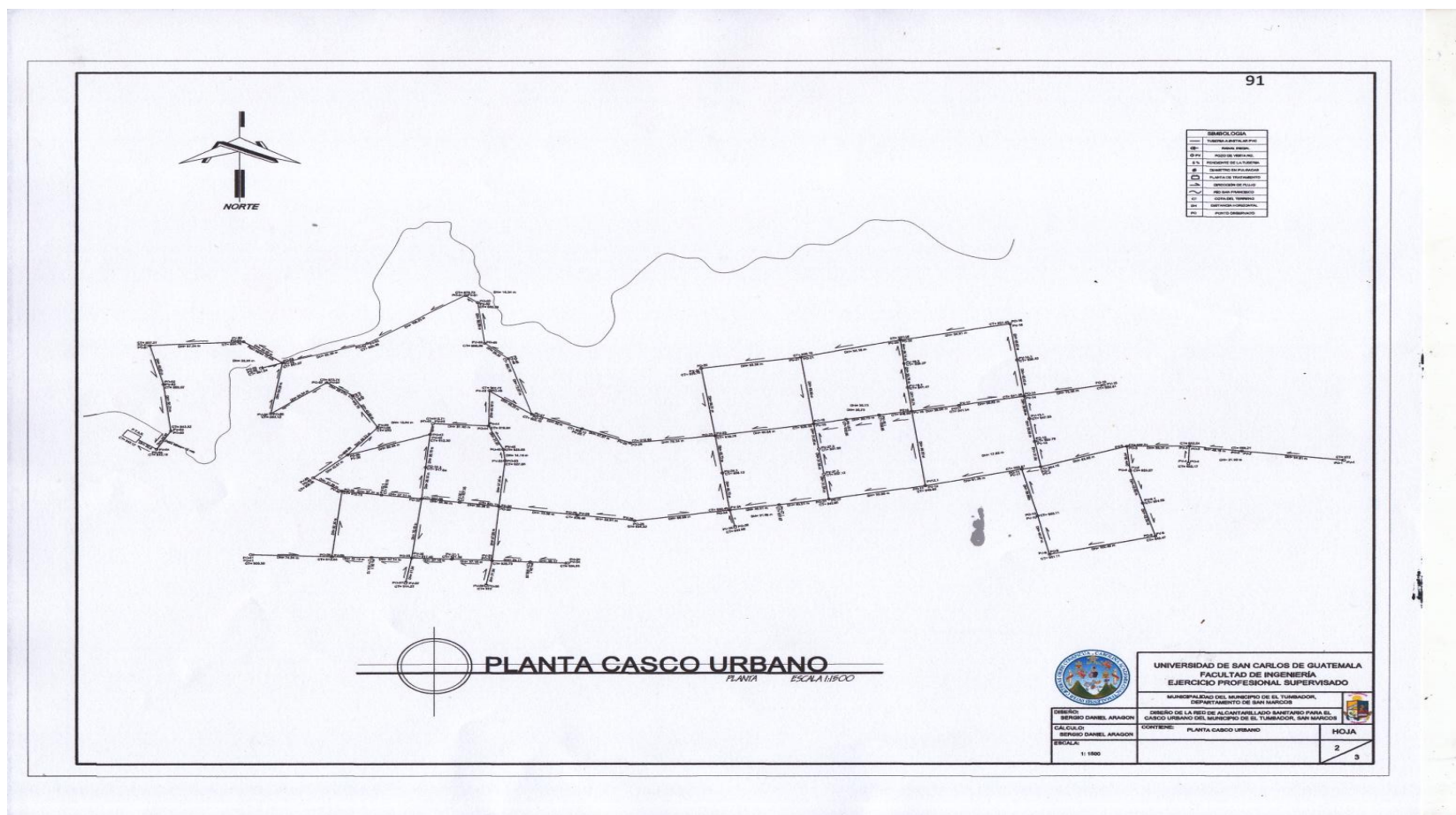
GLOSARIO

-Según el acuerdo gubernativo 236-2006, en su capítulo 4, define lo siguientes términos:

- a. AFLUENTE: el agua captada por un ente generador.
- b. AGUAS RESIDUALES: las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
- c. AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL: las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.
- d. AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO: las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.
- e. ALCANTARILLADO PLUVIAL: el conjunto de tuberías, canalizaciones y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas de lluvia.
- f. ALCANTARILLADO PÚBLICO: el conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.
- g. CARACTERIZACIÓN DE UNA MUESTRA: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.
- h. CARACTERIZACIÓN DE UN EFLUENTE O UN AFLUENTE: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos.
- i. CARGA: el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.

- j. CAUDAL: el volumen de agua por unidad de tiempo.
- k. COLIFORMES FECALES: el parámetro que indica la presencia de
- l. contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.
- m. CUERPO RECEPTOR: embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.
- n. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.
- o. DILUCION: el proceso que consiste en agregar un volumen de agua con el propósito de disminuir la concentración en un efluente de aguas residuales.
- p. EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES: las aguas residuales descargadas por un ente generador.
- q. ENTES GENERADORES: la persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.
- r. ENTES GENERADORES EXISTENTES: los entes generadores establecidos previo a la vigencia del presente Reglamento.
- s. ENTES GENERADORES NUEVOS: los entes generadores establecidos posteriormente a la vigencia del presente Reglamento.
- t. ESTABILIZACIÓN DE LODOS: el proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final.

- u. EUTROFIZACIÓN: el proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.
- v. HUMEDAL: el sistema acuático natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en remanso y de poca profundidad.
- w. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.
- x. SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES: aquellos que, de acuerdo con el Código Municipal, prestan las municipalidades directamente o los concesionan y que generan aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas.



Plano de alcantarillado público del casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.



Plano de Densidad de vivienda en el casco urbano del municipio de El Tumbador, San Marcos.

Fuente: DMP, 2014.

Cuadro 2. Dimensionamiento de rejas.

Parámetro de diseño	Cantidad	Dimensional
Número de unidades	2	
Caudal de diseño		Caudal máximo
Espesor de barras	0.006	Metros (1/4)
Separación de barras	0.0254	Metros (1/2")
	0.0125	Metros (1")
Velocidad de paso	0.60	Metros /segundo
Pendiente del canal	1.00 (real) 0.6 (teórica)	Porcentaje
Perdida de carga	50	Porcentaje

Fuente: autor, 2014.**Cuadro 3. Parámetros de diseño de By-pass.**

Parámetro de diseño	Cantidad	Dimensional
Número de unidades	1	
Ancho	0.50	Metros
Caudal de diseño		Caudal máximo

Fuente: autor, 2014.**Cuadro 4. Parámetros de diseño del desarenador.**

Parámetro de diseño	Cantidad	Dimensional
Número de unidades	2	
Tipo de desarenador		Flujo ascendente
Caudal de diseño		Caudal máximo
Ancho	0.50	Metros
Diámetro de partículas	>0.20	Milímetros
Velocidad de flujo	0.30	Metros/segundo
Tasa de aplicación	50	Metro cubico/metro segundo/habitante
Material retenido asumido	30	Litros cada mil habitantes
Volumen de tolva	0.50	Metros cúbicos

Fuente. Autor, 2014.

Cuadro 5. Parámetros de diseño de medidor de caudal.

Parámetro	Cantidad	Dimensional
Unidades	2	
Tipo		Vertedero sutro

Fuente: autor, 2014.**Cuadro 6. Parámetros de diseño de grasas.**

Parámetro	Cantidad	Dimensional
Números de unidades	1	
Caudal de diseño		Caudal máximo
Tiempo de retención	5	Minutos
Carga superficial	4	Litros/segundo

Fuente: autor, 2014.**Cuadro 7. Parámetros de diseño de tanque Imhoff.**

Parámetros	Cantidad	Dimensional
Número de unidades	2	
Caudal de diseño		Caudal máximo
Eficiencia esperada	50	Porcentaje
	60	Porcentaje
	15	porcentaje
Periodo de retención	2.50	Horas
Relación largo/ancho	4/1	
Carga por unidad de superficies	20	Metros cúbicos/ metros cuadrados/día
Ancho de ventilación de gases	30	Porcentaje de área
Tiempo de digestión de lodos	48	Días

Fuente: autor, 2014.

Cuadro 8. Parámetros de diseño de filtro percolador.

Parámetro	Cantidad	Dimensional
Número de unidades	2	
Caudal de diseño		Caudal máximo
Eficiencia esperada		
DBO	80	Porcentaje
Sólidos sedimentables	80	Porcentaje
Tipo de filtro sin recirculación		
Clase de filtro		Alta carga
Medio filtrante piedra volcánica		
Diámetro de medio filtrante	0.10	Metros
Carga voluminosa	1.22	Kilogramo/metro cúbico
Carga hidráulica	0.75	Metro cubico/metro cuadrado/ hora

Fuente: autor, 2014.

Cuadro 9. Parámetros de diseño de Sedimentador (1er. Etapa).

Parámetro	Cantidad	Dimensional
Número de unidades	2	
Caudal de diseño		Caudal máximo
Tipo de decantador Flujo ascensional		
Velocidad ascensional		
Caudal medio	0.70	Metro cúbico/metro cuadrado/hora
Caudal máximo	1.50	Metro cúbico/metro cuadrado/hora
Tiempo de retención		
Caudal medio	2.5	Horas
Caudal máximo	1.5	Horas
Largo / alto	1/5	
Largo ancho	1/2	
Carga de vertedero	13.50	Metro cúbico/hora
Largo de vertedero	2.00	Metros

Fuente: autor, 2014.

Cuadro 10. Parámetros de diseño de digestor de lodos.

Parámetro	Cantidad	Dimensional
Número de unidades	1	
Tipo		Circular
Clase de digestor sin calentamiento		
Temperatura de diseño	20°	Grados
Periodo de digestión	45	Días

Fuente: autor, 2014.**Cuadro 11. Parámetros de diseño de secado de lodos.**

Parámetro	Cantidad	Dimensional
Número de unidades	2	
Área total requerida	150.00	Metros cuadrados
Factor de área por habitante	0.075	Metro cuadrado / habitante

Fuente: autor, 2014.