

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
NEGRAS PARA COLONIA LOS ÁNGELES EN EL CANTÓN  
PLANES DE RENDEROS, SAN SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**GUZMÁN GUERRERO, JOSÉ GABRIEL**

**TRIGUERO LEMUS, WILLIAM ALEJANDRO**

**ZALDIVAR REYES, ASTRID NATALIA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2020

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR INTERINO:

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

DIRECTORA:

**INGRA. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Título:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS  
PARA COLONIA LOS ÁNGELES EN EL CANTÓN PLANES DE  
RENDEROS, SAN SALVADOR**

Presentado por:

**GUZMÁN GUERRERO, JOSÉ GABRIEL**

**TRIGUERO LEMUS, WILLIAM ALEJANDRO**

**ZALDIVAR REYES, ASTRID NATALIA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. FERNANDO TEODORO RAMIREZ ZELAYA**

SAN SALVADOR, MARZO 2020

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios.**

Porque tu amor y tu bondad hacia mi han sido inmensurables.

### **A mis padres.**

Todos mis triunfos se los debo a ustedes, a todos y cada uno de sus esfuerzos por hacerme una mejor persona.

Mamá, Norma del Carmen Reyes Rosa (Q.E.P.D.), por el tiempo que estuviste conmigo guiándome y llenándome de tu infinito amor y comprensión, por permanecer a mi lado en todo momento.

Papá, Víctor Roberto Zaldívar, por tu inmenso apoyo y amor, por tus experiencias, conocimientos y consejos compartidos.

### **A mis hermanas.**

Por lo que representan para mí, por ser mi más grande inspiración.

### **A mis abuelitos y tías.**

Por su cariño y orientación.

**Astrid Zaldívar.**

Agradezco primero a Dios por haberme dado la fuerza y voluntad para poder seguir adelante durante los momentos más difíciles de mi carrera, por haber iluminado mi camino y haberme cuidado durante todos estos años que he estado lejos de mi hogar.

A mi hermano Elmer Guzmán y a mi papá Salvador Guzmán por haber confiado siempre en mí a pesar de que hubo momentos en los que yo mismo deje de hacerlo. Agradezco especialmente a Valentina Guerrero, mi madre, que sacrificó muchas cosas para poder darme las oportunidades que ella no tuvo, te amo mamá.

A Jacqueline Díaz que siempre estuviste en los momentos difíciles y siempre me apoyaste cuando más lo necesitaba, eres como una hermana para mí. Gracias por todo.

A mi más que amigo, César Najarro porque a pesar de lo difícil que puedo llegar a ser, nunca te rendiste conmigo y me apoyaste durante este proceso y en muchos otros aspectos de mi vida. Gracias por todo.

**Gabriel Guzmán.**

A mis padres, Gloria Evelyn Lemus, Williams Trigueros y mi hermana Evelyn Marcela Trigueros que en ningún momento me dejaron de apoyar en todo el recorrido de mi vida y siempre me dan consejos de cómo actuar en las diferentes situaciones que se presentan; Siempre creen en mí y que puedo llegar a superarme en todos los aspectos de mi vida.

A mi familia paterna y materna que siempre estuvieron cerca de mí apoyándome y animándome a nunca rendirme por difícil que parecieran las cosas.

A mis amigos “Los de Siempre” que se han convertido casi en una segunda familia para mí, que siempre me apoyaron y sé que se pude contar con ellos en momentos de felicidad y de dificultad, muchas gracias por todo.

A mis compañeros de tesis que, aunque pasamos algunos momentos difíciles, supimos cómo superarlo y lograr culminar nuestras metas.

A nuestro asesor de trabajo de graduación por siempre estar con la disposición de ayudarnos y a la ONG que nos apoyó en nuestro trabajo de graduación.

## **RESUMEN**

El tratamiento de las aguas negras en El Salvador es deficiente y hasta inexistente en la mayor parte del territorio, especialmente en las zonas fuera del área urbana. Existe falta de infraestructura que cumpla con los requisitos necesarios para conducir los volúmenes de aguas negras actuales y muchas comunidades no tienen acceso a ningún tipo de infraestructura. Para hacer frente a este déficit se hace necesaria la implementación de nuevas tecnologías que sean más eficientes y que puedan reducir la contaminación que tienen ríos, lagos y otros cuerpos de agua.

Teniendo en mente esto, en este trabajo se abordan una serie de tecnologías que pueden ser una solución a esta problemática y que pueden ser aplicadas no sólo en grandes comunidades, sino que pueden ser implementadas individualmente, según sean los requerimientos o las condiciones del terreno.

Enfocándonos en la colonia los Ángeles y teniendo en consideración las necesidades que hay en la colonia, se analizan las tecnologías y de ellas se elige una que es la que puede responder a los requerimientos.

Después de tener en cuenta todas las consideraciones necesarias se recomienda el uso del Tema de manera individual y como una opción alterna se recomienda también el uso de la fosa séptica y que las autoridades municipales se sumen en términos económico y también en la sensibilización de las comunidades para la implantación de estas tecnologías y de otras que se enfoquen en el cuidado del medio ambiente.

## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>1. GENERALIDADES DEL USO DE AGUA</b> .....	<b>4</b>
1.1 GENERALIDADES DEL USO DEL AGUA A NIVEL MUNDIAL .....	4
1.1.1 <i>Generalidades del Uso del Agua en El Salvador</i> .....	6
1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SALVADOR.....	9
1.3 ACTUALIDAD DE LAS AGUAS NEGRAS EN EL SALVADOR .....	13
1.3.1 <i>Sistema de Alcantarillado en El Salvador</i> .....	14
1.3.2 <i>Tratamiento Actual de las Aguas Negras en la Zona Urbana de San Salvador</i> .....	18
1.4 ENFERMEDADES CAUSADAS POR LA MALA UTILIZACIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS .....	19
1.4.1 <i>Información Estadística Sobre Muertes por Diarrea en El Salvador</i> .....	23
1.5 PERFIL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS.....	24
<b>2. GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b> .....	<b>28</b>
2.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	28
2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	32
2.2.1 <i>Tanque Séptico-Filtro Anaerobio</i> .....	32
2.2.2 <i>Tanque Séptico</i> .....	33
2.2.3 <i>Filtro Anaerobio</i> .....	34
2.2.4 <i>Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial o de Láminas Filtrantes</i> .....	35
2.2.5 <i>Reactor UASB</i> .....	37
2.2.6 <i>Tanque de Evapotranspiración</i> .....	39
2.2.7 <i>Reactor de Biogás</i> .....	42
2.3 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	46
2.4 BIORREACTOR DE MEMBRANA.....	58

<b>3.</b>	<b>MUESTREO DE AGUAS NEGRAS.....</b>	<b>62</b>
3.1	ASPECTOS GENERALES DEL MUESTREO.....	62
3.2	TIPOS DE MUESTRAS .....	63
3.3	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO .....	64
	3.3.1 <i>Acciones Previas</i> .....	65
	3.3.2 <i>Recolección de Muestras</i> .....	66
3.4	PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN, PRESERVACIÓN Y CUSTODIA DE MUESTRAS.....	70
	3.4.1 <i>Identificación de Muestras</i> .....	70
	3.4.2 <i>Bitácora de Campo</i> .....	71
	3.4.3 <i>Recipientes Para la Recolección de Muestras</i> .....	71
	3.4.4 <i>Preservación de Muestras</i> .....	72
	3.4.5 <i>Cadena de Custodia de Muestras</i> .....	73
3.5	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DEL MUESTREO .....	73
3.6	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO. ....	74
	3.6.1 <i>Longitud de Mezcla</i> .....	76
<b>4.</b>	<b>MUESTREO DE AGUAS NEGRAS EN COLONIA LOS ÁNGELES EN LOS PLANES DE RENDEROS.....</b>	<b>79</b>
4.1	RECOPIACIÓN DE MUESTRAS .....	79
4.2	CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS APLICADA A LA COLONIA LOS ÁNGELES EN LOS PLANES DE RENDEROS .....	81
	4.2.1 <i>Discusión de Resultados de Análisis de Aguas Negras en Colonia Los Ángeles</i> .....	84
4.3	SELECCIÓN DE PROPUESTAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN COLONIA LOS ÁNGELES .....	86
<b>5.</b>	<b>COSTOS Y REQUERIMIENTOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.....</b>	<b>89</b>

5.1 CRITERIOS TÉCNICOS SANITARIOS A CONSIDERAR EN EL OTORGAMIENTO DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO INDIVIDUALES DE AGUAS NEGRAS .....	89
5.1.1 Información Adicional Sobre la Hidrogeología.....	92
5.1.2 Mantenimiento de Sistemas Individuales de Tratamiento de Aguas Negras.....	94
5.2 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS .....	96
5.2.1 Fosa Séptica con Filtro Anaerobio .....	97
5.2.2 TEVAP. ....	99
5.3 COMPARATIVO DE COSTOS. ....	100
5.4 MATRIZ DE COMPARACIÓN.....	101
<b>6. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN LA COMUNIDAD. ....</b>	<b>105</b>
6.1 PRINCIPALES DESECHOS GENERADOS POR EL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN. ....	105
6.2 ALTERNATIVAS PARA DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS.....	107
6.3 PARTICIPACIÓN DE ENTIDADES GUBERNAMENTALES Y HABITANTES DE LA COMUNIDAD .....	110
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>112</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>122</b>
ANEXO 1: CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS .....	122
ANEXO 2: FORMATO DE ETIQUETAS DE MUESTRAS.....	123
ANEXO 3: TABLA DE PRESERVACIÓN DE MUESTRAS .....	124
ANEXO 4: RESULTADOS DE ANÁLISIS REALIZADOS A LAS AGUAS NEGRAS DE LA COLONIA LOS ÁNGELES, PLANES DE RENDEROS.....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Procesos y Operaciones Unitarias de los Tratamientos de Aguas Residuales .....	12
Tabla 1.2: Municipios con sistema de alcantarillado a nivel nacional a 2016.....	17
Tabla 1.3: Niveles máximos de contaminantes permisibles en El Salvador.....	26
Tabla 0.4: Frecuencia mínima de muestreo.....	27
Tabla 2.1: Datos de sistema tanque séptico .....	33
Tabla 2.2: Parámetros del filtro anaerobio en operación para volúmenes.....	35
Tabla 2.3: Datos del humedal artificial de flujo subsuperficial .....	36
Tabla 2.4: Parámetros de diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial .....	38
Tabla 2.5: Eficiencia del sistema combinado para el tratamiento de aguas residuales .....	38
Tabla 2.6: Especificaciones de la membrana de filtración .....	61
Tabla 4.1: Parámetros in situ de aguas negras en quebrada Huiza.....	83
Tabla 4.2: Parámetros físico-químicos de aguas negras en quebrada Huiza .....	84
Tabla 5.1 Análisis Económico Fosa Séptica con Filtro Anaerobio.....	97
Tabla 5.2 Análisis Económico TEvap .....	100
Tabla 5.3 Comparativo de costos de Fosa Séptica y TEvap .....	101
Tabla 5.4 Ponderación de aspectos a tener en cuenta.....	101
Tabla 5.5 Calificación de cada sistema de tratamiento de aguas negras .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Distribución del agua en el planeta.....	5
<b>figura 1.2:</b> Cobertura en El Salvador del servicio de agua potable y alcantarillado.....	14
<b>Figura 1.3:</b> Incorporación de nuevos servicios de acueductos y alcantarillados por región en 2016 .....	16
<b>Figura 2.1:</b> Sistema de tratamiento de aguas contaminadas usado en la antigüedad. ....	29
<b>Figura 2.2:</b> Esquema del tratamiento de aguas para el consumo humano .....	30
<b>Figura 2.3:</b> Tanque Séptico-Filtro Anaerobio.....	32
<b>Figura 2.4:</b> Filtro anaerobio .....	34
<b>Figura 2.5:</b> Humedal artificial de flujo subsuperficial o de láminas filtrantes .....	35
<b>Figura 2.6:</b> Diagrama esquemático de tratamiento de aguas residuales .....	37
<b>Figura 2.7:</b> Vista transversal del sistema TEvap.....	39
<b>Figura 2.8:</b> Sistema TEvap .....	40
<b>Figura 2.9:</b> Reactor de Biogás.....	42
<b>Figura 2.10:</b> Esquema de proceso de lagunas aireadas .....	55
<b>Figura 2.11:</b> Esquema de proceso de lodos activados.....	56
<b>Figura 2.12:</b> Secuencia completa de tratamientos de aguas residuales domésticas .....	58
<b>Figura 2.13:</b> Diagrama descriptivo de planta de tratamiento de aguas negras. ....	59
<b>Figura 3.1:</b> Localización de los puntos de muestreo en una corriente o un canal.....	76

<b>Figura 3.2:</b> Tipos de descargas de aguas residuales en una corriente .....	77
<b>Figura 4.1:</b> Ubicación de la colonia Los Ángeles, Planes de Renderos, San Salvador.....	79
<b>Figura 4.2:</b> Condiciones del agua en quebrada Huiza.....	80
<b>Figura 4.3:</b> Coordenadas geográficas del punto de muestreo .....	81
<b>Figura 4.4:</b> Toma de muestras de aguas negras en quebrada Huiza.....	83
<b>Figura 5.1</b> Nivel Freático .....	90
<b>Figura 5.2</b> Mapa Hidrogeológico de El Salvador.....	91
<b>Figura 5.3</b> Esquema para fosa séptica. ....	98
<b>Figura 5.4</b> Esquema de TEvap .....	99

## INTRODUCCIÓN

En El Salvador según el Reglamento Especial de Aguas Residuales (Decreto N°39,2000), se define agua residual como el agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes y vertidas a un cuerpo receptor; estas aguas pueden clasificarse en dos tipos: Ordinario y Especial. El agua residual de tipo ordinario es aquella generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares. Por otra parte, el agua residual de tipo especial es la generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el agua residual que se genera en la colonia Los Ángeles, en el cantón los Planes de Renderos y que proviene de la zona residencial terminando en la quebrada aledaña a la colonia, puntualmente, la quebrada Huiza que pertenece a los municipios de San Salvador, Panchimalco y San Marcos. Estas aguas residuales pueden comprender aguas negras, aguas grises y aguas industriales que pueden contener químicos peligrosos, metales pesados y microorganismos que requieren un tratamiento especial antes de ser vertidos a un cuerpo receptor.

Debido a que, en la zona de estudio no hay industrias, las aguas residuales son principalmente aguas grises y aguas negras considerándose entonces como aguas residuales de tipo ordinario. El tratamiento de las aguas residuales se centra entonces, en evitar que estas aguas (aguas negras) puedan generar un foco de enfermedades para los habitantes y los turistas que visitan la zona como

ejemplo infecciones parasitarias (hepatitis, cólera y tifoidea) ya que se producen mediante el contacto directo con las aguas negras.

Otro punto importante, es la contaminación que se genera por la descarga de aguas negras sin ser tratadas previamente a su disposición. El cuerpo receptor es el más afectado al verse reducidos los niveles de oxígeno disuelto en agua, el aumento de los sólidos y la contaminación de la vida acuática con sustancias tóxicas que posteriormente pueden pasar a los organismos superiores por medio de la bio-acumulación en la cadena alimenticia.

El tratamiento de las aguas negras puede ser por medio de sustancias químicas o por medio de procesos biológicos, cada uno con sus ventajas y desventajas, en el país es muy común ver plantas de tratamientos de aguas con base en tratamientos biológicos que, operados adecuadamente, pueden generar aguas con las condiciones adecuadas para descargarlas hacia el cuerpo receptor. Estos tratamientos biológicos son en un inicio complicados, pero al alcanzar la estabilidad en el proceso, pueden mantenerse en el tiempo y ser más asequibles que los métodos químicos.

## OBJETIVOS

### Objetivo General:

- Diseñar un sistema integral de tratamiento de aguas negras para la disminución de la contaminación hacia la quebrada Huiza que recorre la colonia Los Ángeles en el cantón Planes de Renderos.

### Objetivos Específicos:

1. Diagnosticar el problema de aguas negras, caracterizando el agua descargada a la quebrada Huiza, en la zona donde hay un mayor impacto ambiental.
2. Evaluar alternativas con parámetros previamente establecidos en la caracterización del agua residual, que brinden una posible solución a la problemática.
3. Diseñar una propuesta que brinde una solución integral para el problema de aguas negras en la colonia Los Ángeles, cantón Planes de Renderos.
4. Desarrollar un estudio de factibilidad de las alternativas más viables para la disminución de la contaminación por descarga de aguas negras en la quebrada adyacente a la colonia Los Ángeles.

## **1. Generalidades del uso de agua.**

En el presente capítulo se abordan aspectos importantes del tratamiento de aguas, la importancia que tiene para la prevención de enfermedades graves y cómo se ven afectadas las comunidades cuando no cuentan con el servicio necesario de tratamiento de aguas negras, presentando para este fin, las estadísticas que posee el sistema de gestión de El Salvador y el estado actual del mismo.

### **1.1 Generalidades del Uso del Agua a nivel mundial**

El agua se encuentra en el epicentro del desarrollo sostenible y es una pieza fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es el vínculo vital entre la sociedad y el medioambiente (ONU, 2018).

El agua forma parte del 70% de la superficie del planeta Tierra, sin embargo, solo el 1% de esta se encuentra disponible para el consumo humano (agua dulce). El resto, es agua salada que se encuentra distribuida en los diferentes océanos alrededor del mundo y agua dulce almacenada en las capas de hielo que conforman los polos o en lugares totalmente inaccesibles para el ser humano (atmósfera, acuíferos subterráneos, glaciares, etc.) como se muestra en la figura 1.1. Mientras que la población y la demanda de agua dulce crece continuamente, el abastecimiento de esta se mantiene constante y a pesar de que, de acuerdo con el ciclo de vida del agua, esta incesantemente regresa a la Tierra, no siempre retorna al mismo lugar ni en igual cantidad ni calidad.

Durante la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) en julio de 2010 se reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento en donde todos los seres humanos deben tener acceso a

una cantidad de agua suficiente para el uso doméstico y el personal (el cual oscila entre los 50 y 100 litros por persona al día) y que este, sea de forma segura, aceptable y asequible; es decir que el costo del agua no debería de superar el 3% de los ingresos en cada uno de los hogares de la población mundial (ONU, 2010).

Localización	Volumen, 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	% del total
Área continental:		
Lagos	125	0,009
Lagos salados y mares continentales	104	0,008
Ríos (volumen promedio instantáneo)	1,12	0,0001
Mezclada con el suelo	67	0,005
Agua subterránea (a una profundidad cercana a los 4000 m)	8 350	0,61
Témpanos de hielo y glaciares	<u>29 200</u>	<u>2,14</u>
<b>Total de agua continental</b>	<b>37 800</b>	<b>2,8</b>
Disuelta en la atmósfera (como vapor de agua)	13	0,001
Océanos	<u>1 320 000</u>	<u>97,3</u>
<b>Total de agua en la tierra</b>	<b>1 360 000</b>	<b>100</b>

*Figura 1.1: Distribución del agua en el planeta.*

Fuente: Arellano y Guzmán, 2011

En la actualidad, 2,3 billones de personas carecen del beneficio de instalaciones básicas de saneamiento, como baños o letrinas. Según el Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento, al menos 1800 millones de personas en todo el mundo beben agua que no está protegida contra la contaminación de las heces. Un número aún mayor bebe agua que se distribuye a través de sistemas vulnerables a la contaminación.

En 2017, de acuerdo con las cifras de las Naciones Unidas, 2100 millones de personas no poseían acceso a servicios de agua potable de forma segura; 4500 millones de personas carecían de servicios de saneamientos gestionados de forma segura y la escasez de agua ya afectaba a cuatro

de cada 10 personas, tomando en cuenta que la población mundial se calculaba para ese año, en 7000 millones (ONU, 2017).

Para América Latina se calcula que el 77% de la población es urbana y que, en la mayoría de los países que le conforman, la falta de agua potable y saneamiento es uno de los principales problemas a nivel social que afectan sobre todo a aquellos países que poseen una concentración significativa de hogares en los barrios marginales.

Las Naciones Unidas en sus Asambleas abordan la crisis mundial del agua que se deriva de un abastecimiento insuficiente de esta y una creciente demanda para lograr satisfacer las necesidades humanas, comerciales y agrícolas y plantean objetivos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el cual, el objetivo número 6 propone “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”.

En El Salvador se realizan constantes esfuerzos por darle cumplimiento a este objetivo, pero todavía existen vacíos como una Ley Integral del Agua que permita garantizar disposiciones claras para salvaguardar el acceso y preservación de tan importante líquido.

### **1.1.1 Generalidades del Uso del Agua en El Salvador**

En el país, los recursos hídricos se emplean para una variada gama de actividades que provienen de la agricultura bajo riego, la agroindustria, el sector de la industria manufacturera, la pesca y la acuicultura, abastecimiento de los centros urbanos, consumo de los habitantes del área rural, para la generación de energía eléctrica, recreación y turismo, entre otros.

El agua extraída del territorio es orientada principalmente para las actividades agropecuarias, alcanzando de esta manera el 62% del total del recurso hídrico que se extrae, para el consumo de

los hogares se orienta el 27% y la industria requiere el 11% (FAO,2016). El 30% de estas extracciones se realizan de aguas subterráneas, mientras que el 70% de aguas superficiales. Cabe destacar que, en El Salvador, no se cuenta con información actualizada sobre la demanda del agua, estudio que le correspondería al Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), organismo regido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Los usos actuales de extracción de agua en El Salvador se llevan a cabo con bajos niveles de eficiencia. Actualmente, en el riego se tiene un nivel de eficiencia entre el 20 por ciento y el 30 por ciento. Los acuíferos de la cuenca del Río Lempa son los principales proveedores de agua subterránea (FAO, 2016).

La agricultura salvadoreña es uno de los sectores que más utiliza agua, emplea unas 860 mil hectáreas de tierras para diversas actividades, de las cuales, 44 mil se cultivan bajo riego, representando un 5.3% de tierras cultivadas (FAO, 2016).

La agroindustria del azúcar es una de las actividades que utiliza grandes volúmenes de agua, es por ello por lo que los ingenios azucareros se localizan en las orillas de los ríos más importantes del país, contaminando indiscriminadamente el agua; la producción de bienes del sector de la industria manufacturera es muy diversa, predomina la industria de alimentos resultando bastante contaminante, sobre todo cuando no se implementan tecnologías limpias. Estas industrias utilizan agua como insumo, pero también se usa en el enfriamiento de calderas y motores; limpiezas de equipos, instalaciones de maquinaria y utensilios (FUNDE, 2006).

Históricamente El Salvador ha utilizado los flujos superficiales provenientes de las cuencas hidrográficas de los países vecinos, para su aprovechamiento en los embalses hidroeléctricos y otros usos bajo ningún convenio internacional. Actualmente, existe la preocupación a nivel de

sociedad civil y grupos ambientalistas, sobre los proyectos mineros que se tienen en la zona de Asunción Mita en Guatemala y otros en Honduras, que traerían graves consecuencias debido a la contaminación del río Lempa, el principal río del país que provee de múltiples beneficios sociales, económicos, productivos y de sustentación ecológica. (FAO, 2015)

El Salvador cuenta con 10 principales regiones hidrográficas y se identifican con el nombre de los principales ríos del país. La región más importante es la del río Lempa con una extensión de 10,082 km<sup>2</sup>, la cual, representa el 48% del territorio nacional (MARN, 2017).

De acuerdo con el Informe de calidad del agua de los ríos de El Salvador, realizado por el MARN en el 2017, se realiza una calificación de la calidad de agua de los ríos, anualmente, con relación a su condición general para permitir el desarrollo de la vida acuática, todo esto mediante el Índice de Calidad de Agua General (ICA) (MARN, 2017).

El análisis muestra que el 59% del agua se encuentra en estado regular y por lo tanto limita el desarrollo de la vida acuática, un 9% es mala y restringe definitivamente el desarrollo de cualquier especie acuática y solamente un 32% del agua en el país se clasifica como buena y permite o facilita el desarrollo de la vida acuática.

Estos resultados indican que solamente 12 de los 117 sitios evaluados a escala nacional cuentan con la calidad de agua necesaria para ser utilizada en actividades de riego sin restricciones, lo cual equivale al 10% de los sitios evaluados; 96 de estos sitios cuentan con calidad de agua suficiente para ser utilizada en consumo de especies de producción animal; pero solamente 7 sitios cuentan con la calidad de agua necesaria para ser utilizada en actividades recreativas sin restricción, el restante, un 94% de los sitios no cumple debido a que los valores no se encuentran dentro de la

norma. Finalmente, ninguno de los sitios cumple con la aptitud de uso para agua cruda a potabilizar por métodos convencionales, evaluados a través de las guías de calidad.

La cobertura urbana de agua potable de acuerdo con la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) en el año 2016 logró el 96.6%, de los cuales 91.1% representa conexiones domiciliarias y el 5.5% las de fácil acceso. Por otra parte, en el área rural la cobertura de agua potable representó el 42.7%, con 12.9% en conexiones domiciliarias y 29.8% a través de cantareras y pilas públicas. (ANDA,2016)

Con los datos anteriores se podría establecer que, en el país, en la actualidad más de un millón de habitantes que residen en zonas clasificadas como rurales o marginales no poseen un sistema de agua potable en sus hogares y que, para ellas, según el ICA establecido por el MARN, ninguna de las aguas que conforman las regiones hidrográficas del país, se encuentran con la aptitud de ser utilizadas siendo potabilizadas por cualquier método convencional.

Como resultado, cerca de un 15% de personas en El Salvador no cuentan con su derecho humano al agua y saneamiento y viven expuestos a contraer cualquier enfermedad de tipo gastrointestinal o respiratorio, debido a los riesgos que conlleva el consumir agua contaminada por microorganismos o de sustancias químicas que han sido descargadas a los cuerpos receptores por las industrias, complejos habitacionales y/o municipalidades que no cuentan con sistemas de tratamientos de agua en zonas aledañas ni con una adecuada gestión de desechos.

## **1.2 Tratamiento de Aguas Residuales en El Salvador**

La disponibilidad de agua que es apta para el consumo humano o para la reutilización en algún proceso productivo es reducida y en algunas veces escasa, este fenómeno forma lo que se conoce

como problemática del agua y es distinta en cada lugar del territorio salvadoreño.

Una de las medidas para afrontar esta problemática es prevenir la contaminación del agua que es provocada por los vertidos en cuerpos receptores, pero ya que esto es bastante complejo, se presenta otra opción viable para la reutilización de aguas contaminadas y esta es: el tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento de aguas se divide según el tipo de contaminante que se desee eliminar; existen dos tipos de agua, las cuales según la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a Cuerpo Receptor (NS013.49.01:09) se dividen en:

- a) Agua residual de tipo ordinario: es la generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de sanitarios, lavatorios, fregaderos, limpieza y otras similares.
- b) Agua residual de tipo especial: es la generada por actividades agroindustriales, hospitalarias y todas aquellas que no estén consideradas dentro del tipo ordinario.

Para el correcto tratamiento de las aguas residuales en El Salvador existen diferentes normativas y reglamentos que pueden utilizarse como referencia para darle cumplimiento a los parámetros tanto físicos como químicos que exige la legislación nacional; entre estos se encuentra la mencionada previamente, el decreto N° 39 que contiene el Reglamento Especial de Aguas Residuales, el decreto N° 50 que expresa el Reglamento Sobre la Calidad del Agua, El Control de Vertidos y Las Zonas de Protección, Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental y también la Norma para Regular Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario.

En todas estas normativas y reglamentos se expresa claramente que la salud de los habitantes es un bien público reconocido por la Constitución de la República y que, por lo tanto, deben

dictarse normas reglamentarias que eviten, controlen o reduzcan la contaminación de los recursos hídricos. Por lo tanto, la necesidad de utilizar estos instrumentos que permiten parametrizar la calidad del agua en el país es evidente.

Según el Reglamento Especial de Aguas Residuales en el tratamiento de aguas intervienen múltiples procesos y operaciones unitarias que constituyen los llamados tratamientos primario, secundario y terciario. Los cuales pueden identificarse al establecer el nivel de eliminación de contaminantes necesarios antes de reutilizar o verter a un cuerpo receptor (ver tabla 1.1).

**Pretratamiento:** Esta operación consiste en eliminar los sólidos gruesos y materiales que puedan dañar los equipos de los siguientes tratamientos que atravesara el agua residual. Como ejemplo se pueden citar la floculación para eliminar grasas y aceites o el desarenado para la eliminación de materia en suspensión.

**Tratamiento primario:** En el tratamiento primario se eliminan una cantidad considerable de los sólidos en suspensión y materia orgánica presente en el agua residual. Este tratamiento contempla el uso de operaciones físicas como la sedimentación y la decantación para eliminar los sólidos flotantes.

**Tratamiento secundario:** La materia orgánica remanente que no se pudo eliminar en el tratamiento primario es trata con procesos biológicos y químicos, tales como los indicados en la Tabla 1.1.

**Tratamiento terciario:** En este tratamiento se emplean combinaciones adicionales de procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes, tales como: nitrógeno y fosforo cuya reducción con el tratamiento secundario es insuficiente.

Tabla 1.1: Procesos y Operaciones Unitarias de los Tratamientos de Aguas Residuales

Tratamiento	S.S.	DBO	Patógenos	S. disueltos	Nutrientes
<b>PRIMARIO</b>					
Fosa séptica	40-60%	50%	10-15%		
Tanques Imhoff	50-60%	50%	5-15%		
Sedimentador / digestor	50-60%	50%	10-15%		
Lagunas aerobias	50-80%	60%	30-40%		
Lagunas facultativas	60-90%	80%	40-90%		
<b>SECUNDARIO</b>					
Filtros percoladores	90-100%	85%	85%	40-60%	5%
Fangos activados	90-100%	85%	85%	50-70%	5%
Zanjas de oxidación	90-100%	85%	85%	40-70%	10-30%
Filtros biológicos	80-100%	80%	80%	50-70%	
Irrigación superficial	100%	90%	90%	90-99%	10-70%
Irrigación subsuelo	100%	95%	95%	90-99%	10-80%
Infiltración subsuelo	100%	95%	95%	90-99%	0-80%
Lagunas aeróbicas	95-100%	95%	95%	90-99%	
Filtración en arena/ cloración	95-100%	95%	95%	40-70%	
<b>TERCIARIOS</b>					
Coagulación					50-99%
Zeolitas					50-90%
Intercambio de iones					80-99%

**Fuente:** Guerrero, Guzmán y Renderos, 2005

### **1.3 Actualidad de las Aguas Negras en El Salvador**

En los países de tercer mundo las principales enfermedades relacionadas a factores medio ambientales son la diarrea, infecciones de las vías respiratorias, traumatismos involuntarios y malaria; enfermedades que en los niños menores de cinco años representan un tercio de las enfermedades causadas por factores medioambientales y que están directamente relacionados con la insalubridad del agua y la contaminación del aire (MARN, 2013).

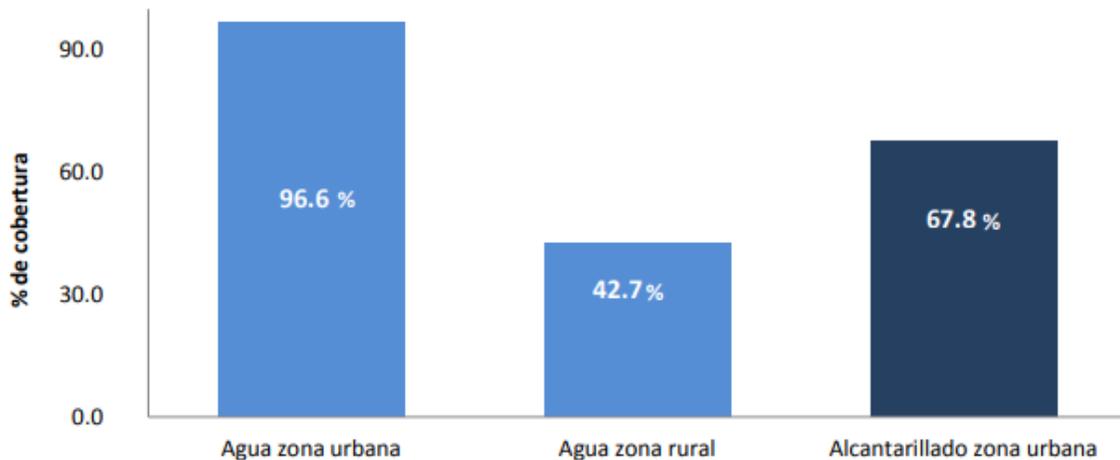
A lo largo de la historia en nuestro país el tratamiento de las aguas residuales domésticas ha consistido en la conducción de las aguas por medio de tuberías dentro de la casa hacia una alcantarilla (en el mejor de los casos) siendo bastante común que las aguas grises se liberen a las canaletas de la calle para llevarlas a una quebrada, un río o el cuerpo receptor más cercano. En algunas ocasiones este método es también usado incluso para las aguas negras que se conducen expuestas al aire libre hacia el cuerpo receptor (MARN, 2013). Esta práctica deja en evidente vulnerabilidad a las personas que habitan el lugar ya que, fácilmente pueden entrar en contacto directo con el agua contaminada y contagiarse de enfermedades gastrointestinales o de otro tipo, y claro, la contaminación de las fuentes de aguas que muchas veces son usadas por los lugareños para las distintas actividades del hogar o incluso para consumo directo.

Según la encuesta de hogares de propósitos múltiples realizada en el 2012 un 23.7% de los hogares rurales y un 12.6% de los hogares urbanos no contaban con acceso a agua potable y se abastecían de fuentes no seguras exponiendo de esta manera a una gran parte la población salvadoreña a enfermedades relacionadas a la contaminación del agua. Datos obtenidos por el Ministerio de Salud (MINSAL) en el 2011 revelan que la diarrea de origen infeccioso es la sexta causa de consultas en las unidades de salud y hospitales con más de 300 mil casos en todo el país,

los cuales incluyen parasitismo intestinal, fiebre tifoidea, paratifoidea y salmonelosis, enfermedades que están directamente ligadas a la contaminación hídrica.

### 1.3.1 Sistema de Alcantarillado en El Salvador

En nuestro país, las redes de agua potable han crecido en mayor magnitud que las redes de alcantarillado. Un 96.6% de la población urbana posee red de agua potable y solo un 67.8% tiene acceso a red de alcantarillado y en el caso de la población rural un 42.7% tiene acceso a agua potable y sobre el alcantarillado no se tienen datos (Ver figura 1.1) (ANDA, 2016). Esto deja un déficit en el alcantarillado de 28.8% con respecto a las aguas residuales urbanas y un porcentaje desconocido en el área rural lo que nos lleva de nuevo a que las personas buscan la manera de eliminar estas aguas y lo más viable es una canaleta en la calle o directo a una quebrada o río.



*Figura 1.2: Cobertura en El Salvador del servicio de agua potable y alcantarillado*

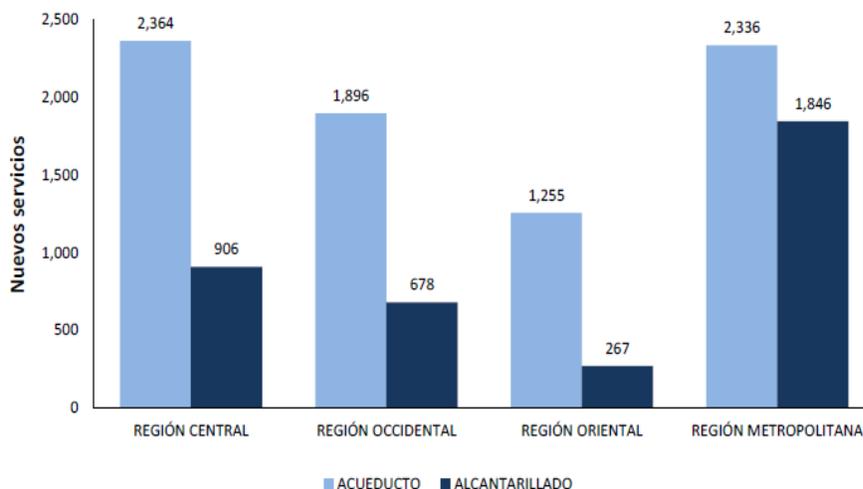
**Fuente:** ANDA, 2016

Para hacer frente a este problema se exigía la construcción de fosas sépticas o pozos de absorción, pero el abandono de las fosas sépticas las hizo poco funcionales y la construcción de pozos de absorción sin tener conocimiento de las capacidades de permeabilidad del suelo llevaron al rebalse de los sistemas y por ende se volvieron inservibles (MARN, 2011).

El desarrollo de los sistemas de alcantarillado sanitario (Ver figura 1.2) , está ligado directamente al avance de instituciones como el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y seguida de este, la ANDA, se tiene datos sobre los primeros sistemas de alcantarillado sanitario en el país, estos datan de 1940 cuando se comenzaron las primeras obras de alcantarillado sanitario con el apoyo del servicio interamericano de salud pública y que incluyó la construcción de una planta de tratamiento de aguas en Santa Tecla. Después de este esfuerzo no se hizo mucho durante 25 años debido en gran parte a que en ese entonces los niveles de contaminación del agua no eran tan altos como lo son actualmente.

La mayor parte de la red de alcantarillado sanitario y de aguas lluvias que posee el país data de 1960, año en el que se creó la ANDA. Sistema que trabaja con tubos de diámetros insuficientes para manejar los caudales que genera la creciente población en el país. A lo anterior podemos sumar que estas tuberías están hechas de concreto y debido a la constante actividad sísmica característica de la región, se generan fracturas en ellos, provocando el colapso de las tuberías y por consiguiente derrames y hundimientos en el terreno (MARN, 2013). Esto, hace necesario que se preste especial atención al alcantarillado obsoleto, que genera contaminación cuando este colapsa y libera el agua negra a las calles, además de los costos que se generan por la necesidad de la inmediata reparación de tubos y los daños provocados en el lugar. Otro punto importante es el de las inundaciones que se dan en invierno, debido a la falta de capacidad del sistema de

alcantarillado que se llena con las aguas lluvias y provoca también contaminación con el rebalse de las aguas negras que se mezclan con las escorrentías de las calles.



**Figura 1.3:** Incorporación de nuevos servicios de acueductos y alcantarillados por región en 2016

**Fuente:** ANDA, 2016

Puede observarse en el gráfico cómo se sigue desarrollando el servicio de agua potable, pero el sistema de alcantarillado sanitario está muy por detrás del anterior dejando siempre ese déficit en las aguas residuales generadas en las viviendas.

Debe enfatizarse también que la falta de planificación urbanística y de los mismos sistemas de alcantarillado juegan un papel determinante en la disponibilidad de estos haciendo que las empresas o comercios opten por un sistema de tratamiento individual que al pasar el tiempo es olvidado, descargando directamente las aguas al cuerpo receptor sin ningún tratamiento. Un gran obstáculo para solucionar este problema es la falta de financiamiento para la ampliación de la red de alcantarillado, para reparaciones y para el cambio de las redes ya obsoletas. (MARN, 2013).

Sumado a todo lo anterior se tiene el problema de alcantarillados mixtos, o sea sistemas de alcantarillados que en verano funcionan para el drenado de las aguas negras, pero en el invierno

también drenan las aguas lluvias. Este inconveniente hace muy difícil el diseño de una planta de tratamiento de aguas ya que para esto es crítico el caudal a tratar y es también lo que determina el costo de la planta de tratamiento.

En la tabla 1.2 se muestran los municipios del país que cuentan con sistemas de alcantarillado sanitario.

*Tabla 1.2: Municipios en El Salvador con sistema de alcantarillado a 2016*

No.	DEPARTAMENTO	ANDA	SISTEMAS DESCENTRALIZADOS	SUB-TOTAL (ANDA + DESCENTRALIZADOS)	MUNICIPIOS <sup>1/</sup> CON Y SIN SISTEMA DE ALCANTARILLADO	TOTAL MUNICIPIOS
1	AHUACHAPÁN	4	1	5	7	12
2	SANTA ANA	6	0	6	7	13
3	SONSONATE	7	1	8	8	16
4	CHALATENANGO	2	1	3	30	33
5	LA LIBERTAD	10	2	12	10	22
6	SAN SALVADOR	15	0	15	4	19
7	CUSCATLÁN	4	1	5	11	16
8	LA PAZ	8	1	9	13	22
9	CABAÑAS	2	1	3	6	9
10	SAN VICENTE	4	0	4	9	13
11	USulután	6	1	7	16	23
12	SAN MIGUEL	3	1	4	16	20
13	MORAZÁN	1	1	2	24	26
14	LA UNIÓN	3	0	3	15	18
	<b>TOTAL</b>	<b>75</b>	<b>11</b>	<b>86</b>	<b>176</b>	<b>262</b>

**Fuente:** ANDA, 2016.

Como puede observarse en la tabla anterior, no todos los municipios cuentan con sistemas de alcantarillado y en su mayoría, los que, si poseen, se encuentran en las ciudades principales de cada departamento mas no hay sistema de alcantarillado en las zonas rurales, sin embargo, este fenómeno afecta a las personas que viven en la zona urbana, aunque con una menor incidencia.

### **1.3.2 Tratamiento Actual de las Aguas Negras en la Zona Urbana de San Salvador**

Es de conocimiento de todos que toda descarga de agua a un cuerpo receptor debería tener un tratamiento previo para disminuir la carga orgánica del agua y ayudar a que el cuerpo receptor pueda degradar la materia orgánica que en él se descarga, pero en El Salvador el 95% de las descargas domésticas van a un cuerpo receptor sin ningún tratamiento previo (MARN, 2013) y aquellas aguas que salen de los escasos sistemas de tratamiento existentes no cumplen con los requisitos establecidos en las leyes vigentes.

Se estimó que en el río Achute las descargas de aguas residuales industriales representan el 12% mientras que las descargas domésticas representan el 80% del total de aguas descargadas en el río y sus afluentes (MARN, 2013). Esto deja en evidencia la importancia del tratamiento de las aguas residuales domésticas, el simple hecho de tratar estas aguas representaría una gran disminución en la contaminación de la mayoría de los ríos y cuerpos receptores de agua en el país.

En la cuenca del río Achute existen 18 plantas de tratamiento de diferentes urbanizaciones, 45 descargas directas sin tratamiento previo de colectores de diámetros que varían entre 8 y 12 pulgadas y ocho puntos de descarga directa de colectores de gran diámetro (15 a 84"). Asimismo, se identificaron 110 industrias, de las cuales, 40 no cuentan con permiso de funcionamiento (MARN, 2013).

#### **1.4 Enfermedades Causadas Por La Mala Utilización de las Aguas Negras**

Los urbanizadores, constructores de inmuebles y propietarios de parcelaciones habitacionales, no prevén o no dejan el espacio suficiente en el terreno para que se construyan los sistemas de tratamiento de las aguas residuales. Muchas familias que cuentan con sistemas de tratamiento hacen mal uso de éstos y descargan las aguas residuales directamente a la vía pública y cuerpos receptores de agua, incumpliendo las normativas vigentes (MINSAL, 2009). Se suma a lo anterior el poco interés por parte de Organismos Internacionales y organizaciones no gubernamentales en el apoyo técnico y financiero de proyectos a gran escala para el tratamiento de aguas residuales. Muchas familias no cuentan con los recursos económicos para instalar sistemas de tratamiento. (MINSAL, 2009)

Hay dos clases de aguas residuales de tipo ordinario: aguas negras o aguas residuales de los inodoros, y aguas grises, que son aguas residuales de todas las fuentes domésticas, excepto los baños. Aguas negras y aguas grises tienen características diferentes, pero ambas contienen contaminantes y agentes causantes de enfermedades que requieren tratamiento (Byrne, 2018).

La falta de plantas de tratamiento para las aguas residuales en las ciudades, las industrias, hoteles, explotaciones mineras, agrícolas y ganaderas, generan grandes cantidades de aguas contaminadas que hacen mucho daño al medio ambiente. La mayoría de esas aguas son descargadas en los ríos, lagos, mares o en los suelos, a cielo abierto. (Pimentel, 2017)

La forma más segura y económica de administrar las aguas residuales es tratarlas cerca de donde se producen, y luego permitir que el agua se absorba en el suelo y nutra a las plantas. La forma más común de hacer esto es usar un tanque séptico y un campo de lixiviación donde el líquido fluye hacia el suelo (Hesperian Health guides, 2015).

La primera prioridad que demanda una comunidad es el suministro del agua, con calidad adecuada y cantidad suficiente. Ya logrado este objetivo, surge otro, no menos importante, que consiste en la adecuada eliminación de las aguas ya utilizadas que se convierten en potenciales vehículos de muchas enfermedades y trastorno del medioambiente. (Pimentel, 2017)

Las aguas de desecho dispuestas en una corriente superficial (lagos, ríos o mares) sin ningún tratamiento, ocasionan graves inconvenientes de contaminación que afectan la flora y la fauna. Estas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que su disposición cause los problemas antes mencionados. El grado de tratamiento requerido en cada caso para las aguas residuales deberá responder a las condiciones que acusen los cuerpos receptores en los cuales se haya vertido (Pimentel, 2017).

Grandes cantidades de materiales biodegradables son peligrosos recibirlos en aguas como lagos, arroyos y océanos, porque los organismos usan oxígeno disuelto en el agua para descomponer los desechos. Esto puede reducir o agotar el suministro de oxígeno en el agua que necesita la vida acuática, lo que provoca la muerte de los peces, los olores y la degradación general de la calidad del agua. La cantidad de oxígeno necesario para descomponer los desechos en las aguas residuales se conoce como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y es una de las mediciones utilizadas para evaluar la resistencia general de las aguas residuales (Byrne, 2018).

Según Héctor Rodríguez Pimentel existen ciertos elementos dañinos de las aguas residuales que causan problemas de tipo social y de salud, estos se mencionan a continuación.

1. Malos olores: Consecuencia de las sustancias extrañas que contiene y los compuestos provenientes de estas materias, con el desdoblamiento anaeróbico de sus complejos orgánicos que generan gases resultados de la descomposición.

2. Acción tóxica: Que muchos de los compuestos minerales y orgánicos que contienen esas aguas residuales provoca sobre la flora y la fauna natural de los cuerpos receptores y sobre los consumidores que utilizan estas aguas.
3. Potencialidad infectiva: Contenida en las aguas receptoras y que permite transmitir enfermedades y se convierten en un peligro para las comunidades expuestas. El riego de plantas alimenticias con estas aguas ha motivado epidemias de amebiasis, y su vertido al mar, contaminación en criaderos de ostras y de peces.
4. Modificación de la apariencia física: La modificación estética en áreas recreativas donde se descargan efluentes contaminados.
5. Polución térmica: Generada por ciertos residuos líquidos industriales que poseen altas temperaturas.

Algunas de las enfermedades más comunes provocadas por las aguas contaminadas son las siguientes:

- a) **Diarrea**: provoca que las personas pierdan líquido y electrolitos, lo que supone la deshidratación y lleva en algunos casos a causar la muerte en el paciente. Los niños y las niñas que padecen episodios repetidos de esta dolencia son más vulnerables ante la desnutrición y otras enfermedades.
- b) **Disentería**: provocada por bacterias, esta enfermedad causa diarrea en los pacientes. En las personas adultas rara vez sucede, aunque bien es cierto que los niños y las niñas son sus principales víctimas.

- c) **Cólera:** es una infección bacteriana aguda del intestino que provoca numerosos episodios de diarrea y vómitos intensos, los cuales, a su vez, pueden generar deshidratación aguda y provocar la muerte.
- d) **Paludismo:** es una enfermedad provocada por un parásito transmitido a través ciertos tipos de mosquitos que habitan en zonas de aguas estancadas o en sitios donde el agua no goza de la calidad suficiente.
- e) **Esquistosomiasis:** esta anomalía es causada por parásitos que penetran la piel de las personas que se están lavando o bañando en fuentes de agua contaminado, provocando infecciones que dañan el hígado, los intestinos, los pulmones y la vejiga, entre otros órganos.
- f) **Tifus:** enfermedad provocada por bacterias que causa fiebres, diarreas, vómitos e inflamación del bazo y del intestino.
- g) **Tracoma:** es una infección de los ojos provocada por las deficientes prácticas higiénicas debido a la falta de agua o la existencia de condiciones insalubres. Los niños y las niñas son especialmente vulnerables a ella.
- h) **Fiebre tifoidea:** es una infección bacteriana causada por la ingesta de agua contaminada. Los pacientes a quienes se les diagnostica sufren dolor de cabeza, náuseas y pérdida de apetito, entre otros síntomas (OXFAM intermón, 2017).

La presencia de organismos patógenos, provenientes en su mayoría del tracto intestinal, hace que estas aguas sean consideradas como extremadamente peligrosas, sobre todo al ser descargadas en la superficie de la tierra, subsuelo o en cuerpos de agua. Es el caso con la presencia de bacterias del grupo entérico que producen enfermedades de origen hídrico como: fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería, cólera, entre otras. Entre las principales enfermedades causadas por virus

presentes en las aguas residuales están: poliomielitis, hepatitis infecciosa, entre otras, y la presencia de microorganismos producen enfermedades como disentería amebiana, bilharziasis, entre otras. (Pimentel, 2017)

El acceso a servicios de agua, saneamiento e higiene sin riesgos podría evitar que muchas personas sufran enfermedades. Se calcula que las enfermedades diarreicas causan alrededor del 3,6% del total de los años de vida ajustados en función de la discapacidad debidos a enfermedades y causan 1,5 millones de fallecimientos cada año. De acuerdo con las estimaciones, el 58% de esa carga de enfermedad —es decir, 842 000 muertes anuales— se debe a la ausencia de agua salubre y a un saneamiento y una higiene deficientes, e incluyen 361 000 fallecimientos de niños menores de 5 años, la mayor parte de ellos en países de ingresos bajos. (OMS, 2017).

#### **1.4.1 Información Estadística Sobre Muertes por Diarrea en El Salvador**

Las muertes por diarrea aguda aumentaron en el 2018. Del 1 de enero al 15 de diciembre, los casos de fallecidos sumaron 48, según datos del Ministerio de Salud (MINSAL).

En el año 2017, para el mismo período, dicha cartera reportaba 39 muertes por diarrea, con una tasa de letalidad de 0.29 %. Para el 2018, esa misma tasa de riesgo de muerte por diarrea subió a 0.40 %, mientras que las personas ingresadas en hospitales por esta enfermedad sumaban 12,017 casos (elsalvador.com, 2018).

Los datos implican que en el año 2018 se incrementaron los casos por diarrea y gastroenteritis en un 5%, es decir 14,980 casos más que el año 2017, donde hubo 320,003. Para el año 2018 se contabilizaron 334,983 personas con la enfermedad, del 1 de enero al 15 de diciembre (elsalvador.com, 2018).

De acuerdo con el Boletín Epidemiológico del MINSAL, la tasa acumulada hasta el 15 de diciembre del 2018 fue de 5,089 casos de diarrea por cada 100 mil habitantes, mientras que en 2017 fueron 4,862 casos de la enfermedad. La cifra evidencia un incremento en el riesgo de 227 casos más por cada 100 mil habitantes, según datos de la vigilancia sanitaria sobre las enfermedades gastrointestinales.

Dicho informe destaca que la población más afectada por problemas gastrointestinales son los niños menores de cinco años (69 %). Del total de casos de diarrea, el 51 % corresponden al sexo masculino, mientras los niños menores de 5 años y las personas mayores de 59 años son los más afectados por esta enfermedad. El promedio de casos semanal de enfermedad diarreica aguda, para la semana del 9 al 15 de diciembre del 2018, se contabilizaba en 6,700, de un universo acumulado de 334,983 atenciones (elsalvador.com, 2018).

Es importante tener esto en cuenta ya que la disposición final descuidada de las aguas negras puede causar muertes innecesarias que se pueden evitar con un sistema de saneamiento más eficaz.

### **1.5 Perfil para la Caracterización de Aguas Negras**

El decreto 39 sobre el *Reglamento Especial de Aguas Residuales* tiene un ámbito de aplicación y disposiciones las cuales serán aplicables en todo el territorio nacional, independientemente de la procedencia y destino de las aguas residuales; sin perjuicio de las normas contenidas en la Ley del Medio Ambiente (MARN, 2000).

A la hora de la aplicación de dicho decreto debe existir una autoridad la cual es el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), los titulares de las obras, proyectos o actividades correspondientes deberán considerar en sus Programas de Adecuación Ambiental, la

aplicación gradual de las medidas de atenuación o compensación para el impacto negativo ocasionado por aquéllas sobre el recurso hídrico (MARN, 2000).

Según el artículo 7 del decreto 39 del *Reglamento Especial de Aguas Residuales*, toda persona natural o jurídica, pública o privada, titular de una obra, proyecto o actividad responsable de producir o administrar aguas residuales y de su vertido en un medio receptor, debe instalar y operar sistemas de tratamiento para que sus aguas residuales cumplan con las disposiciones de la legislación pertinente y este Reglamento.

Se deben realizar análisis a estas aguas residuales, estos deben tener validez, tomando en cuenta el artículo 11 del *Reglamento Especial de Aguas Residuales*, deberán provenir de laboratorios legalmente acreditados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Tales laboratorios son aquellos con los que se puede demostrar que la caracterización del vertido cumple con las normas técnicas de calidad ambiental establecidas (MARN, 2000).

En la valoración de la calidad de las aguas residuales de tipo ordinario se incluirá el análisis de las características físico - químicas y microbiológicas, deberán ser determinados, siguiendo los lineamientos del artículo 14 del Decreto 39 del *Reglamento Especial de Aguas Residuales*, los valores de los siguientes componentes:

- a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sup>5</sup>);
- b) Potencial hidrógeno (pH);
- c) Grasas y aceites (G y A);
- d) Sólidos sedimentables (SSed);
- e) Sólidos suspendidos totales (SST);

- f) Coliformes totales (CT), y
- g) Cloruros (Cl<sup>-</sup>).

Los análisis de coliformes fecales serán obligatorios cuando las aguas residuales sean vertidas en medios receptores de agua utilizados para actividades recreativas de contacto primario, acuicultura o pesca y/o se originen en hospitales, centros de salud, laboratorios microbiológicos, etc. (MARN, 2000).

Según *La Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor* Los niveles máximos permisibles de los parámetros deberán ser alcanzados por medio de los tratamientos respectivos. Para alcanzar dichos niveles no permite la dilución. Dichos niveles se ven reflejados en la tabla 1.3.

*Tabla 1.3: Niveles máximos de contaminantes en aguas residuales permisibles en El Salvador*

<b>Actividad</b>	<b>Aguas Residuales de tipo ordinario</b>
DQO (mg/l)	150
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	60
Solidos Sedimentables (ml/l)	1
Solidos Suspendedos Totales	60
Aceites y Grasas (mg/l)	20
Coliformes Totales NMP/100ml	10,000
Cloruros	
Potencial de Hidrogeno (pH)	5.5-9.0

**Fuente:** MINSAL, 2000

Según el artículo 18 del decreto 39 del *Reglamento Especial de Aguas Residuales*, La frecuencia mínima de muestreo y análisis según caudal y componentes característicos de los

efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario, se realizará según se establece a continuación en la tabla 1.4:

*Tabla 1.4: Frecuencia mínima de muestreo de aguas residuales.*

<b>Parámetros</b>	<b>Caudal <math>m^3/dia</math></b>		
	<b>&lt;50</b>	<b>&gt;50</b>	<b>&gt;100</b>
pH, Sólidos Sedimentables y Caudal	Mensual	Semanal	Diario
Grasa y aceites	Anual	Semestral	Trimestral
$DBO_{5,20}$	Trimestral	Trimestral	Trimestral
<b>Parámetros</b>	<b>Caudal <math>m^3/dia</math></b>		
Sólidos Suspendidos Totales	Anual	Semestral	Trimestral
Coliformes Totales	Trimestral	Trimestral	Trimestral

**Fuente:** MINSAL, 2000.

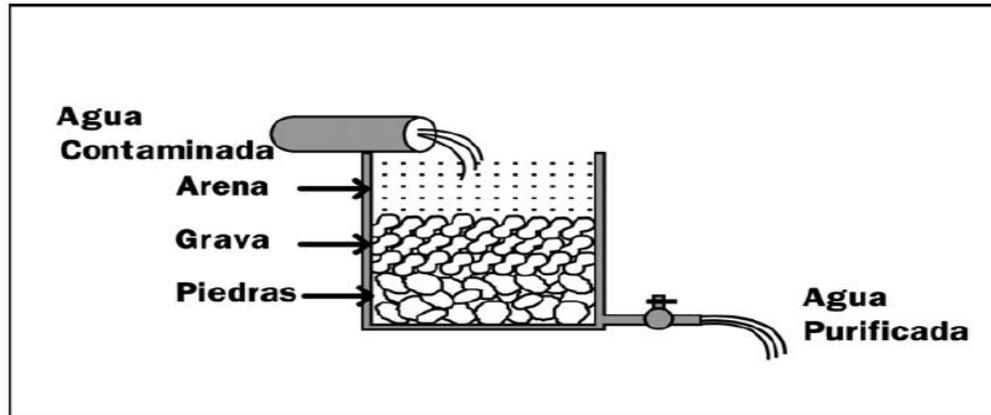
## **2. Generalidades del Tratamiento de Aguas Residuales**

En el capítulo anterior se habló sobre la importancia del tratamiento de las aguas residuales de tipo ordinario, los problemas que conlleva el no tratarlas y los impactos que puede tener en la economía de las poblaciones, pero ¿qué son las aguas residuales? López en el año 2011 indica que, las aguas residuales pueden definirse como aquellas que han sido destinadas para cualquier uso benéfico en un hogar, la industria o el comercio (López, 2011).

### **2.1 Tratamiento de Aguas Residuales.**

El tratamiento de aguas es uno de los métodos más antiguos para garantizar la salud de las personas, desde hace muchos años el hombre ha tratado de eliminar los contaminantes existentes en el agua para mejorar así su sabor, olor, color y hacerla más apta para el consumo humano. En épocas muy antiguas las personas recurrían al poder del fuego para poder purificar el agua y la hervían, trataban el agua también exponiéndola al sol, guardándola en recipientes para que se sedimentaran los sólidos suspendidos o la filtraban usando arena o grava. Muchos de estos métodos son usados en la actualidad en las plantas de tratamiento de aguas ya sea para abastecimiento o para el tratamiento de aguas residuales (Arellano y Guzmán, 2011).

Lo anterior deja en evidencia lo importante que ha sido para el ser humano el consumo de agua potable y todos los métodos que ha desarrollado a lo largo de la historia para poder tener acceso a esta de forma segura. Uno de estos métodos es representado en la figura 2.1 donde se usa piedras, grava y arena para eliminar los contaminantes del agua.



*Figura 2.1: Sistema de tratamiento de aguas contaminadas usado en la antigüedad.*

**Fuente:** Arellano y Guzmán, 2011.

Como se menciona anteriormente, el tratamiento de aguas puede ser para el abastecimiento de las personas o para tratar aguas residuales. En el primer caso, se sabe que el agua puede contener sustancias orgánicas e inorgánicas, dependiendo de la procedencia del agua y el contacto que esta tenga con diversos contaminantes es su ciclo. Entonces, las plantas de tratamientos que están destinadas a tratar aguas con el fin del consumo humano están especialmente diseñadas para tratar todos estos contaminantes que se pueden encontrar en el agua y así mejorar la calidad con que se lleva el agua a los consumidores. Estas plantas eliminan microorganismos que pueden ser dañinos, materia orgánica e inorgánica, sólidos suspendidos totales, la dureza del agua y sustancias que puedan alterar el aspecto, color olor, y sabor del agua (Arellano y Guzmán, 2011).

Existe una variedad de métodos para el tratamiento de las aguas, estos pueden clasificarse en tres categorías: tratamientos físicos, químicos y biológicos.

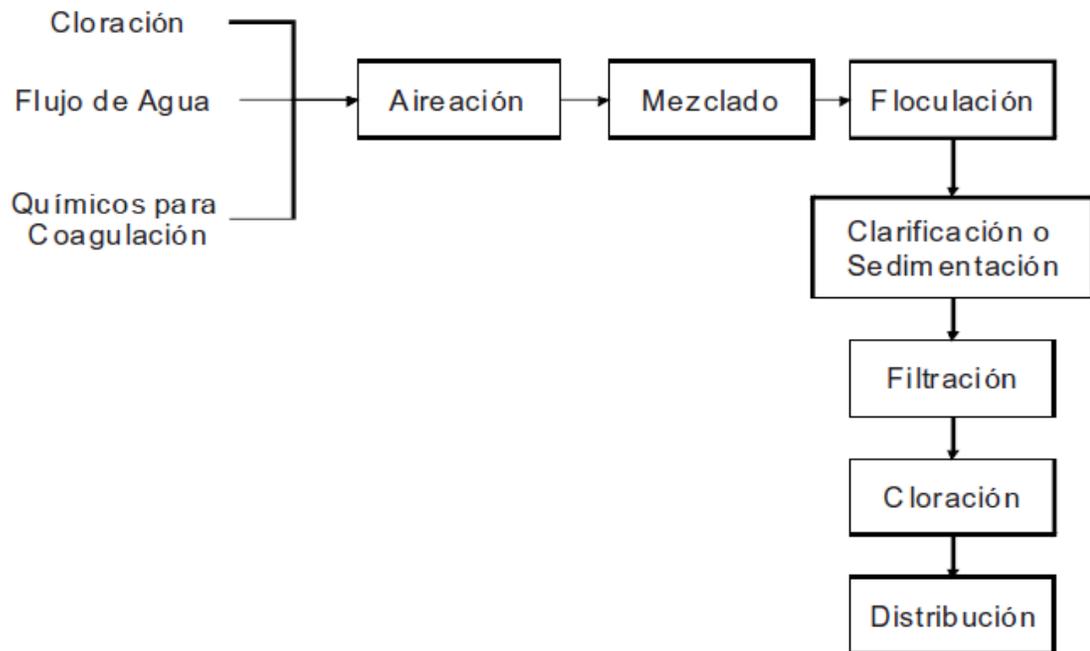
**Tratamiento físico:** en este tipo de tratamiento no se generan nuevos compuestos, sino que se concentran los contaminantes mediante la evaporación del agua o el filtrado de esta. Los

tratamientos físicos más comunes son: filtración, adsorción, aireación, floculación, sedimentación y filtración.

**Tratamiento químico:** los tratamientos químicos dan como resultado la formación de sustancias nuevas producto de la interacción de los diferentes aditivos que usan en el tratamiento. Los más comunes son: coagulación, desinfección, ablandamiento y oxidación.

**Tratamiento biológico:** este tipo de tratamiento utiliza microorganismos para provocar un cambio químico de las sustancias presentes en el agua por lo que este tratamiento puede verse como una modalidad del tratamiento químico (Arellano y Guzmán).

En la figura 2.2 se muestra un esquema general de todo el proceso en una planta de tratamiento de aguas con fines de consumo.



**Figura 2.2:** Esquema del tratamiento de aguas para el consumo humano.

**Fuente:** Arellano y Guzmán, 2011.

Por lo general las fuentes de las aguas residuales pueden clasificarse como sigue: aguas domésticas y aguas industriales (López, 2011). García y López las definen como aquellas aguas que por uso del hombre representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/u organismos. Dentro de esta clasificación se incluyen aguas con diversos orígenes:

- a) **Aguas residuales domésticas:** son las aguas procedentes de los hogares y que están contaminadas con heces, orina, desechos de la cocina, residuos de la limpieza y las demás actividades que se realicen en una casa. Suelen contener un valor elevado de materias orgánicas y microorganismos, así como restos de jabones, lejía, detergentes y grasas.
- b) **Aguas blancas:** son las provenientes de fenómenos atmosféricos (lluvia, nieve o hielo) o del riego de lugares públicos como calles y parques.
- c) **Aguas residuales industriales:** son las que provienen de los diferentes procesos en las fábricas y establecimientos industriales y están compuestas por aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas, y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. La composición de estas aguas varía mucho dependiendo del establecimiento en el que se generen.
- d) **Aguas residuales agrícolas:** provienen de los trabajos en la agricultura realizados generalmente en las zonas rurales.

## 2.2 Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico para que funcione en comunidades que no cuentan con un soporte económico para realizar grandes inversiones, debe presentar alternativas sencillas y seguras que no representen un costo de operación grande.

De acuerdo con Osorio, P. (2002) los sistemas que mejor se adaptan a la definición de sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico son los siguientes:

### 2.2.1 Tanque Séptico-Filtro Anaerobio

Son sistemas complementarios y trabajan muy bien asociados. Se utilizan donde no se puede asegurar una operación constante y un personal especializado. En Colombia se han empleado para viviendas unifamiliares con 6 a 10 habitantes, en escuelas, en veredas y corregimientos con poblaciones entre 120 y 4000 habitantes. (Ver figura 2.3)



*Figura 2.3: Tanque Séptico-Filtro Anaerobio*

**Fuente:** Osorio, P, 2002.

De acuerdo con los resultados de Osorio, P, (2002) se tiene la siguiente tabla para poder realizar una mejor toma de decisión de acuerdo con la caracterización del agua a tratar y el capital inicial que pueda invertirse en ese momento.

*Tabla 2.1: Parámetros del sistema tanque séptico-filtro anaerobio*

Resultados	Unifamiliar	Colectivo
% Remoción DBO <sub>5</sub>	80-81	86.3 (14 muestreos)
% Remoción SST	80-82	83.2 (15 muestreos)
Area Requerida M <sup>2</sup> /persona	0.5(piedra) 0.4 (plástico)	0.33 (piedra)
Costo Inversión Inicial US \$/persona *	US \$ 87.72(medio piedra) 83.51 (medio plástico)	US \$ 45.61 (ladrillo) \$ 63.15 (concreto)
Costo O & M US \$/persona-año *	US \$0.42	US \$0.24
g DBO <sub>5</sub> /persona -día	72-110	65-77 (con porqueriza) 37-45 (sin porqueriza)

**Fuente:** Osorio, P (2002).

### 2.2.2 Tanque Séptico

Es uno de los dispositivos más antiguos y ampliamente utilizados a nivel mundial, consiste en un tanque hermético construido de ladrillo, concreto o material plástico y generalmente es rectangular. Se diseña para un tiempo de retención de 12 a 24 horas. Se puede construir de uno, dos o tres compartimientos. La doble cámara proporciona una mayor retención de sólidos en suspensión, convirtiéndose en una protección del filtro anaerobio. Este lleva tres procesos: retención de espumas y flotantes, sedimentación de sólidos y almacenamiento y digestión anaerobia de lodos (Ver tabla 2.2).

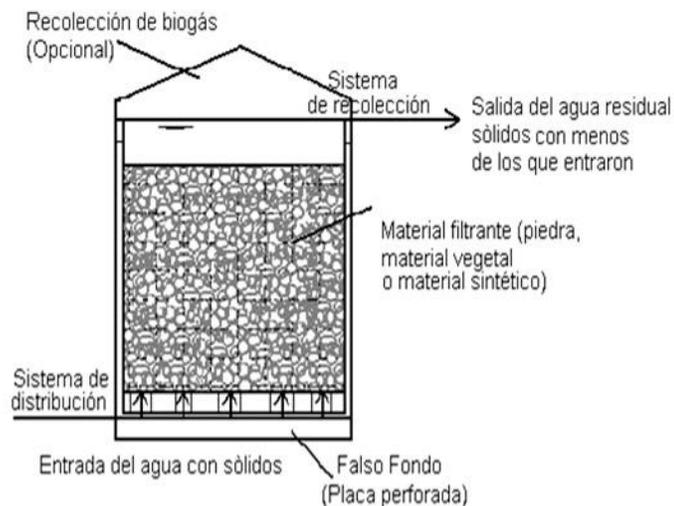
*Tabla 2.1: Parámetros de sistema tanque séptico*

Resultados	Unifamiliar	Colectivo
DBO <sub>5</sub> afluente (mg/l)	160-240	193-1011
DBO <sub>5</sub> efluente (mg/l)	80-96	77-202
% Remoción	50-60	60-80
SST afluente (mg/l)	180-254	148-1150
SST efluente (mg/l)	72-76	44-230
% Remoción	60-70	70-80
TRH(horas)	18-24	12-51 (4.5 mínimo)

**Fuente:** Osorio, P (2002).

### 2.2.3 Filtro Anaerobio

Es un tanque en concreto, ladrillo o en material plástico lleno de piedras u otro material inerte como el polipropileno, que sirva de soporte a los microorganismos, constituyendo un lecho con elevado grado de vacíos. Dado que el flujo del agua ascendente, el líquido proveniente del tanque séptico entra por el fondo a través de un falso fondo perforado, fluye a través del material de soporte donde crece una película biológica que degrada anaeróbicamente la materia orgánica, y es recogida en la parte superior mediante una tubería perforada o una canaleta. Este sistema permite remover la materia orgánica disuelta que no logra remover el tanque séptico (Ver tabla 2.3). La profundidad del lecho debe estar entre 0.5 y 1.5 m de profundidad y del falso fondo no debe ser inferior a 0.3 m de altura. Al incrementar esta altura se mejoran los resultados (Ver figura 2.4).



**Figura 2.4:** Filtro anaerobio

**Fuente:** Osorio, P (2002).

Tabla 2.2: Parámetros del filtro anaerobio en operación para volúmenes

Resultados	Unifamiliar	Colectivo
DBO <sub>5</sub> afluente (mg/l)	80 -96	77-202
DBO <sub>5</sub> efluente (mg/l)	40 - 48	34-90
% Remoción	45-60	50-70
SST afluente (mg/l)	72-76	44-230
SST efluente (mg/l)	28-38	15-103
% Remoción	50-60	55-65
TRH(horas)piedra	4.5-10	4.8-13.4
TRH (horas) plástico	7.4	-----
COV piedra (Kg. DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> -día)	0.33-3.5	0.45 - 5.90

Fuente: Osorio, P (2002).

## 2.2.4 Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial o de Láminas Filtrantes

Es un sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza plantas emergentes, en este caso la gramínea denominada *Phragmites Communis* la que se adhiere al substrato o medio filtrante. Antes del humedal se incluye un decantador y un lecho de secado para disponer los lodos que se extraen cada mes (Ver figura 2.5).

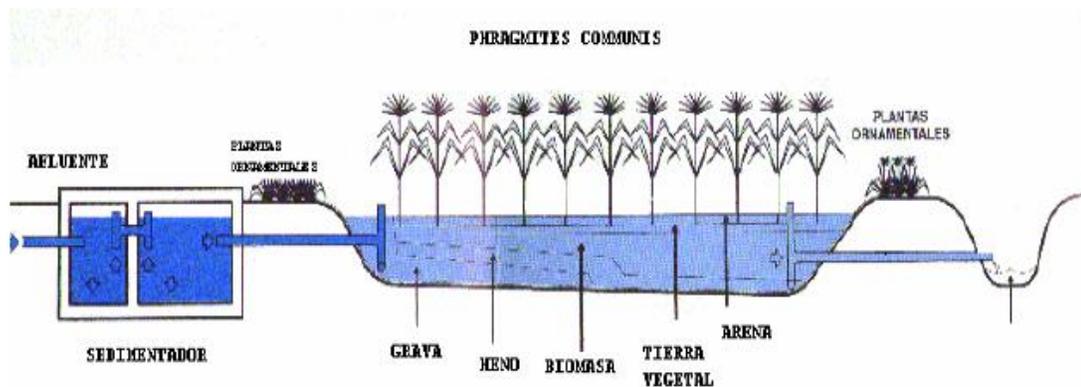


Figura 2.5: Humedal artificial de flujo subsuperficial o de láminas filtrantes

Fuente: Osorio, P (2002).

Tabla 2.3: Parámetros del humedal artificial de flujo subsuperficial.

Resultados	Unifamiliar	Colectivo
DBO <sub>5</sub> afluente (mg/l)	93-100	236-720
DBO <sub>5</sub> efluente (mg/l)	12-19	24.2-91
% Remoción	84	88.4
SST afluente (mg/l)	125-130	360-436
SST efluente (mg/l)	19-21	18.7-116.6
% Remoción	84	81
TRH humedal (días)	4.5 -3.3	1.1
TRH (horas) Sedimentador	12	6
Área Ocupada m <sup>2</sup> /persona	0.75-1.1	0.9
Inversión Inicial US \$/persona	121.15	58.88
*		
Costo O&M US \$/per-año *		0.30
COS (Kg DBO <sub>5</sub> / Ha -día	71 - 200	607.7

**Fuente:** Osorio, P (2002).

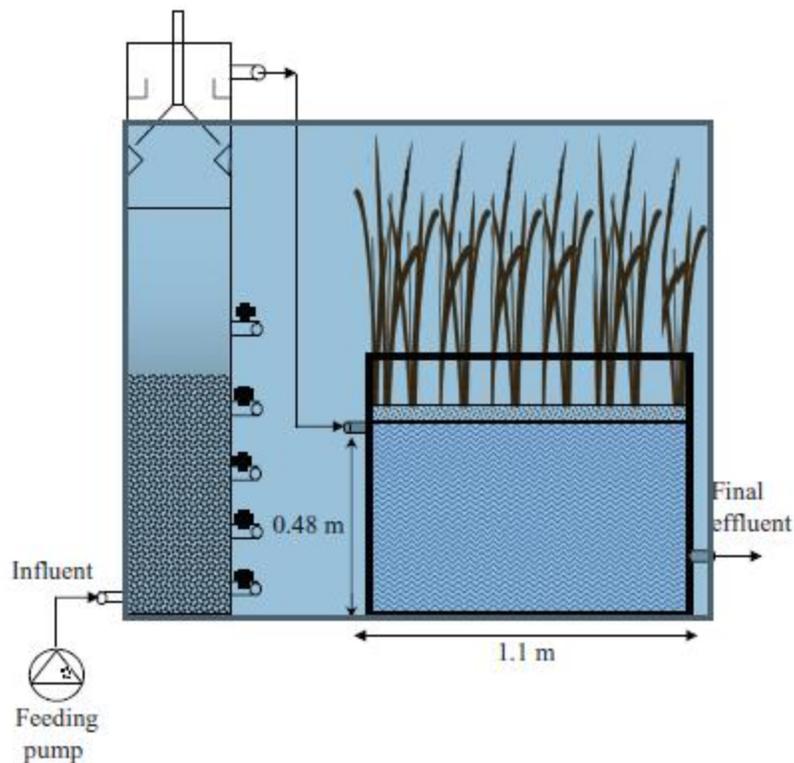
Los sistemas de tanque sépticos y filtros anaerobios son resistentes a variaciones de caudales y cargas y absorben sobrecargas con rápida recuperación, lo que los hace ideales para zonas rurales donde hay una gran variabilidad de actividades que las diferencian de la zona urbana o de las urbanizaciones u hoteles donde no se presentan descargas del beneficio de café, sacrificio de aves, etc. (Ver tabla 2.4).

Por otro lado, H.I. Abdel-Shafy et al. Proponen un pretratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico antes de ser vertidas a un cuerpo receptor con una alternativa de bajo costo que puede ser utilizada en países en vías de desarrollo con áreas áridas o semi-áridas. Esta alternativa consiste en un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos o UASB como sus siglas en inglés.

### 2.2.5 Reactor UASB

Es un proceso de tanque simple. Las aguas residuales entran en el reactor por el fondo y fluyen hacia arriba. Una capa de lodo suspendida filtra las aguas residuales, tratándolas al ir atravesándolas. La fabricación del reactor puede consistir en cloruro de polivinilo no transparente (PVC) que es alimentado continuamente con aguas residuales a través de una conexión directa con la red de desagüe (Ver figura 2.6).

Luego el efluente ya tratado sirve de alimento para un pequeño humedal construido a la par del UASB. Los humedales utilizados en el estudio fueron horizontales, un humedal de flujo subsuperficial. El tipo de planta utilizada para la construcción de los humedales fue la *Phragmites australis* la cual es una especie de caña (Ver tabla 2.5 y 2.6).



**Figura 2.6:** Diagrama esquemático de tratamiento de aguas residuales

**Fuente:** H.I. Abdel-Shafy et al. (2009).

*Tabla 2.4: Parámetros de diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial*

<b>ITEM</b>	<b>Humedal Aguas Negras</b>
Substrato	Arena (0.5 – 1.0 mm)
Longitud (m)	1.1
Ancho (m)	1.0
Profundidad (m)	0.4
Nivel del agua (cm)	0.48

**Fuente:** H.I. Abdel-Shafy et al. (2009).

*Tabla 2.5: Eficiencia del sistema combinado para el tratamiento de aguas residuales.*

<b>Parámetros</b>	<b>%De Remoción</b>
DBO <sub>5</sub>	67.5-86.4
DQO	65.1-83.5
SST	77.4-89
Turbidez (NTU)	65.2-90.0

**Fuente:** H.I. Abdel-Shafy et al. (2009).

Los resultados generales revelan que existe una mejora en la calidad del efluente y se debe a la relativamente baja velocidad y alta superficie del sistema UASB-Humedal subsuperficial. Tales humedales actúan como filtro de grava horizontal y por lo tanto proporcionan la oportunidad para las separaciones de SST por sedimentación por gravedad, deformación y adsorción. En

consecuencia, el sistema resultó ser prometedor como tecnología para el tratamiento de aguas negras.

### 2.2.6 Tanque de Evapotranspiración

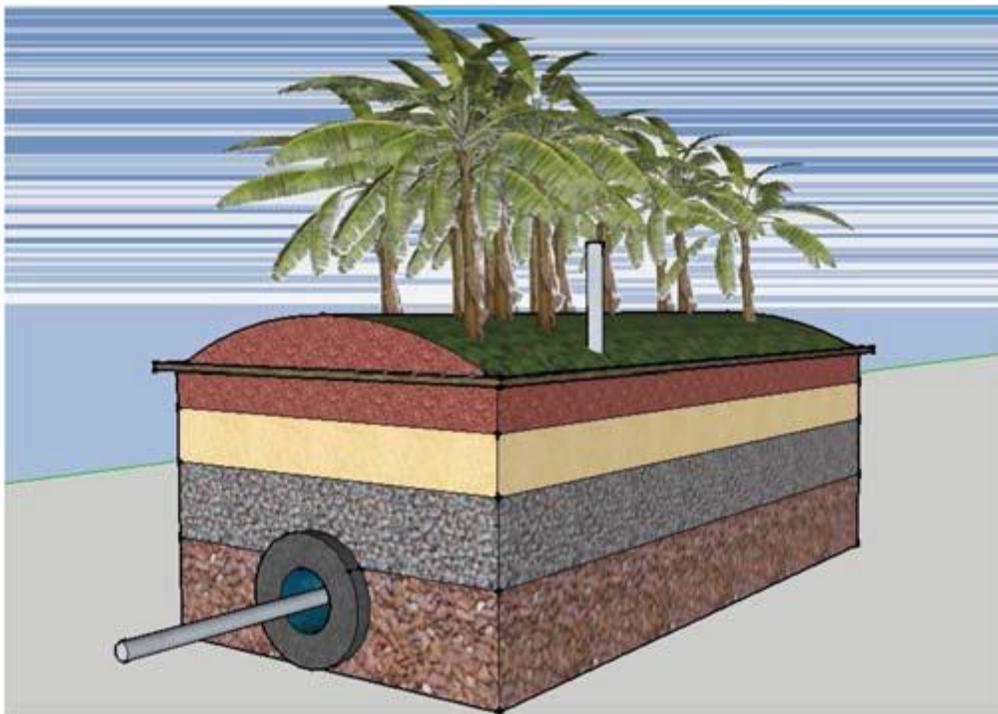
El tanque de evapotranspiración (TEvap por sus siglas en inglés) es un sistema de tratamiento simplificado que puede ser utilizado en el tratamiento de aguas negras domésticas. El TEvap es un sistema a base de suelo y plantas presentado como una opción a los sistemas de tratamiento de aguas convencionales que consiste en un tanque rectangular impermeable relleno de capas de diferentes substratos y plantas de rápido crecimiento y con una alta absorción de agua como el guineo (*Musa paradisiaca*), el cartucho (*Zantedeschia aethiopica*) o en general plantas de hoja grande. Lo novedoso del TEvap es la cámara anaeróbica dentro del tanque donde el agua es recibida. Esta cámara permite que los sólidos se sedimenten y ser parcialmente digeridos, adicionalmente la grava utilizada (o cualquier otro material grueso) sirve como filtro y soporte para la biopelícula que se forma (Paolo et. al, 2013) (Ver figura 2.7).



**Figura 2.7:** Vista transversal del sistema TEvap

**Fuente:** Paolo et. al, 2013.

La descomposición se da por las bacterias presentes en la cámara bioséptica de baldosas y el espacio creado entre las capas de grava. Las plantas incorporan los nutrientes a su bioma y absorben el agua por capilaridad para luego liberarla en la atmosfera por evapotranspiración, libre de contaminantes (Veiga y Saskatchewan, 2017).



*Figura 2.8: Curva en el Sistema TEvap*

**Fuente:** Veiga y Saskatchewan, 2017

Las medidas sugeridas para esta clase de sistemas son las siguientes: un depósito de 1 metro de profundidad, 2 metros de ancho y el largo es relativo al número de casas que estarán conectadas al sistema. Los estudios sugieren que por cada casa se necesitan en promedio 2 metros cúbicos en el tanque para evitar las fugas. Las paredes deben ser cubiertas con una lona plástica para evitar la infiltración de patógenos hacia el suelo circundante. Una vez el depósito está terminado, se hace con baldosas usadas un ducto que funcionará como la cámara anaeróbica y con escombros de

construcción, grava y baldosas se cubre el ducto hasta su parte más alta para que permita el movimiento del agua y la proliferación de las bacterias. El ducto de baldosas y las capas de escombros se cubren con tres capas más de grava, arena y arcilla hasta llenar por completo el depósito, cada una con 10 cm, 10 cm y 35 cm de grosor respectivamente. El objetivo de la arcilla es que llegue al nivel del suelo y el de la curva del sistema que se observa en la figura 2.8 es evitar que el agua lluvia entre al sistema (Veiga y Saskatchewan, 2017).

Para el dimensionamiento del tanque puede usarse también la siguiente ecuación:

$$A = (nQ_d)/(ET_o K_{TEvap} - PK_i) \text{ ecn. 1}$$

donde:

A= área superficial del TEvap (m<sup>2</sup>).

n= número promedio de usuarios del sistema.

Q<sub>d</sub>= el volumen promedio de agua usado por persona en el día (L/d).

K<sub>TEvap</sub>= coeficiente de evapotranspiración del tanque (puede usarse el valor de 2.71).

E<sub>To</sub>= promedio del ratio de evapotranspiración (mm/d).

P=promedio de precipitaciones diarias en la localidad (mm/d).

K<sub>i</sub>=coeficiente de infiltración, varía de 0 a 1. (Paolo et. al, 2013)

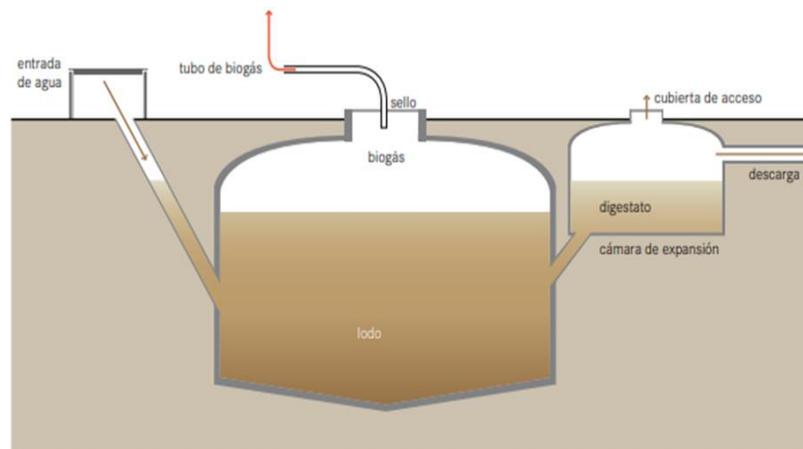
El agua negra proveniente de los baños es liberada en el medio del conducto de baldosas por medio de un tubo de PVC. Otros dos tubos de PVC se adaptan en el sistema: uno de 100 mm de diámetro que funciona como tubo de inspección y un tubo de 50 mm de diámetro que sirve como drenaje en caso de rebalse.

### 2.2.7 Reactor de Biogás

El reactor de biogás o digester anaerobio es utilizado para el tratamiento de aguas residuales en un ambiente anaeróbico y que nos da como productos una mezcla digerida que puede ser usada como fertilizante orgánico y biogás que se puede emplear para la producción de energía, calefacción, etc.

El biogás es un gas que está compuesto principalmente por metano mezclado con bióxido de carbono y trazas de otros gases que puede usar para los fines ya mencionados.

Este reactor facilita la recolección del biogás formado en el proceso de fermentación de la materia orgánica, este gas se forma en el lodo y asciende a la parte superior de la cámara mezclando los lodos a su paso (Ver figura 2.9) (Tilley et. Al, 2018).



**Figura 2.9:** Esquema del Reactor de Biogás

**Fuente:** Tilley et. Al, 2018

El material de fabricación para un reactor de esta clase puede ser domos de ladrillo o de material prefabricado, instalados por encima o por debajo del suelo, según sean las condiciones del terreno,

el espacio, recursos disponibles y el volumen de desperdicios generados. Pueden construirse como domos fijos o como domos digestores flotantes. En el domo fijo el volumen del reactor es constante. Conforme se genera el gas, ejerce una presión y desplaza la mezcla de lodo hacia arriba, a una cámara de expansión. Cuando el gas es removido, la mezcla fluye hacia el reactor. La presión puede ser usada para transportar el biogás a través de las tuberías. En un reactor de domo flotante el domo sube y baja según la producción y el retiro de gas. Otras veces puede expandirse (como un globo) (Tilley et. Al, 2018).

El tiempo de retención hidráulica (TRH) en el reactor debe ser al de menos 15 días en climas cálidos y de 25 días en climas templados. Para entradas muy patogénicas, debe considerarse un TRH de 60 días. Normalmente los reactores de biogás funcionan en el rango de temperatura mesofílico de 30 a 38 °C. Una temperatura termofílica, de 50 a 57 °C, podría garantizar la destrucción de patógenos, pero sólo puede lograrse al calentar el reactor (aunque en la práctica esto sólo se encuentra en países industrializados). A menudo los reactores de biogás están directamente conectados a sanitarios privados o públicos, con un punto de acceso adicional para materiales orgánicos. A nivel de viviendas, es posible que los reactores estén hechos con recipientes plásticos o de ladrillo. Los tamaños pueden variar desde 1000 L para una sola familia hasta 100000 L para sanitarios públicos o institucionales. Debido a que la producción de lodo digerido es continua, debe preverse su almacenamiento, uso o transporte fuera del sitio (Tilley et. al, 2018).

Esta tecnología puede aplicarse en viviendas y en pequeños vecindarios o en la estabilización de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales grandes. Es más adecuada donde hay forrajes. A menudo el reactor de biogás se utiliza como alternativa a la fosa séptica, ya que ofrece un nivel similar de tratamiento, pero con el valor agregado del biogás. Sin embargo, no es posible

lograr una producción de gas significativa si el único afluente son las aguas negras. Los niveles más altos de producción de biogás se obtienen con substratos concentrados, que son ricos en materia orgánica como estiércol, productos orgánicos del mercado o desperdicios domésticos. Puede ser eficiente en la co-digestión de aguas negras de una vivienda sólo si el estiércol es la principal materia prima. No se deben agregar aguas grises porque reducen sustancialmente el TRH. Los materiales como paja y madera son difíciles de degradar y deben evitarse en el sustrato. Los reactores de biogás son menos apropiados para climas más fríos, ya que la tasa de conversión de materia orgánica en biogás es muy baja —por debajo de los 15 °C—. En consecuencia, el TRH debe ser más largo y el volumen del diseño debe incrementarse sustancialmente (Tilley et. al, 2018).

El lodo digerido está parcialmente desinfectado, pero aún conlleva un riesgo de infección. Dependiendo de su uso final, requerirá tratamiento adicional. También hay peligros asociados con los gases inflamables que, de ser mal manejados, pueden ser perjudiciales para la salud humana. Operación y mantenimiento. Si el reactor está correctamente diseñado y construido, las reparaciones deben ser mínimas. Para poner en marcha el reactor debe inocularse con bacterias anaerobias; por ejemplo, mediante la adición de estiércol de vaca o lodo de la fosa séptica. Los orgánicos usados como sustrato deben triturarse y mezclarse con agua o lodo digerido antes de la alimentación. El equipo de gas debe limpiarse cuidadosa y periódicamente para prevenir la corrosión y las fugas. La arenilla y la arena que se han asentado en el fondo deben ser removidas. Dependiendo del diseño y de los afluentes, el reactor puede vaciarse una vez cada 5 a 10 años (Tilley et. al, 2018).

Para cada situación en la que se requiere el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario es necesario estudiar las condiciones de esta y seleccionar las tecnologías más convenientes, tomando en consideración los costos de inversión iniciales y de su mantenimiento (Osorio, P, 2002).

En el tratamiento de aguas residuales domésticas se pretende eliminar los contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo con las normas y estándares nacionales o internacionales. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, la forma de tratarlos es también muy amplia, y, por ende, las técnicas que se utilizan en estos procesos son diversas, éstas se clasifican según su operación, en convencionales y alternativas (QUIVERA, 2012).

Las pequeñas aglomeraciones urbanas por su propia localización geográfica y grado de desarrollo presentan una problemática específica que dificulta la provisión de los servicios de saneamiento y depuración (García M., et al., 2006). En esta problemática destacan:

- a) Los efluentes depurados deben cumplir normativas de vertido estrictas.
- b) El hecho de no poder aprovechar las ventajas que supone la economía de escala como consecuencia de su pequeño tamaño, lo que conduce a que los costes de implantación, mantenimiento y explotación por habitante sean elevados. Además, en poblaciones dispersas los costes de saneamiento se incrementan notablemente.
- c) La escasa capacidad técnica y económica para el mantenimiento y explotación de estaciones de tratamiento de aguas residuales.

Por todo ello, a la hora de seleccionar soluciones para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los pequeños núcleos de población, debe darse prioridad a aquellas tecnologías que:

1. Presenten un gasto energético mínimo, evitando, en lo posible, el empleo de dispositivos electromecánicos y recurriendo principalmente al uso de sistemas de oxigenación naturales.
2. Requieran un mantenimiento y explotación simples.
3. Garanticen un funcionamiento eficaz y estable frente a las grandes oscilaciones de caudal y carga en el influente a tratar, circunstancias que se suelen dar en los pequeños municipios.
4. Simplifiquen la gestión de los lodos generados en los procesos de depuración.
5. Presenten un bajo impacto ambiental sonoro y una buena integración en el medio ambiente (García M., et al., 2006).

### **2.3 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**

El diseño eficiente y económico de una planta de tratamiento de aguas residuales requiere de un cuidadoso estudio basado en aspectos, tales como: el caudal ( $m^3/s$ ), el uso final del producto final (agua tratada), el área disponible para la instalación, la viabilidad económica, características meteorológicas (clima, precipitación). En tal sentido, teniendo en mente que la solución tecnológica más adecuada es aquella que optimiza la eficiencia técnica en la forma más simple y menos costosa, la tecnología debe hacer uso de los recursos humanos y materiales disponibles en el país. Asimismo, cabe señalar que la selección de los procesos y/o el tipo de planta serán diferentes dependiendo de cada caso específico (Luna, 2010).

Sin embargo, el proceso usual del tratamiento de aguas residuales domésticas puede dividirse en las siguientes etapas:

1. Pretratamiento.
2. Tratamiento primario o físico.
3. Tratamiento secundario o biológico.
4. Tratamiento terciario que normalmente implica una cloración.

#### **a) Pre-Tratamiento**

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual. Se pretende con el pretratamiento la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las máquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora. (Luna, 2010).

En el pretratamiento se efectúa un desbaste (rejas) para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenador, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua residual, así como elementos flotantes. (Luna, 2010).

#### **i. Desbaste**

Esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja. De esta forma, el desbaste se clasifica según la separación entre los barrotes de la reja en: (Luna, 2010)

- a) Desbaste fino: con separación libre entre barrotes de 10-25 mm.
- b) Desbaste grueso: con separación libre entre barrotes de 50-100 mm.

En cuanto a los barrotes, estos han de tener unos espesores mínimos según sea:

- a) Reja de gruesos: entre 12-25 mm.

- b) Reja de finos: entre 6-12 mm. También tenemos que distinguir entre los tipos de limpieza de rejas igual para finos.

## **ii. Tamizado**

Consiste en una filtración sobre soporte delgado, y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. Según las dimensiones de los orificios de paso del tamiz, se distingue entre: (Luna, 2010).

- a) Macro tamizado: Se hace sobre chapa perforada o enrejado metálico con un paso superior a 0,2 mm. Se utilizan para retener materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, ramas, etc. de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.
- b) Micro tamizado: Hecho sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Se usa para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en el agua de abastecimiento (Plancton) o en aguas residuales pretratadas. Los tamices se incluirán en el pretratamiento de una estación depuradora en casos especiales, por ejemplo, cuando las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos.

## **iii. Desarenador**

El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente. (Luna, 2010).

#### **iv. Desaceitador y Desengrasador**

El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. (Luna, 2010).

El desaceitado consiste en una separación líquido-líquido, mientras que el desengrase es una separación sólido-líquido. En ambos casos se eliminan mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad (Luna, 2010).

Se podría hacer esta separación en los decantadores primarios al ir provistos éstos de unas rasquetas superficiales de barrido, pero cuando el volumen de grasa es importante, estas rasquetas son insuficientes (Luna, 2010).

#### **b) Tratamiento Primario**

El tratamiento primario que recibe las aguas residuales consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendidos bien mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química. En algunos casos se puede utilizar la coagulación como auxiliar del proceso de sedimentación (Luna, 2010).

Entre los principales procesos y operaciones de tratamiento primario están:

##### **i. Sedimentación**

La separación de los sólidos por gravedad se basa en la diferencia que existe entre los pesos específicos del líquido que es la fase continua y el de las partículas, las cuales constituyen la fase discreta. Para que se produzca la separación entre el líquido y los sólidos pueden seguirse dos

camino: aquellas partículas que tienen un peso específico mayor que el del agua sedimentada, y que aquellas otras con un peso específico menor que el del agua flotante. Se puede pues utilizar la sedimentación o la flotación para separar del agua residual los sólidos en suspensión presentes en ella (Luna, 2010).

Existe la sedimentación de partículas aglomeradas. Se presentan cuando la velocidad de asentamiento de las partículas aumenta a medida que descienden hacia el fondo del tanque. Los aumentos en la velocidad de sedimentación se deben a que las partículas incrementan su tamaño por acción de la floculación que ocurre en el tanque. Esta floculación puede deberse a la acción de barrido que ejercen algunas partículas, o a corrientes de densidad o turbulencia. (Luna, 2010).

Asimismo, se tiene la sedimentación primaria, que es uno de los procesos más utilizados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, bien sea como tratamiento único, o bien como proceso de tratamiento anterior o previo al tratamiento biológico propiamente dicho. El objetivo fundamental de la sedimentación primaria es remover de las aguas residuales aquella fracción de los sólidos que es sedimentable, además de la carga orgánica asociada con dichos sólidos. (Luna, 2010).

Para el diseño se debe considerar las zonas de entrada y de salida del tanque de sedimentación, la profundidad mínima que debe tener el tanque y sobre la forma y tamaño que este debe tener. Además, es preciso recordar que las variaciones bruscas en la temperatura del agua, así como las características de cada agua residual pueden afectar considerablemente la eficiencia del tanque en la remoción de sólidos sedimentables. (Luna, 2010).

## **ii. Coagulación y Floculación**

Los procesos de coagulación-floculación facilitan el retiro de los sólidos suspendidos y de las partículas coloidales. Algunas veces existe la confusión entre estas dos por el hecho que frecuentemente ambas operaciones se realizan de forma simultánea. En ese sentido, se define a la coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la Floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración (Luna, 2010).

Históricamente, los coagulantes metálicos, sales de Hierro y Aluminio, han sido los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. Sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si éste no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Fe o Al y generar problemas. Entre los coagulantes más utilizados son: sulfato de alúmina, sulfato férrico, cloruro férrico (Luna, 2010).

La floculación es un proceso de separación de líquido-sólido utilizado para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en las aguas residuales. Se usa principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja. Los principales componentes de un proceso de flotación son el compresor de aire, un tanque de retención donde se almacenan las aguas residuales presurizadas, una válvula reductora de presión y el tanque de flotación. El proceso puede realizarse bien inyectando el aire directamente a las aguas residuales crudas, o bien al efluente recirculado del tanque de flotación, el cual se mezcla con las aguas residuales crudas. Los floculantes más usados son los siguientes: oxidantes, adsorbentes, sílice activa (Luna, 2010).

### **iii. Tanques Imhoff**

El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos (Luna, 2010).

Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas (Luna, 2010).

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

1. Cámara de sedimentación.
2. Cámara de digestión de lodos.
3. Área de ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación (Luna, 2010).

Estas unidades no cuentan con unidades mecánicas que requieran mantenimiento y la operación consiste en la remoción diaria de espuma, en su evacuación por el orificio más cercano y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme en los dos extremos del digestor (Luna, 2010).

Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conduce a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran

y se disponen de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de los suelos (Luna, 2010).

#### **iv. Digestión Primaria de Lodos**

En la decantación primaria y secundaria se producen lodos primarios o secundarios. Estos lodos están compuestos por agua y partículas sólidas. El agua se encuentra agregada o como agua capilar (Luna, 2010).

Estos lodos pueden entrar rápidamente en putrefacción y producir, además, malos olores. En tal sentido, la digestión de los lodos primarios requiere de sistemas que garanticen tiempos de detención de sólidos superiores a los 25 días cuando se tienen aguas residuales con temperaturas promedio entre los 20-25°C (Luna, 2010).

#### **c) Tratamiento Secundario**

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario. El tratamiento secundario o biológico ha sido diseñado, tomando como ejemplo el proceso biológico de autodepuración, que ocurre naturalmente. La aplicación de éste en aguas servidas previene la contaminación de los cuerpos de agua antes de ser descargadas. En estos procesos, la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales domésticas actúa como nutriente de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones controladas, en resumen, el tratamiento biológico es por tanto una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para acelerar un

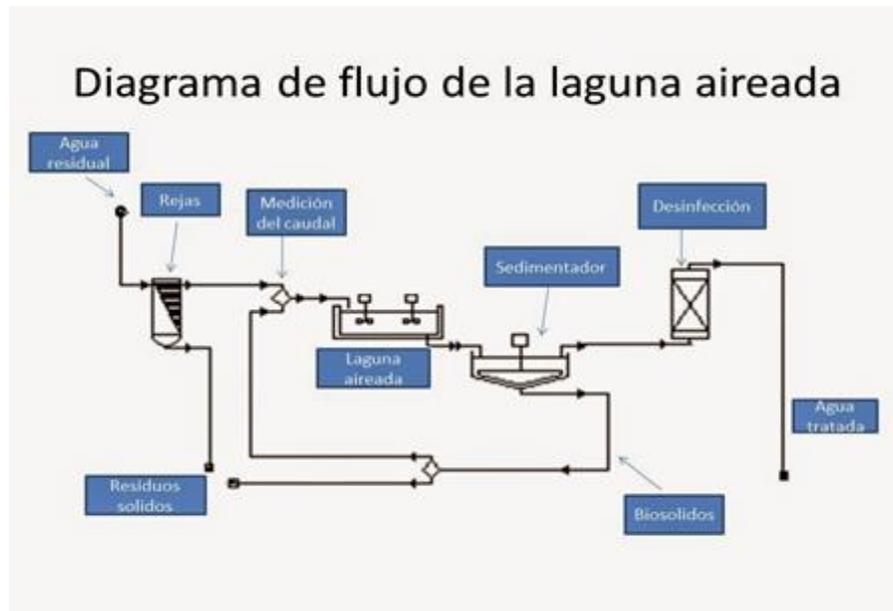
proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos de agua (Luna, 2010).

Para que la transformación biológica se haga efectiva y de manera eficiente, deben existir condiciones adecuadas para el crecimiento bacteriano, considerando temperatura (30-40°C), oxígeno disuelto, pH adecuado (6,5-8,0), salinidad (menor a 3.000 ppm). En estos procesos, actúan como sustancias inhibidoras las sustancias tóxicas, como metales pesados Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y otros, así como cianuros, fenoles y aceites, por este motivo es necesario evitar la presencia de estos (Luna, 2010).

La biomasa bacteriana puede estar soportada en un lecho fijo, como superficies inertes (rocas, escoria, material cerámico o plástico) o puede estar suspendida en el agua a tratar, siendo estos de lecho móvil o lecho fluidizado.

### **1. Lagunas aireadas**

Son embalses de agua servida que ocupan una gran superficie de terreno. El agua servida así dispuesta se oxigena mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para generar oxidación bacteriana. Estos dispositivos crean una turbulencia que mantiene la materia en suspensión. El tiempo de residencia normal de este proceso es de 3 a 6 días, tiempo en que las bacterias poseen un crecimiento acelerado, dependiendo de las condiciones climáticas y suponiendo una aireación suficiente. La separación de sólidos de este tratamiento se logra por decantación que demora de 6 a 12 horas. La calidad del efluente de este proceso es inferior al de lodos activados, cuya diferencia fundamental es que en el primero no hay recirculación de lodos. (Luna, 2010). (Ver figura 2.10)

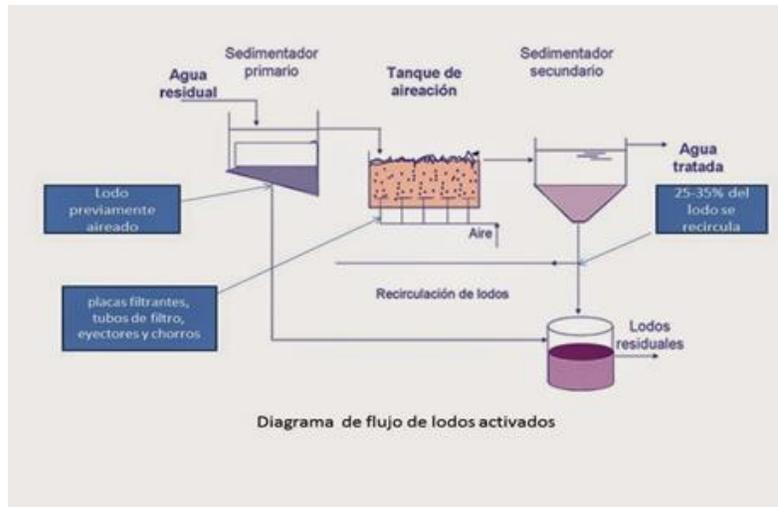


*Figura 2.10: Esquema de proceso de lagunas aireadas*

**Fuente:** Luna, 2010.

## 2. Proceso de Lodos Activados

El agua servida aireada se mezcla con bacterias aeróbicas que se han desarrollado con anterioridad. A diferencia del anterior, la mezcla del agua servida, previamente decantada, se agita por medio de bombas para que la materia esté en suspensión y en constante contacto con oxígeno en el interior de piscinas de concreto armado. La materia orgánica degradada del agua servida floclula, por lo que luego se puede decantar. Una parte de la biomasa sedimentada se devuelve al tratamiento biológico, para mantener una población bacteriana adecuada, y el resto se separa como lodo. En la figura 2.11 muestra un esquema de un proceso de lodos activados.



**Figura 2.11:** Esquema de proceso de lodos activados

**Fuente:** Luna, 2010.

Las ventajas principales de este proceso son el corto tiempo de residencia de la biomasa en las piscinas (6 horas), permitiendo tratar grandes volúmenes en espacios reducidos y la eficiencia en la extracción de las materias suspendidas. Sin embargo, la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja (Luna, 2010).

El agua tratada en un proceso de lodos activados o en lagunas aireadas puede servir para regadío si previamente se somete a cloración para desinfectarla.

### 3. Procesos Anaerobios

También se puede considerar en los procesos anaerobios que existe en una serie de procesos microbiológicos que ocurren dentro de un recipiente hermético, que realizan la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos, pero es desarrollado principalmente por bacterias. Ejemplos de tratamientos

anaeróbicos son los tanques sépticos y los reactores anaerobios que tratan el agua en un sistema sin luz, oxígeno ni movimiento (Luna, 2010).

Las ventajas principales serian que generalmente requiere de instalaciones menos costosas, y no hay necesidad de suministrar oxígeno, por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Produce una menor cantidad de lodos (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos) (Luna, 2010).

Por otro lado, sus desventajas serian que es más lento que el tratamiento aeróbico, es decir, requiere un mayor tiempo de contacto o retención hidráulica, así como más tiempo de aclimatación, lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes de aguas servidas (Luna, 2010).

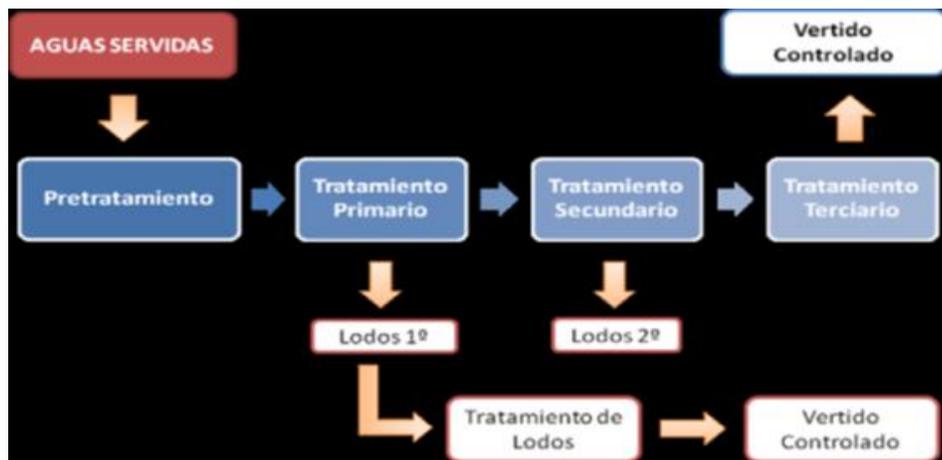
#### **d) Tratamiento Terciario**

Los objetivos del tratamiento terciario son eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente. La cloración es parte del tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura, incluso hasta llegar a potabilizarla si se desea (Luna, 2010).

Para estabilizar estos lodos, es decir, destruir las bacterias patógenas y volverlos inocuos al medio ambiente, el lodo se concentra por sedimentación y coagulación-floculación durante el tratamiento secundario. Este lodo, así concentrado, se puede tratar con cal como bactericida y eliminar el agua mediante exposición al sol, filtros de arena, filtros al vacío o centrífuga. Sin embargo, estas técnicas poseen costos elevados y problemas técnicos (Luna, 2010).

El lodo deshidratado puede disponerse en vertederos, incinerarlo, o lo más deseable, usarlo como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición limita este empleo (Luna, 2010).

Un resumen de la secuencia completa de tratamientos que pueden aplicarse a aguas residuales domésticas, y también aguas residuales industriales, se representa en este en la figura 2.12.



*Figura 2.12: Secuencia completa de tratamientos de aguas residuales domésticas*

**Fuente:** Luna, 2010.

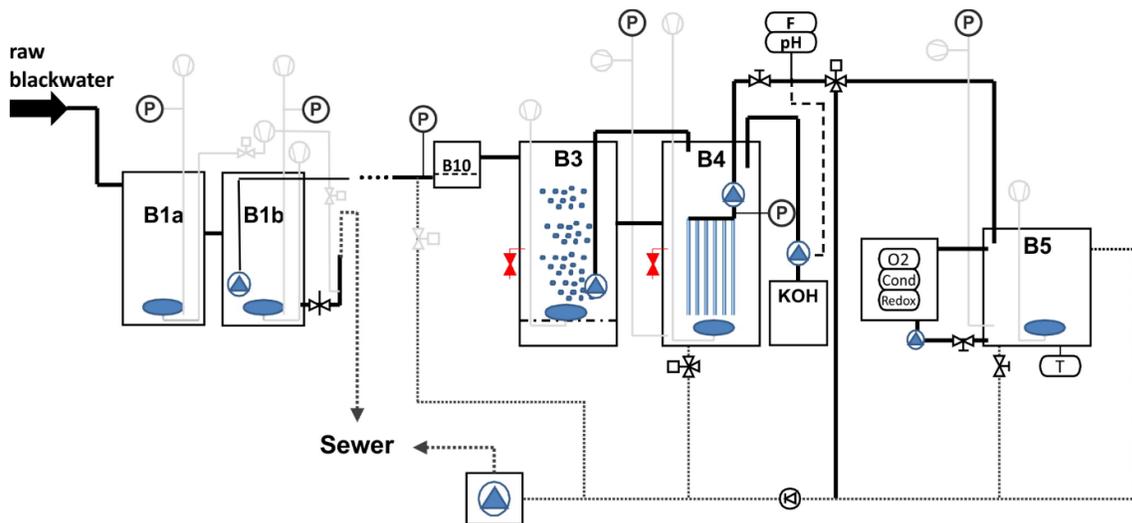
## 2.4 Biorreactor de Membrana

La planta de tratamiento de aguas negras investigada en la ciudad de Berlín (Alemania), consta con una población de 50 personas. La cantidad de aguas generadas por cada uno de los inodoros es de alrededor de 6 litros por descarga. La descripción esquemática de la planta de tratamiento se muestra en la figura 2.12. El sistema consiste en dos unidades principales de tratamiento, con una unidad primaria y un biorreactor de membrana (Katayama, 2018). (Ver figura 2.13)

Las aguas negras fluyen directamente de las tuberías a un tanque de asentamiento con un volumen efectivo de 690 litros, el cual está conectado a un tanque de almacenaje de igual capacidad

el cual es llenado por gravedad, donde el agua negra es bombeada por una bomba centrífuga hacia una malla de acero de 1mm hacia el biorreactor (Katayama, 2018).

El lodo primario es removido 3 veces al día del tanque por una bomba y descargado al drenaje directamente. Ambos tanques están equipados con difusores de aire, los cuales son activados para mezclar el contenido de los tanques antes de la toma de muestras. El tanque de recolección tiene otra salida que también se encuentra conectada al sistema de drenaje, permitiendo al exceso de las aguas negras salir del sistema cuando el tanque de recolección está lleno (Katayama, 2018).



**Figura 2.13:** Diagrama descriptivo de una planta de tratamiento de aguas negras.

*B1a-tanque de asentamiento; B1b-tanque de almacenaje; B10-Malla de 1mm; B3-tanque de aireación; B4- tanque de membrana; B5-tanque de almacenaje del efluente.*

**Fuente:** Katayama, 2018

El biorreactor de membrana consiste un tanque de aireación principal conectado un tanque secundario donde la membrana de filtración es colocada, con un volumen combinado de 1200 litros. Los dos tanques estas hidráulicamente conectados por un tubo PVC colocado en medio de

ambos tanques y una una bomba centrífuga sumergible con un flujo nominal de  $4.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , que es activada por 3 minutos cada 15 minutos para recircular el contenido de los tanques. El tanque de aireación está equipado con un difusor, alimentado por un compresor de aire con una capacidad nominal de 100L/min (Katayama, 2018).

Las especificaciones de la membrana de filtración sumergible se encuentran en la tabla 2.7. Consiste en un módulo de membrana plana de ultrafiltración PES (Poliestersulfona) con un peso molecular de 150 kDa y  $6.25 \text{ m}^2$  de área de filtración. Se realiza un flujo cruzado por medio de un difusor instalado debajo del módulo de la membrana y alimentado con  $100 \frac{\text{Nm}^3}{\text{min}}$  dos compresores de aire conectados en paralelo. La unidad es operada con un ciclo relajación/filtración de 12/4 minutos. La filtración es impulsada por vacío por una pequeña bomba centrífuga con un flujo máximo de 45 L/min. El vacío generado por la bomba es monitoreado constantemente por un transductor instalado en el lado de la succión, desde donde la presión de la transmembrana es calculada quitando el cabezal de presión generada por la columna de agua sobre el módulo de la membrana. La razón de filtración es controlada manualmente por el ajuste de una válvula de bola instalada del lado de la unidad de filtración. El efluente del biorreactor de membrana es encaminado por una válvula de tres caminos que lo dirige o a un tanque de almacenaje de  $1 \text{ m}^3$  o al sistema de drenaje (Katayama, 2018).

El tiempo de retención de sólidos del lodo en el biorreactor es de un valor nominal de 55 días y es controlado hidráulicamente mediante la descarga del alrededor de un 4% de los tanques combinados, 3 veces a la semana en días alternados. El oxígeno es monitoreado continuamente por un sensor sumergido en el tanque de la membrana. El pH del concentrado proveniente del biorreactor es monitoreado por un controlador que recibe mediciones de pH de una sonda inalámbrica instalada en la línea de filtrado y ajusta el control de una membrana peristáltica

responsable de dosificar el KOH. La elección de KOH como base está orientado a la restricción de la presencia de iones  $Na^+$  y  $Cl^-$  en el efluente (Katayama, 2018).

*Tabla 2.6: Especificaciones de la membrana de filtración*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Tipo	Placa plana
Superficie	6.25 m <sup>2</sup>
<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Material	PES (Polietersulfonada)
Peso molecular	150 kDa

**Fuente:** Katayama, 2018.

### **3. Muestreo de Aguas Negras**

En este capítulo se hará énfasis en el procedimiento a seguir para la obtención de muestras representativas de aguas negras, además de los equipos necesarios para dicho procedimiento.

#### **3.1 Aspectos Generales Del Muestreo**

Los siguientes aspectos deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar un muestreo de aguas negras:

##### **a. Representatividad de la Muestra**

Las aguas residuales son variadas y su composición puede ser irregular dependiendo de las actividades o procesos que la producen y de la infraestructura por donde se conducen, lo cual puede permitir deposición de sedimentos; por lo anterior, generalmente estas aguas no se encuentran uniformemente mezcladas y es necesario ubicar un sitio de mezcla completa (MARN, 2016).

##### **b. Técnicas de muestreo apropiadas**

La técnica de muestreo dependerá de la información que se desea obtener y del conocimiento del comportamiento de las aguas residuales a evaluar, así como de los medios con que se cuente a la hora de realizar el muestreo (MARN, 2016).

##### **c. Preservación de las muestras**

Para que las muestras sean representativas del momento en que se recolectan es necesario asegurar su integridad preservándolas, debido a que una vez transcurre el tiempo entre la

recolección y su entrega al laboratorio si no son preservadas se da paso al desarrollo de reacciones físicas, químicas y/o biológicas que alteran los resultados finales. (MARN, 2016).

### **3.2 Tipos de Muestras**

Existen diversos tipos de muestras, pero las más comunes son las instantáneas o simples, las compuestas y las integradas las cuales se detallan a continuación:

#### **a. Muestra Instantánea**

Esta representa las condiciones del momento en que se recolecta y se recomienda este tipo de muestras cuando:

1. Las descargas de aguas residuales son intermitentes, ya que en muchos casos las aguas de desecho dependen de operaciones unitarias y/o simplemente estos desechos son almacenados en tanques y descargados una vez son llenados los tanques de almacenamiento.
2. Las características del agua son constantes, por lo cual una muestra instantánea es representativa de las condiciones del agua.
3. Existen variaciones extremas en la composición del agua a muestrear, para asegurar el evaluar picos de algunos parámetros como producciones de aguas residuales con pH extremos y diferentes, como el caso de acidez y/o alcalinidad de las aguas extremas, que en caso de recolectar muestras compuestas el parámetro sería neutralizado y no daría información del comportamiento de las aguas residuales.
4. Parámetros especiales, que se requiere ser evaluados con muestreos instantáneos por características propias de los mismos, caso de oxígeno disuelto, temperatura, bacterias, cloro y otros gases disueltos (MARN, 2016).

## **b. Muestra Compuesta.**

Cuando la composición del agua residual a evaluar presenta cierta variabilidad, se aconseja tomar muestras compuestas, la cual consta de muestras pequeñas individuales, que se toman proporcionales a un período de tiempo y/o al flujo de las aguas residuales para integrar una muestra total que se entrega al laboratorio (MARN, 2016).

Tiempo: se toman muestras pequeñas a intervalos de tiempo constantes y se integra una muestra total con cada una de las muestras recolectadas en el período total de muestreo (MARN, 2016).

Flujo: Tomado muestras de igual volumen, pero a intervalos de tiempo que son inversamente proporcionales al caudal de la corriente, es decir a mayor caudal de la corriente menores intervalos de tiempo de muestreo y viceversa (MARN, 2016).

## **c. Muestra Integrada**

Es aquella que se forma por la mezcla de muestras instantáneas tomadas en diferentes sitios simultáneamente, o lo más cerca posible para integrar una sola muestra (MARN, 2016).

### **3.3 Procedimiento De Muestreo**

Este debe de considerar una serie de actividades administrativas y técnicas de preparación de equipos y materiales para el desarrollo de la actividad como se detalla a continuación:

### 3.3.1 Acciones Previas

Un alto porcentaje de las actividades de muestreo de aguas son previas a la recolección misma de las muestras, actividades muy importantes de planificación de la cual depende el éxito del muestreo y se tratan a continuación:

- a) Realizar el requerimiento de análisis y materiales necesarios para el muestreo al laboratorio en el cual se desarrollarán los análisis de parámetros de calidad de agua.
- b) Revisar el itinerario para planificar el horario adecuado y probable para la toma de muestras requeridas.
- c) Comprobar el buen funcionamiento de los equipos de medición de calidad de agua a ser utilizado en campo y calibrarlos.
- d) Seleccionar los materiales de limpieza adecuados para los instrumentos de medición (solventes para lavar los electrodos, materiales de secado, paños, papeles, etc.)
- e) Decidir si la medición de parámetros en campo se efectuará por inmersión directa de los electrodos o con toma de muestras para preparar materiales necesarios.
- f) Determinar el número de mediciones en cada punto y preparar los materiales necesarios para dicho alcance.
- g) Considerar los elementos para el acondicionamiento posterior a las mediciones del instrumental utilizado (preservación, embalaje y transporte).
- h) Preparar los envases de capacidad adecuada para la toma de muestras compuestas.
- i) Revisión y preparación de recipientes (lavado y etiquetado) de recipientes.

- j) Preparación de cadena de custodia y bitácora de campo.
- k) Etiquetar muestras antes de desarrollo de campaña de muestreo con plumón indeleble (MARN, 2016).

### **3.3.2 Recolección de Muestras**

Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir los siguientes requisitos.

- a) Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar las determinaciones correspondientes.
- b) Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga.
- c) Al efectuarse el muestreo, deben anotarse todos los datos necesarios para la comprensión de los resultados.
- d) En caso de que las condiciones meteorológicas afecten la integridad de las muestras y/o la seguridad del personal, valorar suspender el muestreo (MARN, 2016).

A continuación, se menciona el procedimiento para la toma de muestras de agua.

#### **a. Procedimiento para Recolectar Muestras Instantáneas**

Estos procedimientos son según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

1. Tomar coordenadas del punto de toma de muestras utilizando un aparato de Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
2. Tomar datos de temperatura ambiental, condiciones ambientales que afecten la integridad de las muestras, hora, fecha y ubicación.
3. Determinar la temperatura ambiental con un termómetro de campo.
4. Determinar a través del equipo de campo, valores de pH, oxígeno disuelto, temperatura de la muestra, conductividad eléctrica, turbidez y reportarlo en la cadena de custodia.
5. Completar la información de las etiquetas de los frascos a utilizar.
6. Introducir los frascos y enjuagarlos en el vertido al menos dos veces con el agua residual para su acondicionamiento.
7. Recolectar la muestra de agua residual en un sitio de mezcla completa y colocar el volumen total en un balde con una capacidad de cinco galones.
8. En el caso de muestras de cañerías o válvulas a presión se debe dejar fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se procede a recolectar la muestra en el balde.
9. En el caso de muestras de colectores se recomienda tomar la muestra en el centro del colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado; si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, en un sitio sin mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.
10. Homogenizar la muestra y proceder a llenar los frascos requeridos para los análisis fisicoquímicos, metales y/o metaloides, a excepción de muestras bacteriológicas que deben de ser llenados directamente del sitio de muestreo. En el caso de ser requerido recolectar

muestras de oxígeno disuelto, se debe de realizar directamente del sitio de muestreo en zonas de mezcla completa con nula o poca turbulencia.

11. Llenar los frascos considerando un espacio libre de seguridad del 1% aproximadamente de la capacidad total de los frascos, a excepción de los frascos para análisis de DBO5 y Oxígeno Disuelto, los cuales deben de llenarse al 100% de su capacidad y sin burbujas de aire.
12. Preservar las muestras según lo indicado en el procedimiento con base a los requerimientos de análisis de laboratorio y teniendo el cuidado de no contaminar los preservantes.
13. Sellar cada muestra y colocarla en una hielera acondicionada a una temperatura entre 1°C y 4°C, para su posterior análisis en el laboratorio designado.
14. Transportar las muestras y la cadena de custodia con datos de campo al laboratorio en el menor tiempo posible, para que las muestras sean procesadas el mismo día.
15. Entregar muestras y cadena de custodia al laboratorio para procesamiento del requerimiento de análisis.

#### **b. Procedimiento para Recolectar Muestras Compuestas**

Estos procedimientos son según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

1. Tomar coordenadas del punto de toma de muestras utilizando un aparato de Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
2. Tomar datos de temperatura ambiental, condiciones ambientales que afecten la integridad de las muestras, hora, fecha y ubicación.
3. Determinar la temperatura ambiental en cada muestreo parcial con un termómetro de campo.

4. Determinar a través del equipo de campo, valores de pH, oxígeno disuelto, temperatura de la muestra, conductividad eléctrica, turbidez y reportarlo en la bitácora para cada muestra parcial.
5. Recolectar el volumen de muestra parcial estimada, para integrar la muestra compuesta de dos litros en el periodo de tiempo designado y colocar cada muestra parcial a temperatura controlada de 1 a 4°C hasta su composición.
6. Componer la muestra con volumen final de dos litros con las muestras parciales en porcentaje igual correspondiente al número de muestras recolectadas y el volumen final; la cantidad de muestra final debe de ser suficiente para el enjuague y llenado de los frascos de muestreo requeridos por el laboratorio.
7. Completar la información de las etiquetas de los frascos a utilizar.
8. Homogenizar la muestra y proceder a enjuagar los frascos al menos dos veces con agua del vertido y proceder a llenarlos para los análisis fisicoquímicos, metales y/o metaloides.
9. En el caso de requerirse una muestra bacteriológica compuesta se deben de recolectar las muestras parciales y solicitar al laboratorio las analice como una muestra compuesta; es responsabilidad del laboratorio componer la muestra en condiciones estériles.
10. En el caso de ser requerido recolectar muestras de oxígeno disuelto, se debe de realizar directamente del sitio de muestreo en zonas de mezcla completa con nula o poca turbulencia.
11. Llenar los frascos considerando un espacio libre de seguridad del 1% aproximadamente de la capacidad total de los frascos, a excepción de los frascos para análisis de DBO5 y Oxígeno Disuelto, los cuales deben de llenarse al 100% de su capacidad y sin burbujas de aire.

12. Preservar las muestras según lo indicado en el procedimiento con base a los requerimientos de análisis de laboratorio y teniendo el cuidado de no contaminar los preservantes.
13. Sellar cada muestra y colocarla en una hielera acondicionada a una temperatura entre 1°C y 4°C, para su posterior análisis en el laboratorio designado.
14. Transportar las muestras y la cadena de custodia con datos de campo al laboratorio en el menor tiempo posible, para que las muestras sean procesadas el mismo día.
15. Entregar muestras y cadena de custodia al laboratorio para procesamiento del requerimiento de análisis.

### **3.4 Procedimientos de Identificación, Preservación y Custodia de Muestras.**

Con el fin de hacer un adecuado manejo y de garantizar que los resultados de los análisis son confiables se establecen procedimientos para el resguardo de las muestras una vez tomadas y se presentan a continuación.

#### **3.4.1 Identificación de Muestras**

Es requerido de identificar los frascos de las muestras a recolectar indicando como mínimo su código u nombre del sitio donde se va a recolectar la muestra, sitio exacto de extracción, fecha, hora, tipo de preservación, responsable de recolección; dicha actividad debe realizarse antes de la recolección de esta con tinta indeleble en el frasco si es posible o con un tipo de viñeta resistente a la humedad. (MARN, 2016).

En el Anexo No. 2 se presenta un formato de etiqueta de frascos.

### **3.4.2 Bitácora de Campo**

Se debe de contar con una bitácora de campo y anotar todas las observaciones relevantes, realizadas en el día y momento de muestreo, en ella deben estar anotados los datos del sitio de muestreo, georreferencia de sitio exacto del muestreo, tipo de agua residual, tipo de muestreo a realizar, instalaciones de depuración existentes, materias primas principales, destino del efluente, tipo de industria, estimaciones de caudal circulante, croquis de ubicación de las descargas con indicación clara del sitio de extracción (marcando puntos fácilmente identificables para que cualquier persona reconozca luego el lugar de extracción), firma del responsable de la extracción y de la persona autorizada del lugar. (MARN, 2016)

### **3.4.3 Recipientes Para la Recolección de Muestras**

Los recipientes deben ser adecuados para el muestreo de cada parámetro y método de análisis a desarrollar, los siguientes criterios deben ser considerados a la hora de seleccionar los recipientes (MARN, 2016).

1. Material adecuado al parámetro de medición, por ejemplo: vidrio borosilicato, polietileno de alta densidad, teflón, bolsas. Los frascos de polietileno de alta densidad de preferencia deben ser nuevos para evitar interferencias.
2. Tomar en cuenta los problemas de contaminación y evaporación.
3. Tamaño adecuado para la cantidad de muestra.
4. Resistencia a la rotura o bien protegido para el transporte.
5. Resistencia a la temperatura de almacenamiento.

6. La persona responsable para preparar los recipientes y las hieleras debe estar entrenada con todos los métodos para garantizar su acondicionamiento.

### **3.4.4 Preservación de Muestras**

Las consideraciones necesarias para la preservación y almacenamiento son:

1. Las muestras requieren almacenamiento a temperatura entre 1°C y 4 °C y/o preservación con químicos para mantener su integridad durante el transporte y antes del análisis en el laboratorio.
2. Los preservantes químicos más comunes son ácido clorhídrico, nítrico, sulfúrico e hidróxido de sodio del grado de pureza analítica requerida por el método de análisis.
3. Cumplir los protocolos de manipulación adecuados para evitar contaminar los preservantes.
4. Las preservaciones deben ser adecuadas a los parámetros a determinar y deben tomar en cuenta los métodos de análisis.
5. Las hieleras utilizadas para el transporte de las muestras deberán ser apropiadas y de tamaño adecuado para almacenar las muestras tomadas, materiales de empaque y de enfriamiento (hielo, “ice pack”, etc.).
6. El personal responsable de la preparación de los reactivos debe estar capacitado para todos los procedimientos de preservación y almacenamiento (MARN, 2016).

El Anexo No. 3 muestra la tabla de preservación de muestras, tomado como referencia el Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. 21st Edition.

### **3.4.5 Cadena de Custodia de Muestras**

La cadena de custodia es un instrumento de aseguramiento de la trazabilidad en el acarreo y posesión de todas las muestras, desde la recepción de los envases, hasta la generación de resultados que son válidos para ser utilizados en procesos legales (MARN, 2016).

Para realizarla se da seguimiento al llenado de formularios de responsabilidad del manejo de las muestras, de tal manera de documentar todo el proceso de monitoreo en campo desde la toma de las muestras hasta su traslado al laboratorio. Para el MARN (2016), como mínimo debe contener la siguiente información:

- a) Firma del responsable de muestreo
- b) Información del sitio de muestreo: código de identificación del sitio, ubicación, fecha y hora de muestreo, tipo de muestreo y análisis solicitado.
- c) Información del responsable del traslado de las muestras.

El Anexo No. 1 incluye una propuesta de formato de cadena de custodia para muestras de aguas.

### **3.5 Aseguramiento y Control de Calidad del Muestreo**

El aseguramiento y control de calidad son parte esencial de todo sistema de monitoreo, comprende un programa de actividades (capacitación, calibración de equipos y registro de datos) que garantizan que la medición cumple normas definidas y apropiadas de calidad con un determinado nivel de confianza, o puede ser visto como una cadena de actividades diseñadas para obtener datos fiables y precisos. (MARN, 2016)

Las funciones de control de calidad influyen directamente en las actividades relacionadas con la medición en campo, la calibración de los equipos de campo y el registro de datos. Para garantizar el éxito del programa de muestreo, es necesario que cada componente del esquema de aseguramiento y control de calidad se implemente de manera adecuada (MARN 2016), para lo cual, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- a) Asegurarse que los frascos de muestreo cumplan con los requisitos técnicos establecidos en el protocolo.
- b) Enviar toda la documentación (formatos, cadena de custodia, etiqueta, oficios, etc.) de las muestras, asegurando que los datos de campo no varíen en su descripción.
- c) Es esencial que el personal de campo este entrenado para aplicar las metodologías estandarizadas y aprobadas.

### **3.6 Ubicación de los Puntos de Muestreo.**

No existe ningún método científico ni teórico para determinar los sitios donde se deben tomar las muestras. Lo primero que debe tener en mente el investigador responsable de la selección de los sitios de muestreo es que las muestras deben ser representativas del agua que se va a recolectar.

La ubicación de una estación de muestreo depende de varios aspectos entre ellos la facilidad de acceso, el tipo de cuerpo de agua (corriente, alcantarillado, lago, mar), el presupuesto y principalmente los objetivos del programa de muestreo (evaluación de una determinada descarga, muestreo rutinario, programa de seguimiento y control, etc.) (Sierra, 2011).

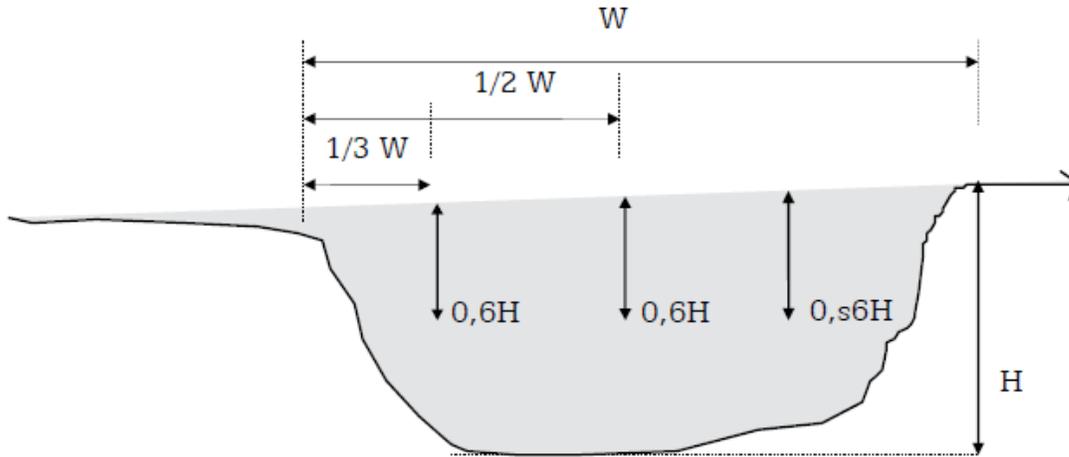
La experiencia y ciertos consejos o guías prácticas es a lo que se hace referencia para determinar la ubicación del sitio de muestreo. A continuación, se dan varias de estas guías, las cuales el lector no deberá tomar como reglas sino como recomendaciones (Sierra, 2011).

Las estaciones de muestreo deberán localizarse preferiblemente donde existan estaciones limnigráficas. Estos sitios por lo general tienen la ventaja de que son de fácil acceso, se puede medir el caudal y tienen secciones estables que hacen que la muestra sea representativa. Si se va a caracterizar una descarga, deben realizarse muestreos antes y después del punto de vertimiento. Para el muestreo aguas abajo de la descarga, la muestra se toma después de la longitud de mezcla. Si la corriente es muy ancha, puede existir gran variabilidad, lo cual hace necesario tomar varias muestras en la sección transversal o tomar una muestra integrada (Sierra, 2011).

El muestreo desde las riberas del río no es recomendable a no ser que no haya otra alternativa; en general, las muestras se deben tomar en tramos rectos preferiblemente en los puentes. Debe haber al menos una estación de muestreo localizada en las siguientes zonas:

- a) Zona de descomposición activa.
- b) Punto de mínimo oxígeno disuelto.
- c) Cambios bruscos en las características hidráulicas o geométricas de la corriente. Por ejemplo, después de la entrada de un tributario, un cambio de sección, etc.

Con respecto a la profundidad a la cual se toma el agua, es aconsejable seguir los mismos criterios que se emplean en hidrología para medir la velocidad del agua, es decir, a  $0,2H$  y a  $0,8H$  del fondo. Si se tiene presupuesto para una sola muestra, esta se debe tomar a  $0,6H$ . Cuando el río es ancho, profundo o no muy uniforme, las muestras se deben tomar como lo indica la figura 3.1 (Sierra, 2011).



**Figura 3.1:** Localización de los puntos de muestreo en una corriente o un canal

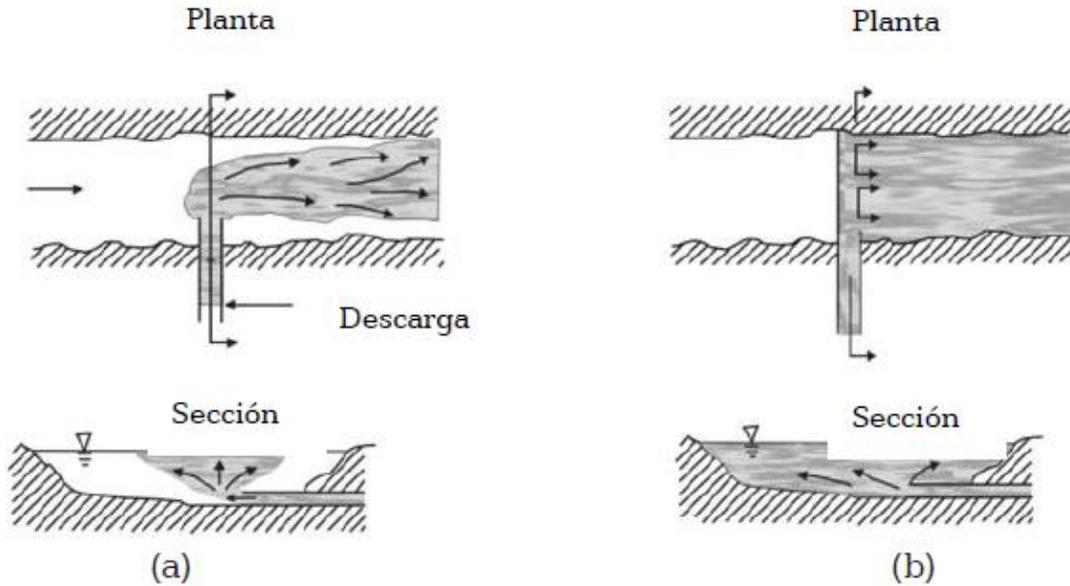
**Fuente:** Sierra, 2011.

### 3.6.1 Longitud de Mezcla

Cuando se trata de descargas puntuales es necesario determinar la distancia en la corriente a la cual el vertimiento se mezcla completamente con las aguas de la corriente. Esto se conoce comúnmente como longitud de mezcla ( $L_m$ ) y su aplicación más importante es en la ubicación de las estaciones de muestreo pues estas se deben localizar después de  $L_m$  para tener en cuenta el efecto de la dilución (Sierra, 2011).

Se empieza analizando el punto de vertimiento justo en el sitio donde ocurre la descarga, y la primera suposición clave que se hace es que el río es homogéneo con respecto a las variables de calidad del agua a lo largo del río (lateralmente) y a la profundidad (verticalmente). Tal como lo muestra la figura 3.2, la descarga se puede hacer desde la orilla directamente (figura 3.2 (a)) y usualmente se desarrolla una mancha o pluma que gradualmente se extiende a través del río y sobre toda la profundidad. Si, por el contrario, para mejorar las condiciones de dilución, la descarga se hace desde el centro o mitad de la sección a través de un difusor (figura 3.2 (b)), por ejemplo, una

tubería perforada a lo largo de la sección), entonces la pluma es más uniforme y el efecto de la descarga se diluirá a una distancia menor (Sierra, 2011).



**Figura 3.2:** Tipos de descargas de aguas residuales en una corriente

**Fuente:** Sierra, 2011.

En ambos casos, el cálculo de la distancia desde el punto donde ocurre el vertimiento para completar la mezcla es un tópico relativamente complicado cuyo efecto real debe ser determinado utilizando trazadores. Sin embargo, el orden de magnitud de la distancia desde una fuente puntual a la zona de mezcla completa puede ser simplificado teniendo en cuenta lo propuesto por Fischer et al. (1979).

Ya sea para cualquiera de los dos tipos de descarga que se muestran en la figura 10.2, se propone calcular un coeficiente de dispersión lateral para luego determinar la longitud de mezcla. La ecuación propuesta para determinar el coeficiente de dispersión lateral es:

$$E_{lat} = 0,6Hv^* \text{ (Ecn 2)}$$

Para una descarga realizada desde la orilla, la longitud de mezcla será:

$$L_m = 0,4 \times v \times \frac{B^2}{E_{lat}} \quad (\text{Ecn } 3)$$

Para una descarga en la mitad de la corriente, la longitud de mezcla será:

$$L_m = 0,1 \times v \times \frac{B^2}{E_{lat}} \quad (\text{Ecn } 4)$$

Donde,  $L_m$  es la distancia desde la fuente a la zona donde la descarga se mezcla lateralmente.

En las ecuaciones anteriores, las variables son:

$v$ : Velocidad promedio, m/s

$v^*$ : Velocidad del agua en el plano de cizalla, m/s

$B$ : Ancho promedio, m

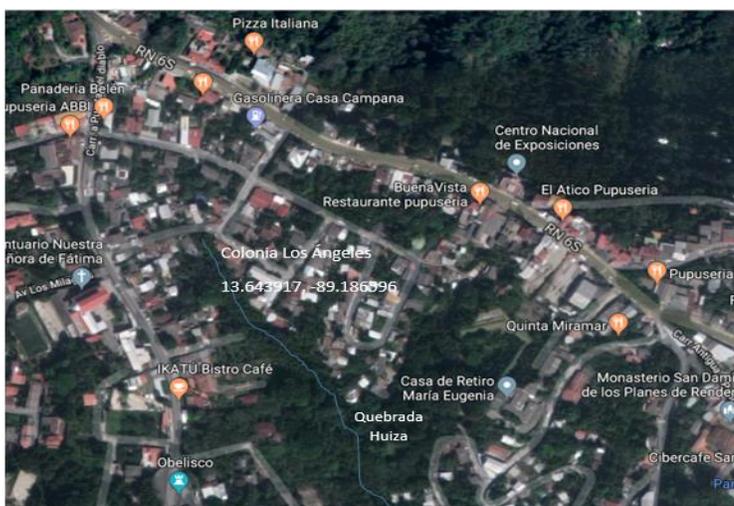
$H$ : Profundidad promedio, m. (Sierra, 2011.).

#### 4. Muestreo de Aguas Negras en Colonia Los Ángeles en Los Planes de Renderos

Este capítulo tiene como finalidad dar conocer todo el proceso que ocurrió en el muestreo de aguas negras en la colonia “Los Ángeles” en Los Planes de Renderos, así como también, los resultados de los análisis realizados y las propuestas de tratamiento que se adaptan de una mejor manera a la problemática del lugar.

##### 4.1 Recopilación de Muestras

Mediante reuniones con la Organización No Gubernamental de Ingeniería Sin Fronteras (ISF) y la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) en la Universidad de El Salvador, se concretaron reuniones con las personas que integran la Asociación de Vecinos de la colonia Los Ángeles en los Planes de Renderos (AVEPLAR).



**Figura 4.1:** Ubicación de la colonia Los Ángeles, Planes de Renderos, San Salvador

**Fuente:** Mapas de Google, 2019.

Las reuniones se realizaron con el objetivo de ejecutar un reconocimiento de la ubicación (figura 4.1) y topografía del lugar y seleccionar el posible punto de muestreo de agua y, al

identificar estos puntos, proceder a la disposición de la toma de muestras para su análisis. En la siguiente imagen se observa la ubicación de la colonia los Ángeles y de la quebrada Huiza en los Planes de Renderos.

La quebrada Huiza se encuentra en uno de los accidentes geográficos que caracterizan a la región de los planes de Renderos, es de difícil acceso en la mayor parte de su recorrido, ya que se encuentra bordeada por paredones de considerable altura y de tierras que con las lluvias típicas de la época se sobresaturan de agua y las hace lisas, lo que aporta al ya difícil acceso a la corriente de la quebrada. Esto se pudo constatar en la primera visita realizada al lugar, se accedió a la quebrada por medio de la casa de uno de los vecinos de la colonia, al hallarse en la corriente de la quebrada se observó de primera mano el impacto ambiental que se genera en la zona, hay muchos desagües de aguas grises y negras que son descargadas directamente a la quebrada sin ningún tratamiento previo produciendo una grave contaminación al medio ambiente en general.



a)

b)

**Figura 4.2:** *Condiciones del agua en la quebrada Huiza*

*(a) corriente de agua contaminada, b) vertedero de agua al aire libre*

Para ejecutar el muestreo, se accedió a la quebrada a través de la casa de uno de los vecinos de la zona, en este lugar la accesibilidad resultó menos difícil, ya que, lo paredones no eran muy altos y existe una vereda de acceso. En la figura 4.3 se especifican las coordenadas del punto de muestreo.



**Figura 4.3:** *Coordenadas geográficas del punto de muestreo*

**Fuente:** Mapas de Google, 2019.

## **4.2 Caracterización de aguas negras aplicada a la Colonia Los Ángeles en Los Planes De Renderos.**

Con la finalidad de definir las características tanto físicas como químicas de las aguas residuales que se generan día con día en la Colonia Los Ángeles, se realiza un monitoreo in situ del pH, temperatura y conductividad. Para la obtención de estos parámetros se utilizó un equipo multiparámetro Vernier, con el cual, se registran las variables que ayudan a caracterizar el agua descargada a la quebrada y facilita la trazabilidad de las mediciones. Adicionalmente, se adquirieron envases para la recolección de muestras de forma apropiada; entre estos envases se encuentran: una botella de color ámbar para evitar la alteración por rayos ultravioleta, una botella

de plástico y una bolsa especial, suministrada por el laboratorio en el que se realizan los ensayos acreditados, en la que se almacena la muestra para sus respectivos análisis microbiológicos.

La recolección de muestras (figura 4.4) inicia con el equipo de protección personal que cada integrante debe utilizar, esto consiste en gafas, trajes de cuerpo completo, botas, guantes para manipulación de sustancias peligrosas y mascarillas con filtros de carbón activado que impiden la contaminación por los gases que se producen en la generación de aguas negras. Previo a esto, se calibró el equipo multiparámetro Vernier, dicha calibración se realiza con soluciones estandarizadas provistas por el fabricante. El multiparámetro almacena las mediciones registrando la hora, fecha y dos sondas que, a través de sus electrodos, son las responsables de registrar los parámetros de pH, temperatura y conductividad. Cuando ya se tienen todas las medidas de calibración y prevención listas se procede a la recolección de muestras, la cual, tiene lugar en un punto específico de la quebrada Huiza que se muestra en la imagen 4.2, en un intervalo de 2 horas, con espacios de 20 minutos entre cada toma, siguiendo el procedimiento de tomas de muestras que se especifica en el capítulo 3 (muestra compuesta). Una vez obtenidas las muestras, se guardan en los recipientes asignados y se almacenan en una hielera para su transporte desde el punto de muestreo hasta el laboratorio encargado de la realización de los análisis.

Los resultados obtenidos en el laboratorio son la base principal para un estudio más acentuado sobre la selección de tecnologías o sistemas de tratamiento de aguas que pueden adaptarse a las necesidades de la comunidad además, de los parámetros económicos que en este caso son bastante importantes debido a la necesidad de un sistema de tratamiento que sea asequible para las personas o para la municipalidad, en el caso que esta, tome acción en el tema y ayude a los habitantes a poner en marcha una iniciativa para el saneamiento de la colonia los Ángeles y de las comunidades vecinas.



*Figura 4.4: Toma de muestras de aguas negras en quebrada Huiza*

Las mediciones se realizaron el sábado 31 de agosto, tomando en cuenta las condiciones climáticas durante esa semana para evitar la obtención de parámetros que no representen la situación actual del lugar. En la tabla 4.1 se muestran los valores que se obtuvieron en la quebrada Huiza.

*Tabla 4.1: Parámetros in situ de aguas negras en quebrada Huiza*

<b>Número de muestra</b>	<b>T (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (mS)</b>
1	22.1	9	200
2	21.9	8.4	230
3	22.0	8.6	220
4	22.3	8.2	210
5	22.1	8.6	205
6	22.5	9.1	225
<b>Final</b>	<b>23.2</b>	<b>8.8</b>	<b>224</b>

Al finalizar los análisis fisicoquímicos que corresponden a los parámetros exigidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria RTS 13.05.01:18 que refiere al Agua Residual de Tipo Ordinario vertida a un cuerpo receptor, se presentan en la siguiente tabla los resultados de estos, contrastados con los criterios requeridos por la normativa antes mencionada.

Tabla 4.2: Parámetros fisicoquímicos de aguas negras en quebrada Huiza (Anexo 4)

Parámetro	Especificación	Resultados	% de Remoción
pH	5.5-9.0	8.0	0%
SST	60 mg/l	60.0 mg/l	0%
DQO	150 mg/l	393.8 mg/l	61.9%
DBO	60 mg/l	294.2 mg/l	79.6%
Aceites y Grasas	20 mg/l	26.2 mg/l	23.7%
Cloruros	No disponible	25.2 mg/l	-
Fósforo Total	15 mg/l	3.7 mg/l	0%
Nitrógeno Total	50 mg/l	26 mg/l	0%
Coliformes Fecales	2,000 NMP/100 ml	35,000 NMP/100 ml	94.3%

El cálculo del porcentaje de remoción se estimó de acuerdo con la siguiente relación (Scavo, 2004):

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{\text{Concentración de entrada} - \text{Concentración de salida}}{\text{Concentración de entrada}} \times 100 \text{ (Ecn 5)}$$

Se observa que la mayoría de los parámetros están por encima del límite permitido por la norma salvadoreña, incluso, tomando en cuenta que esta norma es bastante permisiva en comparativa a las normativas de otros países. El dato más elevado, se divide en la cantidad de coliformes fecales, la cual, es un 1650% mayor que el valor máximo permitido, lo que proporciona una idea del problema que representa para la comunidad y el medio ambiente.

#### 4.2.1 Discusión de Resultados de Análisis de Aguas Negras en Colonia Los Ángeles

1. pH: Este término se utiliza de forma universal para poder definir si una sustancia es básica o ácida. El pH óptimo debe encontrarse 5.5 y 9.0 es decir, entre neutra o ligeramente alcalina. Las aguas que tienen un pH menor al límite inferior resultan corrosivas debido al anhídrido carbónico o ácidos y sales ácidas que tienen en disolución. Dado que el resultado de los análisis es 8.0 el parámetro se encuentra dentro de los límites establecidos, pero con

el riesgo de poder incrementar si no se le brinda el tratamiento adecuado a las aguas que se vierten a la quebrada.

2. DBO: es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un agua. Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en  $\text{mgO}_2/\text{l}$ . La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a  $20^\circ\text{C}$  durante 5 días de manera estándar, denominándose  $\text{DBO}_5$ . Se tomó 5 días como estándar porque es el tiempo medio que los ríos británicos tardan en llegar al mar. Debido a que el resultado es igual a  $294.2 \text{ mg/l}$ , lo cual indica que el agua se encuentra muy contaminada, ya que el porcentaje de remoción para lograr los parámetros que la ley establece es de 79.6%.
3. DQO: es la demanda química de oxígeno del agua. Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Se expresa también en  $\text{mgO}_2/\text{l}$ . Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. Debido a que el porcentaje de remoción también es del 61.9% se advierte que las condiciones de contaminación del agua en cuestión son bastante graves y que deben tomarse medidas al respecto.
4. Aceites y Grasas: es uno de los parámetros que también se encuentra fuera de especificación, su importancia radica en el efecto que produce en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales ya que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del  $\text{CO}_2$  del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden

llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar. Como consecuencia, los niveles de grasas y aceites están profundamente relacionados con los niveles de DQO y DBO, es por esto, que la tecnología seleccionada debe cumplir los requisitos de tratamiento que estas aguas negras exigen.

5. Coliformes Fecales: Debido a que las muestras pertenecen a aguas negras la presencia de coliformes fecales resulta evidente, pero debido a que estas aguas son vertidas sin ningún tratamiento previo a un cuerpo receptor, los altos niveles de contaminación por este parámetro poseen un excedente de 1650% fuera de especificación de acuerdo con la norma, representando de esta manera, un riesgo sanitario para las comunidades aledañas a la quebrada. Cabe recordar que la quebrada finaliza en el río Huiza y que este a su vez recorre la cordillera del bálsamo por lo que la contaminación puede provocar enfermedades de tipo parasitarias, bacterianas o virulentas a la población que de forma directa o indirecta hace uso del agua que poseen estos cuerpos receptores.

#### **4.3 Selección de Propuestas de Sistemas de Tratamiento de Aguas Negras en Colonia Los Ángeles**

La selección tiene como objetivo determinar dos de las tecnologías que mejor se adapten a las condiciones en la Colonia Los Ángeles, tomando como parámetros de evaluación los aspectos técnicos, económicos y ambientales garantizando que los sistemas determinados serán los más adecuados. Se les comparará las variables de cada sistema con el fin de seleccionar la mejor opción.

Las dos opciones más adecuadas tomando en cuenta las variables antes mencionadas son:

### **a) Tanque Séptico-Filtro Anaerobio**

El sistema Tanque Séptico-Filtro Anaerobio es una lección bastante viable debido a que su operación no necesita de una supervisión constante de un personal especializado, en varios países se ha utilizado el sistema para viviendas de 6 a 10 habitantes como también para escuelas, y lugares con poblaciones que rondan desde 120 a 4,000 habitantes, esto es un gran punto a favor por su conveniente tamaño de acuerdo con la cantidad de habitantes de una zona.

Tomando en cuenta su diseño, es fácilmente adaptable a la mayoría de terrenos, generando una mínima cantidad de desechos los cuales al finalizar el ciclo podrían ser usados como abono (realizando los estudios pertinentes para su utilización), proporcionando un decremento en los parámetros y por lo tanto mejorando su efluente, el cual va directo a la quebrada Huiza que desemboca en el Rio Huiza donde habitan variedad de flora y fauna, por lo que una mejora en las aguas vertidas en la quebrada Huiza es de suma importancia.

### **b) Tanque de Evapotranspiración.**

También conocido como TEvap por sus siglas en inglés, este sistema es utilizado para tratamiento de aguas negras domesticas en zonas de bajos recursos. El TEvap es diseñado a base de suelo y plantas que consiste en un tanque rectangular impermeable relleno de capas de diferentes substratos y plantas de rápido crecimiento con una alta absorción de agua, su cámara anaeróbica la cual permite que los sólidos sedimenten y puedan digerirse parcialmente, genera una baja considerable en los parámetros del agua, además posee un

tubo que sirve como drenaje en caso de cualquier rebalse protegiendo el sistema; Se recomienda que tiene que poseer un volumen de 2 metros cúbicos por un hogar, con un promedio de 4 personas por hogar, lo que hace de este sistema una gran opción son todos sus materiales de construcción que son bastante económicos, haciendo que este sistema sea muy factible para zonas de bajo recursos.

## **5. Costos y Requerimientos de Sistemas de Tratamiento de Aguas Negras.**

En este capítulo se aborda la factibilidad que tiene un proyecto de esta clase en El Salvador, cuáles son los requerimientos básicos y las normativas legales que existen referente al tema, además de los costos aproximados que podría tener la construcción de estos.

### **5.1 Criterios Técnicos Sanitarios a Considerar en el Otorgamiento de Factibilidad para la Instalación de Sistemas de Tratamiento Individuales de Aguas Negras.**

Como se cita anteriormente, en El Salvador existe una grave crisis en lo que respecta al tratamiento de aguas negras tanto industriales como provenientes de viviendas, sobre todo porque no existe un reglamento o ley que regule la construcción o implementación de sistemas de tratamientos de aguas negras y grises de forma individual. Debido a esta situación, el Ministerio de Salud (MINSAL) creó una guía técnica que sirve para todos aquellos que estén interesados en brindar tratamiento a las aguas negras generadas en su hogar. Cabe aclarar que esta guía está elaborada para sistemas de tratamientos individuales convencionales y ya que, las tecnologías elegidas no figuran en el reglamento, se tomarán criterios generales que pueden aplicarse a los sistemas elegidos.

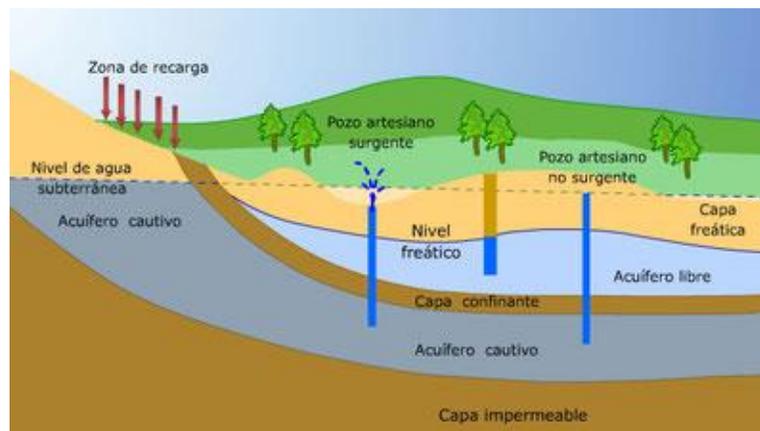
Para la obtención de factibilidad de un sistema de tratamientos de aguas negras individuales el MINSAL recomienda que se cumplan los siguientes criterios:

1. Prever la instalación de letrina con arrastre de agua.
2. Existencia de condiciones hidrogeológicas favorables.
3. Disponer del espacio requerido para su instalación.

4. La profundidad del pozo de absorción (si lo hay) sea tal, que permita que la distancia del fondo del pozo al nivel freático sea igual o mayor a tres metros medidos en forma vertical y en época lluviosa.
5. Cuando no se cumpliera con la distancia vertical requerida (tres metros), se podrá construir uno o varios pozos de absorción en serie o paralelo, cumpliendo con la altura mínima del fondo del pozo al nivel freático. La sumatoria de la profundidad de los pozos en serie o paralelo instalados debe ser igual o mayor a la altura de diseño. La distancia entre pozo y pozo debe ser como mínimo de tres veces el diámetro.

### 5.3 Nivel Freático en Colonia Los Ángeles, Planes de Renderos

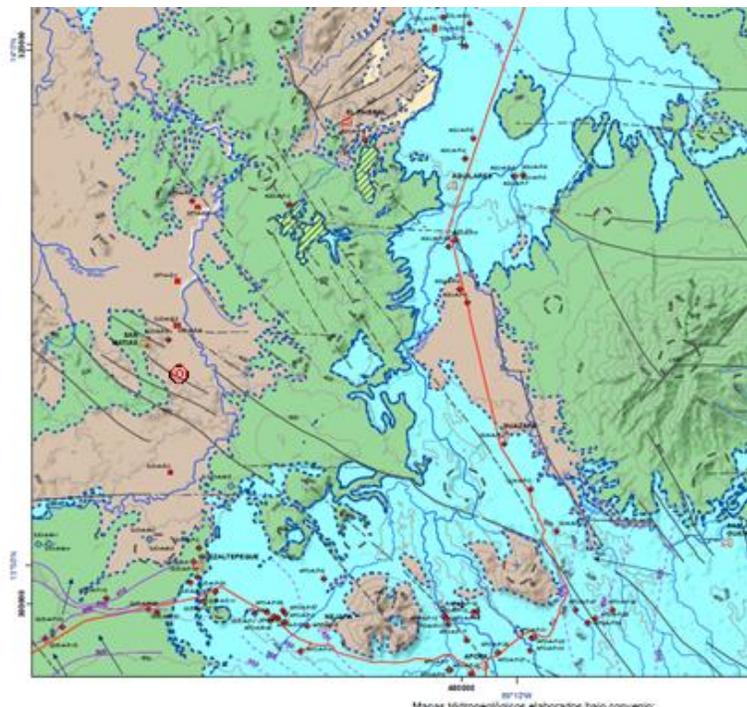
Al perforar un pozo de captación de agua subterránea en un acuífero libre, el nivel freático es la distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno.



**Figura 5.1** Ubicación del Nivel Freático

**Fuente:** CHILE.CUBICA, 2019

Para poder conocer el nivel freático de una zona se consideran los niveles freáticos de los pozos cercanos y se elabora un promedio, pero, según el mapa hidrogeológico presentado por ANDA, en el que se focaliza la zona de Los Planes de Renderos usando como guía las coordenadas GPS (13.642106, -89.185403) que se encuentra identificada en la figura 5.1.2 y como se observa, no hay indicios de que se encuentren acuíferos cercanos por lo que puede concluirse que en la zona de la Colonia Los Ángeles del Cantón Los Planes de Renderos el nivel freático se encuentra a un nivel bastante profundo según los datos proporcionados por ANDA, para poder tener una mayor certeza sobre esto en la zona se necesita realizar un estudio de pozos y de mantos acuíferos con mayor detenimiento y precisión.



**Figura 5.2** Mapa Hidrogeológico de El Salvador

Fuente: ANDA, 2008.

### **5.1.1 Información Adicional Sobre la Hidrogeología**

El MINSAL, en su guía también facilita una descripción de los suelos y de las características de estos para la selección adecuada del sistema de tratamiento de aguas negras.

#### **a) Terreno limo arenoso, arena limosa, cascajo, suelo orgánico y arena.**

Son los terrenos ideales para la excavación y absorción. En estos terrenos se puede instalar tanque séptico con pozo de absorción, siempre y cuando el nivel freático lo permita.

#### **b) Terrenos rocosos.**

En este tipo de terreno, puede instalarse un sistema de tratamiento individual de aguas negras y grises, utilizando tanque séptico con pozo de absorción, siempre que la profundidad del nivel freático lo permita; a excepción de terrenos conformados por talpetate. Para este caso, se debe construir una trampa para grasa semienterrada hasta donde el terreno lo permita y disponer las aguas provenientes del tanque séptico y de la trampa para grasa en una zanja de arena filtrante.

#### **c) Terrenos planos con nivel freático superficial.**

Para este tipo de terreno se puede elegir un tanque séptico prefabricado de polivinilo de dos cámaras o de otro material técnicamente adecuado para la retención de sólidos y líquidos en condiciones de humedad. Para el tratamiento del efluente del tanque séptico y de la trampa para grasa, se requiere la instalación de una zanja de arena filtrante. Si las pendientes y el área disponible del terreno lo permiten, se puede construir la zanja de arena filtrante sobre el nivel del

terreno. Si se dificulta la instalación de este tipo de sistema, se debe disponer de una letrina sin arrastre de agua para el tratamiento de excretas y una zanja de arena filtrante para el tratamiento de aguas grises que incluya trampa para grasa.

**d) Terrenos arenosos de zona costera marina.**

Para este tipo de terrenos, se puede elegir un tanque séptico prefabricado de polivinilo de dos cámaras o de otro material técnicamente adecuado para la retención de sólidos y líquidos en condiciones de humedad. También se pueden considerar otros diseños de comprobada eficacia presentados por el usuario, elaborados por un profesional competente. Para el tratamiento del efluente del tanque séptico y la trampa para grasa, se requiere la instalación de un sistema de zanja de arena filtrante, la cual se protege con planchas de cemento, a fin de evitar el ingreso de agua marina y lluvia.

**e) Terrenos arcillosos y otros de baja permeabilidad.**

Para este tipo de terrenos y cuando el nivel freático lo permita se debe instalar fosa séptica con pozo de absorción, preferentemente a una profundidad donde exista material filtrante y que dicha profundidad sea mayor o igual a la resultante del diseño. Si la extensión del terreno lo permite también se puede construir un sistema que incluya zanja de infiltración o campo de riego o zanja de arena filtrante. Si el nivel freático es menor de 6 metros, no es recomendable la instalación de sistemas de tratamiento de aguas negras. Para este caso se debe recomendar la instalación de una letrina de tipo abonera seca familiar o letrina solar para evitar la filtración de las aguas negras hacia el manto acuífero y un sistema para el tratamiento de aguas grises con pozo de absorción o zanja

de infiltración o campo de riego o zanja de arena filtrante, de acuerdo con la profundidad del nivel freático y que incluya trampa para grasa.

Para el caso específico de la región de los Planes de Renderos que es una zona montañosa, según un estudio realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en el 2012 el cantón los Planes de Renderos tiene un suelo de tipo andisol; esto significa que es un suelo de origen volcánico de color negro, rocosos y con buena permeabilidad, que es típico de zonas montañosas (FAO, 2008).

### **5.1.2 Mantenimiento de Sistemas Individuales de Tratamiento de Aguas Negras.**

Antes de poner en funcionamiento un tanque séptico recién construido, debe verterse, de ser posible, unas cinco cubetas con lodos provenientes de otra fosa séptica, a fin de acelerar el desarrollo de los organismos anaerobios.

El tanque séptico remueve la materia sólida de las aguas negras por decantación (precipitación o separación de sólidos), lo que permite que se hundan los sedimentos y que floten los materiales de menor densidad del agua. Para que esta separación ocurra, las aguas negras deben permanecer en el tanque séptico por un mínimo de 24 horas. Del total de la materia sólida contenida en el tanque séptico, aproximadamente el 50% se descompone; el restante se acumula en el tanque. No es indispensable el uso de aditivos biológicos ni químicos para ayudar o acelerar la descomposición.

El sedimento continúa acumulándose en el fondo del tanque séptico mientras se utiliza el sistema, sin requerir ningún tipo de intervención. Los tanques sépticos diseñados debidamente cuentan con espacio seguro para la acumulación de al menos tres años de sedimento. Cuando el

nivel del sedimento sobrepasa este punto, las aguas negras tienen menos tiempo para separar la materia sólida del agua antes de salir del tanque séptico, por lo que el proceso deja de realizarse con eficacia. Mientras más sube el nivel del sedimento, más materia sólida entra en el sistema de filtración (pozo de absorción, zanjas de infiltración o campo de riego o zanja de arena filtrante).

Si el sedimento se acumula durante demasiado tiempo, no ocurre ninguna separación de materia sólida del agua y las aguas negras entran directamente en el sistema de filtración. Para prevenir esto, el sedimento tiene que ser retirado del tanque séptico periódicamente.

Para la limpieza de los tanques sépticos se puede contratar a una empresa autorizada por la institución competente y de ser posible podría ser un recurso que la alcaldía correspondiente de la zona brinde cada cierta cantidad de tiempo para facilitar a los habitantes de la colonia la utilización de la tecnología en mención. El producto extraído para este caso debe enterrarse o depositarse en un lugar autorizado por la institución competente.

Si la limpieza del tanque séptico es realizada en forma manual por parte de los usuarios, el sedimento extraído debe mezclarse con hidróxido de calcio (cal) y asolearse en un sitio seguro previo a ser enterrado, considerando la profundidad del nivel freático, de tal forma que la distancia vertical del nivel del manto freático al fondo del sedimento enterrado sea como mínimo de 3 metros, para evitar la contaminación del agua subterránea. El sedimento extraído no debe disponerse en cuerpos superficiales de agua o depositarse a la intemperie, aun cuando éste haya sido secado o tratado con cal. Los líquidos deben ser extraídos utilizando un recipiente (cubeta, balde) y disponerse en el sistema de infiltración y por ninguna razón se depositarán en cuerpos superficiales de agua.

Nunca se deben usar cerillos, antorchas u otros objetos encendidos para inspeccionar un tanque séptico que haya estado en uso, ya que el gas metano acumulado en el tanque séptico, puede provocar una explosión.

El tanque séptico no debe lavarse ni desinfectarse después de haber extraído los lodos. La adición de desinfectantes u otras sustancias químicas perjudican su funcionamiento.

Independientemente de la forma de limpieza del tanque séptico, se debe dejar dentro de la cámara del tanque una cantidad de sedimento de un espesor de 10 centímetros aproximadamente para continuar con el proceso.

## **5.2 Costos de Implementación de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Negras**

El estudio económico es la herramienta que ayuda en la toma en la elección entre las dos tecnologías (tecnología de fosa séptica, tecnología TEvap) y optar por la más adecuada tomando en cuenta los recursos económicos que conlleva la implementación del proyecto, focalizándose nada más en su costo.

Se utilizará el método de comparación entre cada costo para visualizar cuál de las dos tecnologías seleccionadas es más factible económicamente, tomando en cuenta parámetros como el costo por obras civiles, operaciones administrativas, operación, mantenimiento de la tecnología y el valor presente neto el cual es un muy buen indicador para comparar ambas tecnologías en el tiempo de 5 años, este valor se calculara mediante una formula (Ver Ecn 4), sabiendo así cual sería la inversión inicial aproximada necesaria para la implementación de esta y de esta manera poder dar una opción que sea económicamente aceptable para quienes quieran construir un sistema en sus casas.

$$\text{Valor Presente Neto} = -I - \sum \left( \frac{Vf}{(1+i)^N} \right) \text{ ecn. 6}$$

Dónde:

$I$  = Inversión inicial

$Vf$  = Valor en el futuro

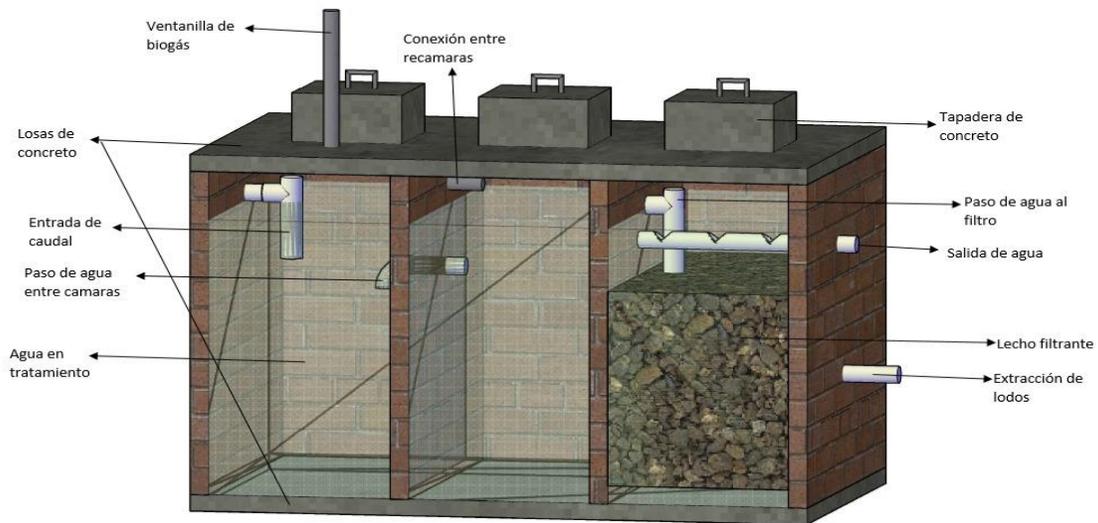
$i$  = Tasa de interés

$N$  = Cantidad de periodos

Se utiliza una tasa de interés de 7% ya que es la implementada por los bancos a la hora de realizar préstamos y una cantidad de periodos de 5 años porque es la vida útil utilizada en todos los equipos comúnmente.

### **5.2.1 Fosa Séptica con Filtro Anaerobio**

Como se menciona en capítulos anteriores, la fosa séptica con filtro anaerobio puede ser una buena opción cuando no se cuenta con suficiente espacio para la construcción y a que solo requiere 0.5 m<sup>2</sup> por persona para poder funcionar en óptimas condiciones, pero se hace necesaria la disposición de las aguas y los lodos que quedan del proceso. A continuación, se dimensiona un sistema básico para una familia de 4 personas.



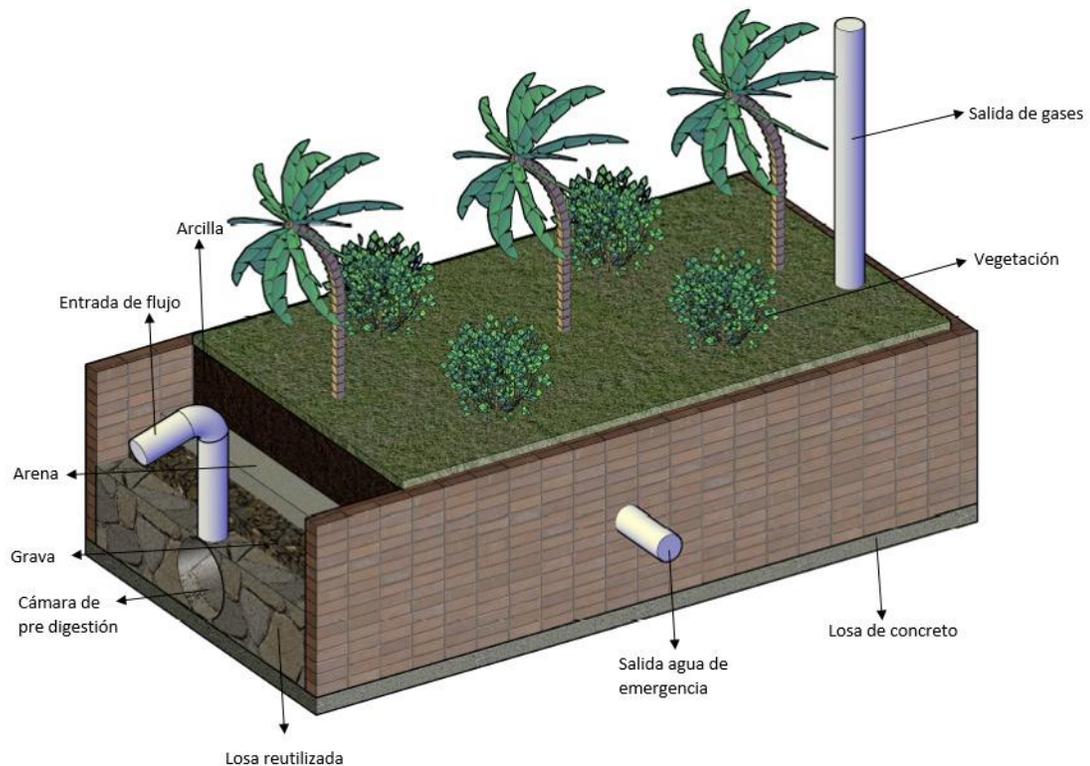
**Figura 5.3** Esquema para fosa séptica.

*Tabla 5.1 Análisis económico Fosa Séptica.*

<b>Cotización Fosa Séptica</b>			
Obras civiles	Adecuación del terreno	\$ 150.00	\$ 550.00
	Construcción de fosa séptica	\$ 150.00	
	Construcción de los patios de secado	\$ 100.00	
	Construcción del filtro anaerobio	\$ 150.00	
Operación y Mantenimiento	Productos químicos	---	\$ 200.00
	Disposición de lodos	\$ 100.00	
	Control de operaciones	---	
	Mantenimiento de las cámaras y tuberías	\$ 100.00	
Administrativos	Mano de obra	\$ 200.00	\$ 300.00
	Permisos de ley	---	
	Capacitaciones	\$ 100.00	
	OTROS GASTOS	---	
SUB TOTAL			\$ 1,050.00
IVA		13%	\$ 136.00
TOTAL			\$ 1,186.50
Valor Presente Neto (VPN)			\$ 2,006.54

### 5.2.2 TEvap.

El sistema de evapotranspiración (TEvap por sus siglas en inglés) es una muy buena opción debido a que no hay residuos que tratar y que la fácil construcción de este al no necesitar demasiados materiales y también su cámara anaeróbica se puede hacer con materiales de construcción reciclados, pero podría presentar un problema en el espacio ya que necesita de 2 m<sup>2</sup> por persona para que pueda trabajar en la manera óptima. A continuación, se presenta un diseño para una familia de 4 personas.



*Figura 5.4 Esquema de TEvap*

Tabla 5.2 Análisis Económico TEvap.

<b>Cotización TEvap</b>			
Obras civiles	Construcción del tanque impermeable	\$ 150	\$ 250.00
	Construcción de la cámara anaerobia	\$ 100	
Operación y Mantenimiento	Mantenimiento o cuidado de la vegetación involucrada	\$ 50	\$ 50.00
Administrativos	Mano de obra	\$ 200	\$ 200.00
	Capacitaciones	--	
	Permisos de ley	--	
	OTROS GASTOS	--	
SUB TOTAL			\$ 500.00
IVA		13%	\$ 56.50
TOTAL			\$ 556.50
Valor Presente Neto (VPN)			\$ 761.51

### 5.3 Comparativo de Costos.

Para lograr una mejor visibilidad sobre los costos de implementación y mantenimiento de ambas tecnologías, se elabora el siguiente cuadro resumen y así tomar una decisión sobre cuál se adecua mejor para los habitantes de la colonia Los Ángeles.

Cabe recalcar que los costos pueden variar de acuerdo con la calidad y tipo de materiales escogidos y al personal requerido o contratado para su instalación, para este caso se utilizó la cotización de la empresa CIFA El Salvador la cual proporcionó los datos necesarios para realizar un cálculo más certero y preciso en cuanto a los precios para la construcción de los diseños seleccionados.

*Tabla 5.3 Comparativo de costos de Fosa Séptica y TEvap*

<b>COSTOS DE LAS TECNOLOGIAS SELECCIONADAS</b>		
VARIABLES	TECNOLOGÍA	
	FOSA SÉPTICA	TEvap
OBRAS CIVILES	\$550.00	\$250.00
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$200.00	\$50.00
ADMINISTRATIVOS	\$300.00	\$200.00
SUBTOTAL	\$1,050.00	\$500.00
IVA	\$136.50	\$56.50
TOTAL	\$1,186.50	\$556.50
VPN	\$ 2,006.54	\$ 761.51

#### **5.4 Matriz de Comparación.**

Se utilizará un cuadro comparativo mostrando las diversas variables que facilitan la visualización de la opción que denota las condiciones óptimas para su implementación; Se tomará una calificación para cada parámetro según la siguiente tabla:

*Tabla 5.4 Ponderación de aspectos a evaluar*

Descripción	Porcentaje
Porcentaje de remoción	25
Costos	30
Requerimientos del MINSAL	25
Espacio disponible	20
Total	100

Los porcentajes asignados en la tabla anterior fueron el resultado de la discusión del grupo de trabajo con respecto a la relevancia de cada aspecto para este caso en específico tomando en cuenta los porcentajes de remoción necesarios para cumplir con la norma medioambiental y servirán para asignar una calificación a cada sistema. En la siguiente tabla se muestra en que porcentaje cumple cada sistema con las categorías y la puntuación final.

*Tabla 5.5 Calificación de cada sistema de tratamiento de aguas negras*

<b>Tecnología</b>	<b>Fosa Séptica</b>	<b>TEvap</b>
Porcentaje de Remoción	82%	95%
Requerimientos del MINSAL	100%	100%
Costos	47.62%	100%
<b>Tecnología</b>	<b>Fosa Séptica</b>	<b>TEvap</b>
Espacio disponible	90%	70%
Calificación	0.778	0.928

Para el caso del estudio económico, solo se clasifica de acuerdo con el presupuesto que resulta más bajo, el porcentaje de la otra tecnología se calcula de acuerdo con la diferencia en el precio.

$$\frac{500.00 \cdot 100\%}{1,050.00} = 47.62\% \text{ ecn. 7}$$

Entonces, como se observa en la tabla 5.5, el sistema que más se adecua a la Colonia los Ángeles es el TEvap, aunque esto tampoco indica que no puede usarse la fosa séptica con filtro anaerobio, ambas tecnologías pueden servir para el tratamiento de las aguas negras, pero como se ve en el desarrollo de este capítulo y utilizando como base solamente costos de implementación, operación, mantenimiento y gastos legales, el TEvap supera a la fosa séptica.

Las dimensiones para este sistema y para una familia de 4 personas se muestra en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7.



Figura 5.5: vista lateral TEvap.



Figura 4.6: vista posterior TEvap.



Figura 5.7: vista superior TEvap.

## **6. Implementación de Sistema Integral de Tratamiento de Aguas Negras en la Comunidad.**

Para poder brindar una solución factible a la problemática de aguas negras en la colonia Los Ángeles no solamente consiste en diseñar y construir un sistema que pueda ayudar a tratar estas aguas, sino también, que la población afectada tome consciencia sobre la importancia de su participación en el mantenimiento y operación de la tecnología a desarrollar, formando parte de una cultura de desarrollo sostenible que incluya el cuidado y preservación del medio ambiente para generaciones futuras.

Solamente creando una cultura de educación ambiental que sensibilice la importancia de la colaboración de la población con entidades tanto gubernamentales (locales o centrales) o no gubernamentales puede asegurar que, la disposición final de los desechos generados por la tecnología seleccionada previamente no perjudique en ninguna medida la salud de los habitantes de la zona y otras aledañas ni la integridad del medio ambiente que les rodea.

### **6.1 Principales Desechos Generados por el Tanque de Evapotranspiración.**

Entre los principales desechos que se generan en el tanque evapotranspiración se encuentran los lodos, los cuales según el MARN y el RTS 13.05.01:18 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS REDISUALES estos se clasifican en lodos sépticos.

Los lodos sépticos son aquellos que se conforman de materiales sólidos o semi sólidos removidos de pozos o tanques sépticos, sanitarios portátiles, aparatos marinos sanitarios o

cualquier sistema similar que recibe sólo excretas y aguas ordinarias (siendo éste el caso de los habitantes de la colonia Los Ángeles).

En el inciso 5.8 de este reglamento técnico habla del manejo de los lodos residuales, y hace especial mención sobre las responsabilidades del titular generador de lodos (cada uno de los habitantes en donde se desarrolle la tecnología establecida en capítulos anteriores). En esta sección se menciona que los habitantes deben ser responsables de:

- a) Utilizar los servicios de gestores autorizados por el MARN para recolectar, caracterizar, aprovechar, transportar, eliminar a través de diferentes procesos, coprocesar, disponer y confinar los lodos adecuadamente.
- b) Buscar alternativas para disminuir la cantidad y volumen de lodos generados, así como implementar tecnologías apropiadas para la recuperación de materia energética y de la fracción metálica suspendida en los mismos, a fin de reducir riesgos de contaminación y fomentar su posible aprovechamiento.
- c) Contar con un programa de monitoreo que incluya: la forma y frecuencia de desazolve de los sistemas de tratamiento utilizados, el tratamiento previsto, el almacenamiento o envasado, el transporte, la frecuencia y el sitio de disposición final.
- d) Operar y dar mantenimiento a los sistemas de tratamiento y alcantarillado sanitario, bajo su responsabilidad a fin de asegurar su buen funcionamiento.

Entonces, cabe preguntar ¿cuáles son los servicios gestores autorizados por el MARN para disponer de los lodos adecuadamente? El principal y más utilizado hasta la fecha es el uso de rellenos sanitarios, pero estos, si hablamos de sistemas integrales, no ofrecen el beneficio propicio para el medio ambiente debido a un exceso de acumulación de residuos no tratados adecuadamente.

Debido a que desde el año 2000 no se establece ningún marco legal aparte del Reglamento Especial para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos, el MARN ofrece una Propuesta de Ley General de Gestión Integral de Residuos que hasta la fecha no cuenta con aprobación.

Esta ley tiene por objetivo regular la gestión integral de los residuos para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación y valorización de todo tipo de residuos (incluyendo lodos). Aunque en ella no hace referencia a ninguna alternativa sustentable que aparte de la realización del compostaje. Por tanto, se puede aseverar que El Salvador presenta un déficit en leyes que protejan y velen por el bienestar del medio ambiente, sobre todo por el adecuado manejo de cualquier tipo de residuo sólido.

## **6.2 Alternativas para Disposición Final de Lodos**

En cuanto a las maneras para hacer disposición de los lodos se tienen las siguientes opciones:

### **a) Encapsulamiento**

El encapsulamiento es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el concreto y el plástico. El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y el proceso de encapsulamiento requiere altas temperaturas. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico; sin embargo, se corroe fácilmente. El concreto armado ha sido utilizado para el encapsulamiento de residuos con Bifenilos

Policlorados (PCBs) y otras sustancias orgánicas altamente tóxicas en casos donde no ha sido posible incinerarlos. El plástico, también utilizado como material de encapsulamiento, ha demostrado resultados positivos y mínimo incremento de volumen de los residuos a disponerse. Por ejemplo, se han desarrollado procesos en los cuales se solidifican los lodos mezclándolos con Cal, posteriormente se aglomeran con Polibutadieno y finalmente se les encapsula con Polietileno (Campos et al., 2016).

#### **b) Fijación química o solidificación (fqs)**

La fijación química es un proceso a través del cual se detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o se reduce la peligrosidad de un residuo. Se logra este efecto generalmente a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida. Se utiliza este proceso para tratar residuos peligrosos que se encuentran en forma líquida o en lodos para producir un sólido apto para su disposición en el suelo. Los sistemas más comunes de Fijación Química o Solidificación (FQS) involucran el uso de cemento solo, cemento con cenizas volátiles, cal con cenizas volátiles, y cemento con silicato de Sodio. El mecanismo químico de fijación no es conocido del todo, sin embargo, existen indicaciones que, en el pH relativamente alcalino del cemento, los metales pesados se precipitan como hidróxidos insolubles, los que son inmovilizados dentro de la matriz sólida. El problema principal identificado con los sistemas de Fijación Química o Solidificación (FQS) es que son generalmente específicos para un residuo bajo determinadas condiciones. Es por esto por lo que su aplicación debe estar precedida de pruebas piloto para determinar exactamente los parámetros de diseño. Así mismo, es importante tomar en cuenta que estos procesos requieren la adición de grandes cantidades de materiales solidificantes por lo cual el volumen del residuo se incrementa (Campos et al., 2016).

### **c) Fabricación de ladrillos**

Existen estudios sobre la valorización de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales en la fabricación de ladrillos. La introducción de lodos en el proceso resulta muy atractiva porque determinados materiales cerámicos disponen de gran capacidad de inertización de metales pesados. Durante la cocción, los compuestos orgánicos del lodo: celulosa, lignina, grasas, microorganismos patógenos, etc. se destruyen y en su lugar se crean unos poros cerrados que darán lugar a sus propiedades de aislamiento térmico. Los componentes inorgánicos (arcillas, tierras, metales pesados, etc.), quedan insertados en la matriz vítrea del cuerpo cerámico y, por tanto, inmovilizados (Campos et al., 2016).

### **d) Fabricación de hormigón**

Se han realizado estudios sobre la utilización de lodos secos de depuradora en el hormigón, siendo uno de ellos realizado en una planta de España. En dicho estudio se realizaron muestras de adoquines con un 2 % de lodo seco sobre peso de cemento y se determinaron las propiedades de dicho producto comparadas con el producto sin adición del lodo. El estudio concluyó que la adición de lodos de depuradoras al hormigón puede suponer una disminución de la porosidad y de absorción y un aumento de la resistencia mecánica, lo que lleva a que la utilización de los lodos en los adoquines aumente la durabilidad de estos últimos (Campos et al., 2016).

### **e) Utilización de Cenizas**

El hecho de adicionar ciertos porcentajes de cenizas producto de la incineración de lodos digeridos que varían entre un 5 y un 50 % ,genera en los ladrillos ciertas propiedades variables que pueden afectar positivamente las cualidades de los mismos haciéndolos más porosos y menos densos favoreciendo sus cualidades como aislante térmico y acústico, pero por otro lado

también afecta su resistencia al esfuerzo mecánico debido a una mayor porosidad se reduce su resistencia afectando negativamente las utilidades dichos ladrillos (Campos et al., 2016).

#### **f) Recuperación de áreas degradadas**

Disposición de altas dosis de lodos en suelos drásticamente alterados, como área de mineralización donde el suelo no ofrece condiciones para el desarrollo de las plantas, en función de la falta de materia orgánica y de nutrimentos en el suelo (Medina, 2003).

#### **g) Reciclaje agrícola**

Utilización del lodo en suelos agrícolas, pretende crear fertilidad y asociarlos con las plantas de cultivo, y así obtener beneficios de estos, además de reducir los costos de disposición (Medina, 2003).

### **6.3 Participación de Entidades Gubernamentales y Habitantes de la Comunidad**

Después de poner especial énfasis en la manera que se le puede brindar cumplimiento a las responsabilidades establecidas por el MARN se llega a un punto en común en cada una de ellas, el punto de recolección de los desechos generados por la tecnología de tratamiento de aguas negras.

¿Cómo las entidades gubernamentales locales o centrales pueden incentivar a los habitantes que poseen sistemas de tratamiento de aguas negras con generación de lodos a dar una adecuada disposición final de estos?

Como primer paso, la información. Las alcaldías deben crear programas en los que sensibilicen a la población al cuidado y protección del medio ambiente estableciendo normas que

permitan tener una correcta visibilidad de la manera en que deben operarse la tecnología de tratamiento propuesta.

Como segundo paso, elegir qué disposición tendrán los desechos. Al seleccionar cualquiera de las disposiciones (ladrillos, reciclaje agrícola, etc.) mencionadas anteriormente se puede establecer un plan de acción en el que se incluya un sistema de recolección colectivo en el que el beneficio se vea reflejado en el precio de venta que puede adquirir la disposición final seleccionada.

Finalmente, si se lograra establecer un beneficio económico en la forma final en la que se disponen los lodos, podría fijarse un incentivo de compra por parte de la entidad gubernamental en la que, por cada kilogramo generado de lodo se brindase un incentivo económico al generador de este.

Es así, como se establece la importancia del trabajo en equipo entre comunidad y entidades gubernamentales para lograr una correcta disposición de los desechos de cualquier tipo y la debida protección y preservación del medio ambiente en general.

Para tener una mejor perspectiva sobre la planeación de sistemas de tratamiento de aguas, en el trabajo realizado por Tilley et. al (2018) se expone la metodología de Planeamiento del Saneamiento Urbano Liderado por la Comunidad (CLUES, por sus siglas en inglés) en cual se enumeran los pasos a seguir para poder implementar un sistema de tratamiento que cubra las necesidades de la comunidad en donde se quiere implementar todo esto mediante el seguimiento de pasos secuenciales necesarios para la correcta planeación del sistema.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis realizado en este trabajo, se tienen las siguientes conclusiones:

1. El diseño más factible para un sistema de tratamiento de aguas negras para la colonia Los Ángeles en el cantón Planes de Renderos, San Salvador, es un tanque de evapotranspiración (TEvap), el cual permitirá a la colonia solucionar el problema medio ambiental de la disposición de las aguas negras generadas por sus viviendas.
2. La caracterización de las aguas negras vertidas en la quebrada Huiza por la colonia Los Ángeles fue el punto de partida para poder diagnosticar el impacto que se generaba por falta de tratamiento a las aguas negras y de esta forma, seleccionar el diseño más viable y eficaz en la reducción del impacto ambiental producido en la zona.
3. Dentro del análisis expuesto, se puede vislumbrar que el Tanque de Evapotranspiración no necesita de mayor mantenimiento o de disposición de desechos generados por este, exceptuando el cuidado de la vegetación que es parte fundamental de la tecnología. Por lo que la implantación de la tecnología escogida impactará benéficamente en la colonia Los Ángeles y en las zonas aledañas.

## RECOMENDACIONES

1. Para el mantenimiento de la tecnología recomendada en este trabajo se sugiere la participación activa de las alcaldías que forman parte del municipio de los Planes de Renderos ya que, para garantizar el buen funcionamiento y la durabilidad de la misma, es necesario informar a la población sobre los accidentes que pueden ocurrir al existir algún tipo de daño o quiebra (interna o externa) en el sistema, generando fugas de agua que pueden ocasionar graves daños a las viviendas y/o zonas aledañas mediante deslizamientos de tierra o derrumbes.
2. Para la limpieza de la tecnología también se recomienda que las alcaldías faciliten cada cierto período de tiempo capacitaciones en las que se reduzcan los riesgos de accidentes y de mal funcionamiento de estos por desconocimiento de las medidas preventivas correspondientes.
3. El tipo de plantas utilizadas para el TEvap al culminar su ciclo de vida se aconseja ser reemplazadas por otras del mismo tipo. El cambio de estas dependerá de la carga de materia orgánica que ingrese al sistema cada cierta cantidad de tiempo.
4. Las plantas que se utilizan en la tecnología al terminar su ciclo de vida, podría realizarse un estudio de factibilidad en el que se describa su posible utilización como biomasa y de esta manera generar fuente energética.
5. Contando con la inversión adecuada se recomienda una planta de tratamiento de aguas negras ya que es la opción más beneficiosa para el medio ambiente, debido a sus tratamientos químicos y procesos que se aplican a las aguas negras, logran remover casi todas las sustancias contaminantes y por sus costos de inversión, costos de operación y

costos de mantenimiento debe diseñarse a una escala que logre dar tratamiento a las aguas negras de todo el municipio.

6. A pesar de los muchos beneficios del Tanque de Evapotranspiración existen factores que no deben aislarse, entre ellos, que la población que reside en la zona debe ser concientizada y capacitada para el correcto uso de la tecnología y que estén informados de los beneficios a su salud y al medio ambiente que esto trae, todo esto, a través de la intervención de entidades gubernamentales (locales o centrales) o de entidades no gubernamentales que se encuentren familiarizadas con la problemática a solventar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). (2009). Plan Hidro 2009. *Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario*. El Salvador. Recuperado de <http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/04/aguas-residuales.pdf>

ANDA (2016). *Boletín Estadístico 2016 No. 38*. El Salvador. Recuperado de <http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2017/08/Boletin-Estadistico-2016.pdf>

ANDA (2018). *Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección*. El Salvador. Recuperado de <http://www.aecid.sv/wp-content/uploads>

ANDA (29 de Octubre de 2019). Mapa Hidrogeológico de San Salvador. El Salvador. Recuperado de <http://www.anda.gob.sv/descargables/>

Applied Energy Services (AES).(2018). *Acceso al agua potable*. El Salvador. Recuperado 12 de mayo de 2019, de AES El Salvador:

<http://www.aes-elsalvador.com/comunidad/noticias/2018-05/acceso-al-agua-potable/>

Arellano, J., Y Guzmán, J. (2011). *Ingeniería Ambiental*. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.

Campos Aguilar, Karen Elizabeth; Cardona Anaya, José Gustavo Y Centeno Pérez, Adriana Marcela (2016). *Propuesta de un sistema de gestión ambiental para lodos procedentes de la industria textil en El Salvador*. Universidad de El Salvador. El Salvador.

CHILE.CUBICA. (2019). *Nivel Freático*. Chile. Recuperado de <https://www.chilecubica.com/vocabularios-definiciones/nivel-fre%C3%A1tico/>.

Diario Oficial de la República de El Salvador en la América Central (29 de mayo del 2009).  
Decreto 39. San Salvador, El Salvador.

El Diario de Hoy (28 de Diciembre de 2018). *Salud Registra 48 muertes por diarrea en 2018*.  
El Salvador. Recuperado de [elsalvador.com](http://elsalvador.com):

<https://www.elsalvador.com/noticias/nacional/salud-registra-48-muertes-por-diarreas-en-2018/553447/2018/>

Hesperian Health Guides. (2011). *Guía comunitaria para la salud ambiental*, 102-139.  
Recuperado de Hesperian Health guides: <http://hesperian.org>

Katayama, V. T. (2018). *Nutrient recovery from source-separated wastewaters by integration of blackwater treatment with urban farming: Characterization of process and products*. São Paulo, Brazil: Ruhr-Universität Bochum. Brasil

La Prensa Gráfica. (07 de Junio de 2015). *El agua que no vemos*. El Salvador. Recuperado de <https://www.laprensagrafica.com/revistas/El-agua-que-no-vemos-20150607-0088.html>

Luna, M. G. (2010). *Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú*. FONAM, 3-13. Perú.

Magaña, R. R. (noviembre, 2016). *Agua y gobernabilidad en El Salvador*. El Salvador.  
Recuperado de: <http://www.repo.funde.org/459/1/APD-101-I.pdf>

Ministerio de  
Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2000). *Reglamento Especial de Aguas Residuales*. El Salvador.

MARN (2013). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2013*. El Salvador.  
Recuperado de <http://rcc.marn.gob.sv/handle/123456789/188>

MARN (2013). *Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental 2013*. El Salvador.

Recuperado de <http://www.marn.gob.sv/descargas>

MARN (2013). *Zonificación ambiental Panchimalco*. Recuperado 6 de mayo de 2019, de

<http://www.marn.gob.sv/descargas/zonificacion-ambiental-panchimalco/>

MARN (2016). *Monitoreo de Aguas Residuales*. El Salvador. Recuperado de

<https://www.marn.gob.sv/aguas-residuales/>

MARN (2018). *Informe de la calidad de agua 2018*. El Salvador. Recuperado de

<http://www.marn.gob.sv/descargas/Documentos/2018/Informe%20de%20la%20calidad%20de%20agua%202018.pdf>

Martín García, I., Betancort Rodríguez, J. R., Salas Rodríguez, J. J., Peñate Suárez, B., Pidre Bocado, J. R., Y Sardón Martín, N. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños Núcleos de población*. España. Recuperado de:

<http://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>.

Ministerio de Salud (MINSAL). (1996). *Norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor*. El Salvador.

MINSAL (2009). *Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises*. El Salvador.

National Geographic (2018). *La crisis del agua en El Salvador*. Recuperado 12 de mayo de 2019: <https://www.nationalgeographicla.com/agua/2018/11/crisis-agua-el-salvador>

Organización de Naciones Unidas (ONU). (2010). *Agua y ciudades, hechos y cifras*.

ONU. (2015). *Agua. Asuntos que nos importan*.

Recuperado 12 de mayo de 2019, de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>

Paulo, P. L., Azevedo, C., Begosso, L., Galbiati, A. F., & Boncz, M. A. (2012). *Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating*. Elsevier. Brazil.

Rozano, E., Y Dapena, J. L. (2002). *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales*. España: PRIDESA.

Salvador, E., Y Marzo, C. A. (s. f.). *Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social Dirección de Regulación Dirección General de Salud Unidad de Atención al Ambiente*. 64.

Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y Diagnóstico*. Colombia: Ediciones de la U.

Veiga Ribeiro, L. F., & Saskatchewan, R. (2017). *Smart community development framework*. Canada.

## GLOSARIO

**Alcalinidad:** O basicidad se puede definir como una medida de su capacidad para neutralizar ácidos.

**Carga orgánica:** Cantidad de materia orgánica, generalmente medida como DBO<sub>5</sub>, aplicada a un proceso de tratamiento dado; expresada como peso por unidad de tiempo por unidad de superficie o por unidad de peso.

**Coagulación:** Proceso que consiste en añadir un producto químico (el coagulante) que causa la desestabilización de la materia coloidal dispersa y provoca su aglomeración en flósculos y que estos ganen más peso para una sedimentación más rápida.

**Cuerpos receptores:** Se denomina cuerpo receptor, en forma genérica, a un curso de agua, río o arroyo; un lago, o un ambiente marino, bahía, estuario, golfo, al cual se descarga un efluente de aguas servidas, ya sea de áreas urbanas, de industrias, o de sistemas de riego.

**DBO<sub>5</sub> :** La demanda biológica de oxígeno o demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de dioxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

**Decantación:** Es el proceso de separación de un agente más denso, de otro agente de menor densidad.

**Desarenado:** Es un proceso cuya función es retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen al canal, planta de tratamientos, central

hidroeléctrica o al proceso de tratamiento que se esté realizando para evitar obstaculizaciones o problemas en el quipo.

**Desemulsionar:** Propiedad de un sólido o aceite para separarse completamente de un líquido.

**DQO:** La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/l).

**Floculación:** Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

**Flotabilidad:** es la capacidad de un cuerpo para sostenerse por encima de un fluido.

**Insuflación:** Introducción de aire en una cavidad.

**Lecho móvil o Lecho fluidizado:** Es un fenómeno físico que ocurre cuando una cantidad de una sustancia sólida particulada (generalmente presente en un recipiente de contención) se coloca en condiciones apropiadas para hacer que una mezcla sólida / fluido se comporte como un fluido.

**Parte Aguas:** Es una línea imaginaria la cual tomará en cuenta la parte superior de las elevaciones para así tomar en cuenta hacia donde escurrirá el agua. Podemos identificar fácilmente con la simple lógica que, si tomamos de ejemplo una montaña, al llover el agua escurrirá en sentidos diferentes debido a la altura de ella.

**Partículas Coloidales:** Son partículas de muy bajo diámetro que son responsables de la turbidez o del color del agua superficial.

**Rasquetas:** Es una herramienta en forma de plancha metálica con los cantos afilados. Tiene una estructura y función similar a una espátula con la diferencia de tener la base de la cuchilla más ancha.

**Sedimentación:** Se le conoce como Sedimentación al proceso por el cual se depositan o precipitan sustancias transportadas por distintos fluidos, el más común es el agua.

**Sólidos en suspensión:** Son partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del líquido o debido a que la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua.

# ANEXOS

## Anexo 1: CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS

**Fuente:** Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Nombre del Responsable de Toma de muestra:																
Identificación de Muestra	Hora de Extracción de la Muestra	Matriz			No Envases	Tipo de muestreo		Parámetros de campo						No de Precinto	Código	Observaciones
		Agua	Sedimento	Lodo		Simple	Compuesto	Temperatura Ambiental	Temperatura de la muestra	pH	Conductividad Eléctrica	Oxígeno Disuelto				
Fecha	Hora	Entrega en Laboratorio			Recibe en Laboratorio			Observaciones		Temperatura						
		Nombre	DUI	Firma	Nombre	DUI	Firma									

## Anexo 2: FORMATO DE ETIQUETAS DE MUESTRAS

**Fuente:** Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	
CODIGO / NOMBRE	_____
UBICACIÓN	_____
COORDENADAS	_____
FECHA	_____
HORA	_____
TIPO DE MUESTRA	_____
PRESERVACION DE MUESTRA	_____
RESPONSABLE	_____

### Anexo 3: TABLA DE PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Parámetro	Tipo de Envase	Preservación	Volumen min. de muestra (ml.)	Tiempo máximo de preservación
Color	P o V	Refrigerada 4°C	200	2 días
Aceites y grasas	V	HCL a pH < 2, refrigerada a 4°C	1000	20 días
Sulfuros	P o V	4 gotas acetato Zn, NaOH pH > 9	100	28 días
Cianuro total	P	NaOH a pH > 12, refrigerada a 4°C	500	24 hs
Cloruro	P	Refrigerada 4°C	200	6 meses
Conductividad	P	Refrigerada 4°C	500	28 días
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	P	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2, refrigerada a 4°C	100	7 días
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	P	Refrigerada 4°C	1000	6 a 24 hs
Fenoles	P	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2, refrigerada a 4°C	500	28 días
Fósforo de ortofosfatos	P	Refrigerada 4°C	100	2 días
Nitrógeno - Amonio	P	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2, refrigerada a 4°C	500	7 días
Nitrógeno - Nitrato	P o V	Refrigerada 4°C	100	2 días
Nitrógeno - Nitrito	P o V	Refrigerada 4°C	100	Inmediato
Nitrógeno total Kjeldahl	P o V	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2, refrigerada a 4°C	500	7 días
Detergentes	V	Refrigerada 4°C	500	
pH	P	Refrigerada 4°C		Inmediato
Alcalinidad	P	Refrigerada 4°C	200	24 hs
Dureza	P	HNO <sub>3</sub> a pH < 2	100	6 meses
Metales totales	P	HNO <sub>3</sub> a pH < 2	500	6 meses
Mercurio	P	HNO <sub>3</sub> a pH < 2, refrigerada a 4°C	500	28 días
Sólidos Totales (105 °C)	P	Refrigerada 4°C	200	7 días
Sólidos Fijos (550 °C)	P	Refrigerada 4°C	-	-
Sólidos Sedimentables 2 hs	P	Refrigerada 4°C	1000	7 días
Sólidos Suspendidos	P	Refrigerada 4°C	500	2 días
Bacterias Coliformes totales	P	Refrigerada 4°C	100	6 hs
Bacterias Coliformes fecales	P	Refrigerada 4°C	100	6 hs

**Anexo 4: Resultados de análisis realizados a las aguas negras de la colonia Los Ángeles,  
Planes de Renderos.**



**Laboratorio Especializado en Control de Calidad**

ESEBESA, S.A. DE C.V.  
No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad, No. 1965. San Salvador, El Salvador, C.A.  
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

**INFORME DE ANÁLISIS**

PROCEDENCIA: WILLIAM TRIGUEROS LEMUS	CONTROL: AG-908-167
MUESTRA: AGUAS NEGRAS DE LOS PLANES DE RENDEROS	LOTE: NO APLICA
ORIGEN: QUEBRADA	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
FECHA: 31/08/2019, HORA: 9:20 AM	INGRESO: 31-AGO-2019
DATOS DE CAMPO: PH: 8.2, TEMPERATURA: 22°C	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 09-SEP-2019

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
pH * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 4500 H+B. Fecha final de análisis: 03-sep-2019	5.5 - 9.0	8.0
Sólidos Suspendidos Totales * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 2540 D. Fecha final de análisis: 06-sep-2019	LMP: 60 mg/L	60.0 mg/L
Demanda Química de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5220 D. Fecha final de análisis: 04-sep-2019	LMP: 150 mg/L	393.8 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5210 B. Fecha final de análisis: 06-sep-2019	LMP: 60 mg/L	294.2 mg/L
Aceites y Grasas * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5520 B. Fecha final de análisis: 07-sep-2019	LMP: 20 mg/L	26.2 mg/L
Cloruros * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 4500-Cloruros B Fecha final de análisis: 03-sep-2019	No Disponible	61.5 mg/L



# Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad, No. 1965. San Salvador, El Salvador, C.A.  
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

## INFORME DE ANÁLISIS

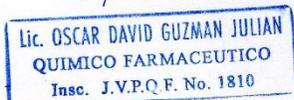
PROCEDENCIA: WILLIAM TRIGUEROS LEMUS	CONTROL: AG-908-167
MUESTRA: AGUAS NEGRAS DE LOS PLANES DE RENDEROS	LOTE: NO APLICA
ORIGEN: QUEBRADA	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
FECHA: 31/08/2019, HORA: 9:20 AM	INGRESO: 31-AGO-2019
DATOS DE CAMPO: PH: 8.2, TEMPERATURA: 22°C	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 09-SEP-2019

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Fósforo Total Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 4500-P D Fecha final de análisis: 03-sep-2019	LMP: 15 mg/L	3.7 mg/L
Nitrógeno Total Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 4500-N C Fecha final de análisis: 07-sep-2019	LMP: 50 mg/L	26 mg/L
Recuento de Coliformes Fecales * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 9221 E. Fecha final de análisis: 03-sep-2019	LMP: 2,000 NMP/100mL	35,000 NMP/ 100 mL

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09, AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO  
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.  
LMP: Límite Máximo Permissible

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada

  
Lic. Oscar David Guzmán Julian  
Dir. Integración Técnica-Administrativa



\* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC  
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

Pag: 2 de 2