

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



**“PROPUESTA PARA LA GESTION DE LOS EFLUENTES LIQUIDOS DE
ORIGEN DOMESTICO EN PROYECTOS URBANISTICOS”**

PRESENTADO POR:

**HÉCTOR DANIEL BARRERA GODOY
DALIA CECILIA RAMOS LÓPEZ**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2007

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

DRA. MARIA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL :

LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR :

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO QUIMICO

Título :
**“PROPUESTA PARA LA GESTION DE LOS EFLUENTES LIQUIDOS DE ORIGEN
DOMESTICO EN PROYECTOS URBANISTICOS”**

Presentado por :
**HÉCTOR DANIEL BARRERA GODOY
DALIA CECILIA RAMOS LÓPEZ**

Trabajo de Graduación aprobado por :

Docentes Directores :

ING. TANIA TORRES RIVERA

ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

ING. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ

San Salvador, Mayo de 2007

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. TANIA TORRES RIVERA

ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

ING. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTOS

A Ing. Celina Perla: Por la información proporcionada para llevar a cabo la etapa investigativa en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que se visitaron en la realización del presente estudio.

A las personas responsables de las PTAR que permitieron el acceso a las instalaciones y que mostraron apertura para la realización del muestreo de los efluentes de sus respectivas Plantas de Tratamiento.

A los asesores: Ing. Tania Torres, Ing. Eugenia Gamero e Ing. Francisco Arévalo por todos sus consejos, comentarios, paciencia, dedicación y toda la soporte proporcionado en desarrollo de éste trabajo.

A todas las personas que de una u otra forma brindaron su valiosa colaboración para la realización del Trabajo de Graduación, así como también a todos aquellos que fueron de gran ayuda para lograr la culminación de la carrera; catedráticos en general, a nuestras familias que nos proporcionaron ese apoyo en el momento más oportuno y todos sus incentivos que nos ayudaron a lograr nuestros objetivos.

A Dios todo poderoso, que sin su ayuda no habríamos logrado nada...

DEDICATORIA

A Dios Padre: Por su presencia constante en cada etapa de mi vida, enseñándome que “Todo lo puedo en Cristo que me Fortalece”, gracias infinitas por darme el existir, la oportunidad de vivir al lado de una familia especial y compartir todo lo que soy con mi prójimo, sin ti mi Señor no soy nada.

A mi Madre Celestial: Por su amparo y apoyo incondicional, gracias Madre.

A mis padres: Jorge Alberto Ramos y María Milagro López de Ramos, por sus consejos, desvelos, trabajo, apoyo, paciencia, sacrificios, comprensión, ánimo y confiar en todo momento en mi.

Gracias por darme la vida y regalarme todo su amor, por su responsabilidad y entrega, por cuidarme y enseñarme a tener paciencia y perseverar en mis metas.

A mis hermanos Raquel, Roxana, Jorge y Alexis (Q.D.D.G): Por su cariño, paciencia, confianza y apoyo en momentos difíciles.

A Carlos: Por todo su apoyo, paciencia, comprensión, ayuda y cariño, brindado en mi vida espero poder contar siempre con su valiosa compañía.

A mis amigos: Elvira y Erick quienes con su amistad, animaron cada descenso y fomentaron el espíritu de luchar por lo que se quiere.

A mi sobrino Gabrielito con todo cariño

A todos ellos es un honor dedicarles esta nueva meta alcanzada.

Dalia Cecilia Ramos López

DEDICATORIA

A mi Familia. Mi madre; Norma Leticia Godoy, quien siempre me ha apoyado y ayudado en lo que ha podido, madre; gracias por estar ahí. A mi Padre; Héctor Daniel Barrera Chicas, quien me ha apoyado moralmente y que me ha aconsejado, gracias padre. A mis hermanos; Maricela Barrera, quien siempre ha sabido ayudarme a botar el estrés y me presta su ayuda y apoyo y Gustavo Adolfo Godoy, quien es mi inspiración para serle un mejor ejemplo. Gracias a todos y los quiero mucho.

A mis amigos que siempre han estado ahí para apoyarme, escucharme y aconsejarme. Gracias por soportar mis quejas y levantar mi ánimo, son lo máximo. Mario Alfonso Saz, René Ricardo Jaime, Marvin Rafael Valencia, Francis René Amaya, Jessie Beatriz Cardona y Ana Elena Ortez. Los quiero mucho mis amigos... mis hermanos.

A mi compañera Dalia Ramos, quien me ha apoyado todo este tiempo, a pesar de haber enfrentado algunas adversidades y malos momentos.

A mi Señor Dios. Usted mejor que nadie sabe que todo lo que soy, todo lo que puedo y todo lo que logro es porque usted me permite serlo y lograrlo, nada soy lejos de usted, nada puedo sin usted. Porque todo lo puedo en Cristo que me fortalece. Mi Dios, este fruto de mi esfuerzo; así como muchos otros triunfos que en su nombre voy a lograr en el futuro que usted me tiene deparado son para usted, permítame no sólo dedicarle mis logros, sino dedicarle toda mi vida a usted, todo lo que soy. Señor, ayúdeme a ser más como usted, para que mi vida sea un incienso agradable en su presencia. Padre celestial, Espíritu Santo y mi amado Cristo, sea este triunfo y mi vida todos vuestros...

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una investigación orientada a la identificación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en El Salvador, con el objetivo de proporcionar una Propuesta para la gestión de los efluentes Líquidos de Origen Doméstico en Proyectos Urbanísticos.

Se incluye la información básica acerca de las Aguas Residuales Domésticas, tal como la composición y contaminantes habituales así como su impacto en la calidad de las Aguas Superficiales y en la Salud Humana.

Además se proporciona la base teórica de los diferentes Sistemas de Tratamiento de dichas aguas y el marco legal aplicable respecto a los límites máximos permitidos en las concentraciones de las aguas residuales descargadas a los cuerpos receptores.

Como parte del desarrollo de la investigación, se presenta la situación actual de la gestión de las aguas residuales a través de las PTAR, para lo cual se realizó un diagnóstico de la situación técnica de las PTAR en el país, a través de visitas en 10 Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales de Origen Doméstico (PTAROD) en funcionamiento, localizadas en áreas de mayor densidad poblacional en las cuales se permitió el acceso a las instalaciones, para recopilar la información necesaria respecto al tratamiento aplicado así como la toma de muestra de los efluentes a la salida de dichas plantas; identificando de esta manera los procesos depuradores de mayor aplicación en el país y las causas más comunes de las deficiencias en el funcionamiento de equipos.

Logrando de esta manera seleccionar las Unidades del Sistema de Tratamiento de la Propuesta de gestión antes mencionada, contemplando en ella factores de diseño, mantenimiento, seguridad y las propuestas Administrativas y de Sostenibilidad de la PTAROD.

Se anexan las guías correspondientes al diseño de un plan de Tratamiento de Aguas Residuales, evaluación de riesgos ambientales y plan de Contingencias respectivamente.

INDICE

<i>INDICE</i>	i
<i>INDICE DE TABLAS</i>	ii
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	iii
<i>INTRODUCCION</i>	iv
<i>1. AGUAS RESIDUALES</i>	3
1.1 DEFINICION DE AGUA RESIDUAL.....	3
1.2 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.....	3
1.2.1 Agua Residual de Tipo Ordinario.....	4
1.2.2 Agua Residual de Tipo Especial.....	4
1.3 TIPOS DE CONTAMINANTES.....	5
1.3.1 Clasificación de los Contaminantes:.....	5
1.4 CONTAMINANTES HABITUALES EN LAS AGUAS RESIDUALES.....	6
1.4.1 Arenas.....	6
1.4.2 Grasas y Aceites.....	6
1.4.3 Residuos con Requerimiento de Oxígeno.....	7
1.4.4 Nitrógeno y Fósforo.....	7
1.4.5 Agentes Patógenos.....	7
1.4.6 Otros Contaminantes Específicos.....	7
1.5 GENERALIDADES DE EFLUENTES LIQUIDOS DE ORIGEN DOMESTICO.....	8
1.5.1 Origen y Tipos de Aguas Residuales Domésticas.....	8
1.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO.....	9
1.6.1 Composición de las Aguas Residuales Domésticas.....	9
1.7 VARIACIONES EN CONCENTRACIONES DE LOS CONSTITUYENTES DEL AGUA RESIDUAL.....	14
1.7.1 Variaciones a Corto Plazo.....	15
1.7.2 Variaciones Estacionales.....	15
1.7.3 Variaciones Industriales.....	16
1.8 CANTIDAD DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	16
1.9 RELACION HOMBRE, AGUA RESIDUAL Y MEDIO AMBIENTE.....	17
1.9.1 Impacto de los Contaminantes en la Calidad de las Aguas Superficiales.....	18
1.9.2 Impacto de la Contaminación en la Salud Humana.....	18
<i>2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</i>	20
2.1 GENERALIDADES DE LOS TRATAMIENTOS.....	21
2.1.1 Tipos de Tratamiento.....	22
2.1.2 Modelos de Plantas de Tratamiento.....	23
2.1.3 Factores Controlables que Inciden en la Selección del Tipo de Tratamiento.....	31
2.1.4 Factores Externos a Tener en Cuenta en la Selección de un Tipo de Tratamiento.....	33

3. MARCO LEGAL APLICABLE DE AGUAS RESIDUALES EN EL SALVADOR	35
3.1 NORMATIVAS	37
3.1.1 Reglamento Especial de Aguas Residuales.....	37
3.1.2 Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario	37
3.1.3 Norma para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO 13.49.01:06	38
3.1.4 Vigilancia en Aguas Residuales por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.	38
3.1.5 Ordenanzas Municipales	38
3.1.6 Permisos Ambientales.....	39
3.2 SITUACION ACTUAL.....	40
3.2.1 Gestión de Aguas Residuales.....	40
3.2.2 Entorno institucional	42
3.3 TENDENCIAS EN LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS	44
4. AGUAS RESIDUALES Y PLANTAS DE TRATAMIENTO EN EL SALVADOR	46
4.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SALVADOR.....	46
4.1.1 Antecedentes	47
4.1.2 Situación Actual.....	49
5. INVESTIGACION SOBRE LA GESTION DE RESIDUOS DE ORIGEN DOMESTICO EN EL SALVADOR.	59
5.1 DIAGNOSTICO SITUACION TECNICA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SALVADOR	60
5.2 CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE PTAROD.	90
5.2.1 Parámetros de Evaluación.....	91
5.2.2 Técnicas de Muestreo	91
5.2.3 Toma de muestras	94
5.2.4 Resultados de Análisis Físicoquímicos de los efluentes de las PTAROD	97
5.2.5 Interpretación y Análisis de Resultados	101
6. ELABORACION DE LA PROPUESTA PARA LA GESTION DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS DE ORIGEN DOMESTICO EN PROYECTOS URBANISTICOS.	105
6.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO	106
6.1.1 Sitio de Ubicación de la PTAROD	107
6.2 DESCRIPCIÓN DE LA PTAROD PROPUESTA	109
6.2.1 Tratamiento de Lodos generados en la PTAROD propuesta	112
6.3 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	113
Fuente: Criterios de diseño de equipos para Tratamiento de Aguas Residuales.	113
Disponible en: http://www.Milarium.com/proyectos/Depuradoras/manuales.htm	113
6.3.1 Sedimentador Primario	114
6.3.2 Homogenizador.....	115
6.3.3 Reactor UASB	117
6.3.4 Filtro Percolador	118

6.3.5 Sedimentador Secundario	118
6.3.6 Humedal.....	119
6.4 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	122
6.4.1 Medidas de Contingencia ante problemas operacionales de la PTAROD	123
6.5 SEGURIDAD EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO	125
6.6 REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA PTAROD	127
6.6.1 Reutilización de Agua Tratada.....	127
6.6.2 Reutilización de Lodos	130
6.6.3 Gases generados.....	131
6.7 PROPUESTAS ADMINISTRATIVAS Y DE SOSTENIBILIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	132
7. ELABORACIÓN DE GUÍAS PARA EL DISEÑO DE PLAN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y PLAN DE CONTINGENCIA	135
7.1 GUIA PARA EL DISEÑO DE UN PLAN DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO.	135
7.2 GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y PLANES DE CONTINGENCIA.	136
8. CONCLUSIONES	138
9. RECOMENDACIONES.....	139
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	141

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 <i>Factores Controlables en una Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos Domésticos.</i>	32
Tabla 2.2 <i>Factores Externos que Afectan los Sistemas de Tratamiento de Agua Residual</i>	34
Tabla 3.1 <i>Entidades Responsables del Manejo de Aguas Residuales en El Salvador</i>	43
Tabla 3.2 <i>Información de Alcantarillado, Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domésticas de Ciudades del País</i>	44
Tabla 4.1 <i>Tipo de Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Origen Doméstico en El Salvador y su Estado Hasta el Año 2004.</i>	51
Tabla 5.1 <i>Plantas de Tratamiento en Funcionamiento Visitadas.</i>	61
Tabla 5.2 <i>Cuadro Resumen de la Evaluación de la Lista de Verificación por Área de las Plantas de Tratamiento Visitadas.</i>	64
Tabla 5.3 <i>Resumen del Proceso y Condición de las Plantas de Tratamiento Evaluadas.</i>	65
Tabla 5.4 <i>Resultados de Evaluación Área A de Lista de Verificación</i>	65
Tabla 5.5 <i>Resultados de Evaluación Área B de Lista de Verificación.</i>	67
Tabla 5.6 <i>Resumen de Evaluación Área C de Lista de Verificación</i>	73
Tabla 5.7 <i>Resumen de Evaluación Área D de Lista de Verificación.</i>	77
Tabla 5.8 <i>Resumen de Evaluación Área E de Lista de Verificación.</i>	80
Tabla 5.9 <i>Resumen de Evaluación Área F de Lista de Verificación.</i>	83
Tabla 5.10 <i>Resumen de Evaluación Área G de Lista de Verificación.</i>	87
Tabla 5.11 <i>Clases de Plantas de Tratamiento de Acuerdo a Resultados del Análisis de la Lista de Verificación.</i>	89
Tabla 5.12 <i>Resultados de Lista de Verificación.</i>	89
Tabla 5.13 <i>Métodos de Análisis de Aguas Residuales</i>	94
Tabla 5.14 <i>Resultados de Análisis de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento Evaluadas.</i>	98
Tabla 5.15 <i>Información de las Plantas de Tratamiento 6 y 7</i>	101
Tabla 6.1 <i>Estudios Mínimos a Realizar</i>	106
Tabla 6.2 <i>Información para el Diseño de la PTAROD</i>	106
Tabla 6.3 <i>Descripción de los Componentes de Tratamiento de Aguas Residuales.</i>	107
Tabla 6.4 <i>Factores Determinantes de la Variabilidad de los Sistemas de Tratamiento.</i>	108
Tabla 6.5 <i>Descripción de las Unidades del Sistema de Tratamiento Propuesta.</i>	110
Tabla 6.6 <i>Parámetros de Diseño de Cribas, Desarenador y Trampa de Grasa</i>	113
Tabla 6.7 <i>Información Típica para el Diseño de Sedimentadores Rectangulares y Circulares, Utilizados en el Tratamiento Primario del Agua Residual.</i>	115
Tabla 6.8 <i>Principales Parámetros de Diseño de un Reactor UASB.</i>	117
Tabla 6.9 <i>Información Típica de Diseño para Filtros Percoladores.</i>	118
Tabla 6.10 <i>Parámetros de Diseño de Sedimentadores Secundarios.</i>	119
Tabla 6.11 <i>Entradas y Salidas de un Humedal.</i>	119
Tabla 6.12 <i>Consideraciones para el Diseño de la Superficie de un Humedal.</i>	121
Tabla 6.13 <i>Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico.</i>	122

Tabla 6.14 <i>Problemas operacionales más Comunes y Posibles Soluciones a los Mismos.</i>	123
Tabla 6.15 <i>Problemas en la Operación de Filtros y Soluciones.</i>	124
Tabla 6.16 <i>Programación de Actividades de Operación y Mantenimiento.</i>	124
Tabla 6.17 <i>Comparación de Rendimientos de Cultivos Generados con dos Fuentes de Agua de Riego en Tacna, Perú (en TM/Ha)</i>	129
Tabla 6.18 <i>Guías de la Organización Mundial para la Salud (OMS); 1989,para el Reuso de Aguas Residuales.</i> ..	129
Tabla 6.19 <i>Valor Límite de Concentración de Metales Pesados en Lodos Destinados a Utilización Agraria (mg/Kg).</i>	131

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Variación Horaria Típica del Caudal y Concentración del Agua Residual de Origen Doméstico.</i>	15
Figura 2.1 <i>Esquema básico de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.</i>	23
Figura 2.2 <i>Diagramas de Flujo Típicos (Simplificados) para los procesos biológicos utilizados en el Tratamiento del Agua Residual. a) Proceso de Fangos Activados. B) Lagunas Aireadas. C) Filtros Percoladores. D) Estanques de Estabilización.</i>	29
Figura 2.3 <i>Corte y Planta de un Sistema de Tratamiento de Flujo Subterráneo utilizando Plantas Emergentes</i>	30
Figura 4.1 <i>Urbanización Vista al Lago previo a ser rehabilitada. (a) Sedimentador con Vegetación, (b) Filtro Percolador sin Mantenimiento, (c) Área Perimetral de la Planta con Desbordes.</i>	54
Figura 4.2 <i>Urbanización Vista al Lago una vez Rehabilitada. (a) y (b) Sedimentador Libre de Vegetación, (c) Filtro Percolador Libre de Vegetación.</i>	55
Figura 4.3 <i>Descarga de Planta de Tratamiento.</i>	56
Figura 4.4 <i>PTAR Urbanización Vista al Lago, Patio de Secado de Lodos</i>	57
Figura 5.1 <i>Ubicación de Plantas de Tratamiento Evaluadas en el Presente Estudio.</i>	61
Figura 5.2 <i>Análisis de Ítem 1 de Área A. Lista de Verificación.</i>	65
Figura 5.3 <i>Análisis de Ítem 2 Área A. Lista de Verificación.</i>	66
Figura 5.4 <i>Análisis Ítem 3 Área A. Lista de Verificación.</i>	66
Figura 5.5 <i>Análisis Ítem 4 Área A. Lista de Verificación.</i>	67
Figura 5.6 <i>Análisis Ítem 1 Área B. Lista de Verificación.</i>	68
Figura 5.7 <i>Análisis Ítem 2 Área B. Lista de Verificación.</i>	68
Figura 5.8 <i>Análisis Ítem 3 Área B. Lista de Verificación.</i>	69
Figura 5.9 <i>Análisis Ítem 4 Área B. Lista de Verificación.</i>	69
Figura 5.10 <i>Análisis Ítem 5 Área B. Lista de Verificación.</i>	70
Figura 5.11 <i>Análisis Ítem 6 Área B. Lista de Verificación.</i>	70
Figura 5.12 <i>Análisis Ítem 7 Área B. Lista de Verificación.</i>	71
Figura 5.13 <i>Análisis Ítem 8 Área B. Lista de Verificación.</i>	71
Figura 5.14 <i>Análisis Ítem 9 Área B. Lista de Verificación.</i>	72
Figura 5.15 <i>Análisis Ítem 10 Área B. Lista de Verificación.</i>	72
Figura 5.16 <i>Análisis Ítem 1 Área C. Lista de Verificación.</i>	73
Figura 5.17 <i>Análisis Ítem 2 Área C. Lista de Verificación.</i>	73
Figura 5.18 <i>Análisis Ítem 3 Área C. Lista de Verificación.</i>	74
Figura 5.19 <i>Análisis Ítem 4 Área C. Lista de Verificación.</i>	74
Figura 5.20 <i>Análisis Ítem 5 Área C. Lista de Verificación.</i>	75
Figura 5.21 <i>Análisis Ítem 6 Área C. Lista de Verificación.</i>	75
Figura 5.22 <i>Análisis Ítem 7 Área C. Lista de Verificación.</i>	76
Figura 5.23 <i>Análisis Ítem 8 Área C. Lista de Verificación.</i>	76
Figura 5.24 <i>Análisis Ítem 9 Área C. Lista de Verificación.</i>	76
Figura 5.25 <i>Análisis Ítem 10 Área C. Lista de Verificación.</i>	77

Figura 5.26	<i>Análisis Ítem 1 Área D. Lista de Verificación.</i>	78
Figura 5.27	<i>Análisis Ítem 2 Área D. Lista de Verificación.</i>	78
Figura 5.28	<i>Análisis Ítem 3 Área D. Lista de Verificación.</i>	79
Figura 5.29	<i>Análisis Ítem 4 Área D. Lista de Verificación.</i>	79
Figura 5.30	<i>Análisis Ítem 5 Área D. Lista de Verificación.</i>	79
Figura 5.31	<i>Análisis Ítem 1 Área E. Lista de Verificación.</i>	80
Figura 5.32	<i>Análisis Ítem 2 Área E. Lista de Verificación.</i>	81
Figura 5.33	<i>Análisis Ítem 3 Área E. Lista de Verificación.</i>	81
Figura 5.34	<i>Análisis Ítem 4 Área E. Lista de Verificación.</i>	82
Figura 5.35	<i>Análisis Ítem 5 Área E. Lista de Verificación.</i>	82
Figura 5.36	<i>Análisis Ítem 1 Área F. Lista de Verificación.</i>	83
Figura 5.37	<i>Análisis Ítem 2 Área F. Lista de Verificación.</i>	84
Figura 5.38	<i>Análisis Ítem 3 Área F. Lista de Verificación.</i>	84
Figura 5.39	<i>Análisis Ítem 4 Área F. Lista de Verificación.</i>	84
Figura 5.40	<i>Análisis Ítem 5 Área F. Lista de Verificación.</i>	85
Figura 5.41	<i>Análisis Ítem 6 Área F. Lista de Verificación.</i>	85
Figura 5.42	<i>Análisis Ítem 7 Área F. Lista de Verificación.</i>	86
Figura 5.43	<i>Análisis Ítem 8 Área F. Lista de Verificación.</i>	86
Figura 5.44	<i>Análisis Ítem 1 Área G. Lista de Verificación.</i>	87
Figura 5.45	<i>Análisis Ítem 2 Área G. Lista de Verificación.</i>	88
Figura 5.46	<i>Análisis Ítem 3 Área G. Lista de Verificación.</i>	88
Figura 5.47	<i>Evaluación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Origen Domésticos. Lista de Verificación.</i>	89
Figura 5.48	<i>Planta de Tratamiento Sedimentador y Filtro Percolador. Toma de muestra puntual del efluente</i>	95
Figura 5.49	<i>Implementos Utilizados en la Toma de Muestra</i>	95
Figura 5.50	<i>Enjuague del Envase Previo a la Toma de Muestra</i>	96
Figura 5.51	<i>Rebose del Envase Antes de Taparlo</i>	96
Figura 5.52	<i>Identificación de la Muestra</i>	96
Figura 5.53	<i>Proceso de Extracción de Muestra. (a) Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente. (b) Extracción de la muestras. (c) Rebose del envase para evitar acumulación de aire. (d) Identificación de la Muestras.</i>	97
Figura 5.54	<i>Análisis de DQO en los efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación</i>	98
Figura 5.55	<i>Análisis DBO₅ en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación</i>	99
Figura 5.56	<i>Análisis Sólidos Sedimentables en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación</i>	99
Figura 5.57	<i>Análisis de Sólidos Suspendidos Totales en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación</i>	100
Figura 5.58	<i>Análisis de Aceites y Grasas en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación</i>	100
Figura 5.59	<i>Sistemas de Tratamientos con Daños. (a) Tuberías Oxidadas. (b) Pasarela en Sedimentador Deteriorada.</i>	102

Figura 5.60	<i>Equipo con Operación y Mantenimiento Deficientes. (a) y (b) Acumulación de Desechos en Rejillas. (c) Falta de Mantenimiento en Sedimentador. (d) Patios de Secado de Lodos con Vegetación. (e) y (f) Filtros Biológicos con Vegetación.</i>	103
Figura 6.1	<i>Componentes Básicos de Tratamiento de Aguas Residuales</i>	106
Figura 6.2	<i>Diagrama de Flujo del Esquema de Planta de Tratamiento Propuesta</i>	111
Figura 6.3	<i>Esquema del Proceso de Tratamiento de los Lodos Generados en la Planta de Tratamiento.</i>	112
Figura 6.4	<i>Resultado de Análisis de Sedimentación Floculenta en Ensayo de Sedimentación.</i>	114
Figura 6.5	<i>Gráficas para la determinación del volumen de un homogenizador de caudal y el caudal promedio. A) Curva Normal, b) Curva con Irregularidad.</i>	117
Figura 6.6	<i>Hojuelas de Banano (Banano cultivado con agua residual Tratada).</i>	128

INTRODUCCION

El crecimiento poblacional en El Salvador, exige la construcción de nuevas urbanizaciones, y con ello la consecuente descarga de los efluentes generados sin ningún tratamiento previo en los cuerpos receptores (ríos, quebradas, etc.), contribuyendo de esta forma a la contaminación del Recurso Hídrico.

Los índices de contaminación microbiológica (*E. coli*) de las aguas superficiales y subterráneas de El Salvador, ascienden hasta el 100 % según un estudio realizado en el año 1996. Por otra parte FUSADES en el año 2000, analizó la contaminación del río Lempa (cuenca más importante del país), concluyendo que la contaminación de éste se debe a aportaciones provenientes de los alcantarillados de los distintos centros urbanos, observando la relación directa entre el proceso de urbanización y sus efectos sobre la calidad del recurso hídrico, sobre todo en las aguas superficiales de las diversas cuencas hidrográficas del país.

Actualmente para el tratamiento y depuración de las aguas residuales domésticas se utilizan Plantas de Tratamiento, las cuales constituyen un conjunto de unidades en donde se desarrollan los procesos físicos, químicos y bacteriológicos de degradación y estabilización de la materia orgánica contenida en dichas aguas.

Lamentablemente muchas de las plantas de tratamiento se encuentran en desuso o abandono y las que están en funcionamiento, no cumplen con los límites máximos permitidos en las concentraciones de sus descargas. Además la disposición de los productos que se generan durante el proceso depurador de las Aguas Residuales; como lodos y gases no poseen una disposición final segura. Por lo que se considera importante aportar una propuesta para la gestión de los efluentes líquidos, la cual proporcione información referente al ámbito legal aplicable, los diferentes tipos de tratamiento, el mantenimiento necesario para el buen funcionamiento de la planta, así como también proporcionar opciones de mejora aplicables para la reactivación de las plantas que están en desuso.

Otro gran problema es la orientación que los esfuerzos gubernamentales tienen, ya que no se ven acciones concretas respecto a la problemática del tratamiento de las aguas residuales generadas. Es debido a esto que en la actualidad son pocos los casos que son divulgados y hasta el momento no se ha dado una respuesta real al problema.

Debe buscarse una solución a la situación actual del país, antes que los efectos de la crisis hídrica tengan una magnitud mayor de la que actualmente tienen, y afecten a mayor población de la que actualmente están afectando.

Aun falta mucho por avanzar, para alcanzar un desarrollo sustentable en El Salvador.

1. AGUAS RESIDUALES

1.1 DEFINICION DE AGUA RESIDUAL

Las “Aguas Residuales” son todas aquellas aguas que una vez utilizadas en algún proceso, son afectadas negativamente en cuanto a su calidad, tornándose en la mayoría de los casos en aguas dañinas para el medio ambiente.¹

El deterioro del agua durante los procesos industriales ó su utilización en fines domésticos (residenciales), ya sea el agua como materia prima o como elemento de apoyo del proceso de industrialización, puede darse en dos componentes: Orgánico y/o Inorgánico.

El componente orgánico se refiere a la introducción de materias de procedencia orgánica normalmente biodegradables, las cuales ocasionan la aparición de microorganismos que ponen en riesgo la salud pública debido a su potencial patógeno.

El Inorgánico se refiere a sustancias contaminantes introducidas de carácter inorgánico, las cuales deterioran su calidad física y química. Estas sustancias van desde materiales inertes en suspensión, hasta materiales tóxicos en dilución, los cuales convierten el agua residual en un impactante factor de desequilibrio de los ecosistemas acuáticos y su entorno.

Dependiendo del tipo de contaminante presente en el agua; que puede ser orgánico y/o Inorgánico, así será el sistema de tratamiento depurador que se aplicará al efluente contaminado (de éstos se tratará en el capítulo 2 del presente documento).

Según el Reglamento de Aguas Residuales de El Salvador, se define al agua residual “como aquella Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes y vertidas a un cuerpo receptor”.²

1.2 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

El agua residual puede ser clasificada en dos categorías, basadas en el origen del agua y de acuerdo a la actividad de la cual son resultado (denominándose desde esta perspectiva como “efluente”). Así podemos encontrar dos tipos de efluentes, los cuales son: de tipo Ordinario ó Doméstico y de tipo Especial.

¹ Manuel E. López, *Introducción a la Evaluación, Planeación y Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*, Costa Rica, Abril 2000.

² Decreto 39, Reglamento Especial de Aguas Residuales de El Salvador, 31 de Mayo 2000

1.2.1 Agua Residual de Tipo Ordinario

“Agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares”.³

El Agua residual de tipo Ordinario está constituida por:

- Aguas negras o fecales.
- Aguas de lavado doméstico.
- Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas.
- Aguas de lluvia y lixiviados.

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes serán los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc. Aunque un aspecto general que puede observarse en las aguas residuales de origen doméstico en El Salvador es que sus composiciones varían relativamente poco entre diferentes comunidades (teniendo en cuenta de que este tipo de residuo no incluye aguas residuales de origen industrial).

1.2.2 Agua Residual de Tipo Especial

“Agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todo tipo de residuo líquido que no se considere de tipo ordinario”.⁴

Son Aguas Residuales que proceden de cualquier tipo de actividad o negocio dentro del cual se lleva a cabo un determinado proceso de producción, transformación o manipulación en el que se utiliza agua; ya sea como materia prima, medio de limpieza, entre otros usos que puede dársele. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria. En algunas industrias no se emiten vertidos líquidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas del año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial que se realiza. También es habitual la variación del caudal y la carga a lo largo del día; dependiendo de la necesidad de consumo que se tenga

³ Decreto 39, Reglamento Especial de Aguas Residuales de El Salvador, 31 de Mayo 2000.

⁴ Decreto 39, Reglamento Especial de Aguas Residuales de El Salvador, 31 de Mayo 2000.

dentro de dicha industria ó negocio, y del tipo de actividad industrial que se realiza. Generalmente las Aguas Residuales de Tipo Especial poseen un nivel de contaminación mayor que las aguas residuales urbanas; además, el tipo de contaminante contenido puede ser más peligroso y por ende requerirá un sistema depurador más complejo. A esto debe sumarse la alta carga y la gran variabilidad que presentan, imponiendo de esta manera factores que agregan complejidad al tratamiento, por lo cual se hace necesaria la realización de estudios más rigurosos y específicos para el tratamiento de este tipo de efluentes líquidos.

1.3 TIPOS DE CONTAMINANTES

Actualmente, la contaminación de los cauces naturales tiene su origen en tres fuentes principales:

- Vertidos urbanos
- Vertidos industriales
- Contaminación difusa (lluvias, lixiviados, etc.)

1.3.1 Clasificación de los Contaminantes:

Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en el agua residual son muy variadas. Estos contaminantes; como ya se mencionó, pueden ser Orgánicos ó Inorgánicos.

1.3.1.1 Contaminantes Orgánicos⁵

Son sustancias cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y vertidos generados en la industria agroalimentaria.

Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales son:

Proteínas: Proceden fundamentalmente de excretas humanas o de los desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y son los responsables de la generación de malos olores.

Carbohidratos: Se incluye en este grupo a los azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden; al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.

Fenoles: debidos generalmente a su utilización de diversas actividades industriales.

⁵ Romero Rojas, “Calidad del Agua”. 2ª Ed., México D. F., Editorial Alfa Omega. 1999 ”

Aceites y Grasas: Son altamente estables, inmiscibles con agua, proceden de desperdicios alimentarios; en su mayoría, a excepción de aceites minerales que proceden de otras actividades.

Agentes Tensoactivos: Estos son los contaminantes responsables de la generación de espumas, y por lo general son sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Se relacionan fácilmente con industrias de detergentes y jabones (principalmente).

Pesticidas y Productos Químicos Agrícolas: Se incorporan a las aguas residuales como consecuencia de la escorrentía superficial de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas (generalmente).

Otros: Incluyen varios tipos de compuestos como organoclorados, organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad.

1.3.1.2 Contaminantes Inorgánicos⁶

Son de origen mineral y de naturaleza muy variada. Estos contaminantes pueden ser: sales, óxidos, metales, ácidos y bases inorgánicas, etc. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria.

Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente emisora de contaminación.

1.4 CONTAMINANTES HABITUALES EN LAS AGUAS RESIDUALES

Las sustancias contaminantes más comúnmente encontradas en aguas residuales son:

1.4.1 Arenas

Las arenas son una serie de partículas de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

1.4.2 Grasas y Aceites

Son aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y

⁶ Romero Rojas, "Calidad del Agua". 2ª Ed., México D. F., Editorial Alfa Omega. 1999 "

espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual para mantener un nivel de depuración del efluente adecuado.

1.4.3 Residuos con Requerimiento de Oxígeno

Son todos aquellos compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que sufren fácilmente y de forma natural procesos de oxidación; y que por lo tanto, llevan a cabo un consumo de oxígeno del medio (generalmente el oxígeno disuelto). Estas oxidaciones se realizan ya sea por vía química o biológica.

1.4.4 Nitrógeno y Fósforo

Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en aguas residuales es debida principalmente a detergentes y fertilizantes. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.

En tratamientos que consisten en la presencia de algas y otro tipo de microorganismos llegan a considerarse de gran valor dentro de un efluente, puesto que son nutrientes que una gran variedad de microorganismos necesitan.

1.4.5 Agentes Patógenos

Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades tanto a seres humanos, así como pueden ser dañinos para otros organismos.

Algunos de estos agentes patógenos son beneficiosos en un proceso de tratamiento, pero es necesario antes de descargar el efluente al cuerpo receptor, eliminar estos agentes; esto se puede lograr de diferentes formas, entre éstas la más conocida y utilizada hasta ahora es la cloración del agua.

1.4.6 Otros Contaminantes Específicos

Incluye sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos, entre los que se pueden mencionar: metales pesados (como por ejemplo: plomo, mercurio, etc.), fenoles, petróleo, pesticidas, entre otros.

1.5 GENERALIDADES DE EFLUENTES LIQUIDOS DE ORIGEN DOMESTICO

Es de hacer notar que cada una de las características que un residuo líquido posee, dependerá directamente de las características que le dé un determinado proceso ó actividad del cual es resultado. En otras palabras, la mayoría de características del efluente dependen directamente de la actividad que origina el residuo.

1.5.1 Origen y Tipos de Aguas Residuales Domésticas

Los usos que da el hombre al agua generan residuos líquidos que se presentan en forma aislada o mezcladas en diferentes concentraciones. Las aguas Residuales Domésticas se originan:

1. En las viviendas familiares por:

- Preparación de alimentos, lavado de utensilios de cocina, limpieza de la casa en general, lavado de ropa e higiene personal.
- Uso de servicios sanitarios.
- Lavado de superficies pavimentadas externas y de automóviles.

2. En los edificios públicos por:

- Limpieza del edificio, higiene personal, preparación de alimentos y lavado de utensilios de cocina.
- Uso de baños públicos.
- Lavado de superficies pavimentadas externas y de automóviles.

3. En los pequeños establecimientos comerciales por:

- Limpieza del local ó establecimiento, preparación de alimentos, lavado de utensilios de cocina, lavado de ropa e higiene personal.
- Uso de servicios sanitarios.
- Lavado de superficies pavimentadas externas y de automóviles;

Las aguas residuales crudas de origen doméstico, emergen como un líquido turbio, de color gris o amarillento, con olor séptico, en el cual van suspendidas partículas de sedimentos, heces, residuos vegetales, tiras de papel y materiales sintéticos. Cuanto más largo sea el colector que

los conduce y mas turbulento el flujo en el alcantarillado, más pequeñas serán las partículas presentes en el agua residual.

1.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO.

Existe una diversidad de factores que influyen en la composición de las aguas residuales, que como ya antes se aseveró, las características de éstas dependerán de las actividades a las cuales ha sido sometido el líquido que al final de un determinado proceso o actividad será el efluente de interés para su respectivo tratamiento.

1.6.1 Composición de las Aguas Residuales Domésticas⁷

Las Aguas Residuales de Origen Doméstico, están constituidas principalmente por materia orgánica fácilmente biodegradable, su composición básica es:

- 40-60% de proteínas.
- 25-50% de carbohidratos.
- 10% de lípidos, con trazas de otros compuestos.

La materia orgánica puede encontrarse como carbono disuelto (Carbono Orgánico Disuelto, COD) o en forma particulada (Carbono Orgánico Particulado, COP). Este último puede separarse del disuelto por decantación o por floculación. Existen diversos métodos para medir la cantidad de materia orgánica en el agua, entre los cuales se encuentran los siguientes:

1. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
2. Determinación de la Demanda Total de Oxígeno (DOT).
3. Medición de la Cantidad de Carbono Orgánico Total (COT).
4. Medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).
5. Determinación de la Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO).

Los métodos de los literales 1, 2, 4 y 5, se basan en la valoración de la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar diferentes fracciones de la materia orgánica presente en el agua. De éstas la que actualmente más se está utilizando es la DBO.

⁷ Baeza L. William Baeza. *Principios y Microbiología del Tratamiento de Aguas Residuales*. 2ª Ed. Colombia, 1994

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es la concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos, presentes en el agua o añadidos a ella para efectuar la medida de este parámetro, en la oxidación de toda la materia orgánica presente en la muestra de agua. Su valor debe ser inferior a 8 mg/l⁸.

La DBO puede descomponerse en dos factores:

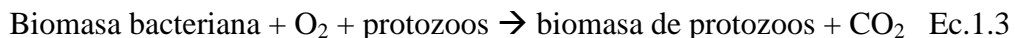
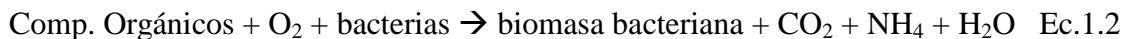
- La Demanda de Oxígeno para la oxidación que es realizada por los microorganismos quimioheterótrofos (DOH) y,
- El oxígeno consumido en las oxidaciones de los quimioautótrofos nitrificantes (DON).

La DOH se mide añadiendo a la muestra de agua a analizar unas soluciones tampón que contiene las sales inorgánicas necesarias para el crecimiento de los microorganismos y que está saturada de O₂. La muestra se incuba en estas condiciones durante cinco días a 20°C en la oscuridad. Las concentraciones de oxígeno se miden utilizando un electrodo de oxígeno. Es necesario añadir al experimento un inhibidor de la nitrificación. El cálculo de la DOH se hace según la fórmula:

$$\text{DOH (mg/l)} = (D_1 - D_5) / P \quad \text{Ec.1.1}$$

Donde D₁ y D₅ son las concentraciones de oxígeno en la muestra el primero y el quinto día y P el coeficiente de dilución de la muestra. Para realizar esta medida se necesita una población mixta de microorganismos, si ésta no es muy abundante puede suplementarse con un inóculo destinado a la degradación del material orgánico en el tiempo requerido.

El valor de la DOH comprende todas las transformaciones oxidativas de la materia orgánica biodegradable:



El rendimiento de la conversión de la biomasa bacteriana en la de protozoos es de 0,78 mg protozoos / mg bacterias.

La DON es la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos nitrificantes que oxidan el NH₄ como fuente de energía. En general, el consumo viene a ser de unos 4.57 gr. de O₂ / gr.

⁸ Baeza L. William Baeza. *Principios y Microbiología del Tratamiento de Aguas Residuales*. 2ª Ed. Colombia, 1994

de NH_4 consumido; pero parte de éste nitrógeno no se oxida a NO_2^- o a NO_3^- sino que se incorpora a las bacterias, por lo que el factor de corrección para los cálculos es de 4.33:

$$\text{DON} = (\text{N disponible} - \text{N asimilado}) \times 4.33 \quad \text{Ec.1.4}$$

La DON es la causante de muchos altos valores de demanda de oxígeno en aguas con bajo contenido de materia orgánica. En aguas con un contenido rico en NH_4 , la actividad de las bacterias nitrificantes puede consumir entre el 25% y el 85% del total del oxígeno consumido.

Para distinguir entre la DOH y la DON se emplean inhibidores de la nitrificación que no afectan al consumo heterótrofo de materia orgánica. Un inhibidor de este tipo de la 2-cloro-6 (tricloro-metil)-piridina.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente la materia orgánica utilizando oxidantes químicos como dicromato potásico ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con ácido sulfúrico.

Los valores de la DQO han de estar en relación con los de la DBO; si la DQO es mucho mayor que la DBO una parte importante de la materia orgánica presente en el agua no será fácilmente biodegradable. Para las aguas domésticas, la DQO es del orden de 250 a 1000 mg de O_2 por litro, y la relación DBO/DQO oscila entre 0.4 y 0.8. Las aguas estabilizadas biológicamente tienen una relación DBO/DQO=0.12.

Carbono Orgánico Total (COT): Se determina mediante la oxidación de la materia orgánica utilizando calor y oxígeno o a través de oxidantes químicos, y se detecta mediante análisis de infrarrojo la producción de CO_2 . Los valores deben ser comparables con los de la DQO.

Demanda Total de Oxígeno (DOT ó DTO): Sus resultados son relacionados directamente con la DQO. Esta es una metodología relativamente nueva y no muy utilizada. La DTO se determina observando el contenido de oxígeno presente en el gas que aporta el nitrógeno.

Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO): Se determina a partir de fórmulas químicas de la Materia Orgánica.

Otros parámetros de importancia son:

pH: Es un parámetro que indica la concentración de protones (iones H^+) formados en una disolución acuosa.

Cloruros: Estos pueden estar presentes debido al contacto de las aguas con suelos y rocas que los contengan, heces humanas, debido a ablandadores, aguas domésticas, aguas industriales.

Alcalinidad: Esta es debida a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, así como también amoníaco.

Nitrógeno y Fósforo: Son nutrientes y bioestimulantes, permiten evaluar la posible aplicabilidad de procesos biológicos. En el agua residual, el nitrógeno en forma de amoníaco sirve para determinar la edad de la misma.

Azufre: Generalmente se presenta como H_2S el cual es el resultado de la actividad de degradación anaeróbica de la materia orgánica, y que generalmente es uno de los causantes de la generación de malos olores en el agua residual.

Compuestos Tóxicos: Son generalmente ciertos cationes de cobre, plomo, plata, cromo, arsénico, boro, potasio, amoníaco, cianuros, cromatos y fluoruro.

Metales Pesados: Entre éstos se encuentran níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, cinc, cobre, hierro y mercurio (en forma de trazas). Es conveniente en una planta depuradora medir y controlar las concentraciones de metales pesados, puesto que algunos en cantidades moderadas son benéficos para ciertos organismos que podrían resultar de interés en un determinado tratamiento.

Gases disueltos: Pueden ser: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, amoníaco, metano, cloro y ozono.

Es posible hacer una caracterización física de las aguas residuales, en dicha determinación se toman en cuenta los siguientes parámetros:

Sólidos Totales o Residuos: Es la cantidad de materia sólida que permanece como residuo, posterior a la evaporación total del agua a una temperatura que varía entre $103^{\circ}C$ a $105^{\circ}C$.

Sólidos Suspendidos o en Suspensión: Son los sólidos no solubles que representan la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos totales disueltos, los cuales se determinan por filtración con un filtro de Diámetro mínimo de sus poros menor o igual a $1 \mu m$.

Sólidos Sedimentables: Materia que se deposita por acción de la gravedad en el fondo de cualquier recipiente o cuerpo receptor que contenga agua. Se determinan haciendo uso de un

cono Imhoff; permitiendo sedimentación durante un período de tiempo de 60 minutos. Esta es una medida aproximada de la cantidad de fango que se podrá eliminar mediante sedimentación.

Sólidos Coloidales: Para su eliminación se requiere de un proceso de coagulación u oxidación biológica seguido de un proceso de sedimentación.

Sólidos Suspendidos Volátiles: Estos son sólidos orgánicos, los cuales se determinan por medio de una oxidación para luego ser expulsados como gas a una temperatura de 600°C.

Sólidos Suspendidos Fijos: Estos son los sólidos inorgánicos ó minerales que se convierten en ceniza a 600°C. La determinación de los sólidos volátiles en general es aplicada y de gran utilidad en fangos de agua residual para determinar la estabilidad de dichos fangos.

Olor: El olor de las aguas residuales domésticas frescas es muy característico y ligeramente desagradable. A medida que la descomposición de éstas avanza y los sulfatos son reducidos a sulfuros, el mal olor puede incrementarse como resultado de una descomposición anaeróbica.

Color: El color es un indicador de la edad del Agua Residual Doméstica. Cuando estas son frescas su color es grisáceo, pero a medida que los compuestos orgánicos son desdoblados por las bacterias y las condiciones se entornan en anaeróbicas, su color cambia a negro. El color causado por materia suspendida se conoce como color aparente. Las partículas que lo causan son cargadas negativamente y su remoción se efectúa por medio de coagulación. El color verdadero es causado por sustancias vegetales de tipo coloidal.

Temperatura: La temperatura de las Aguas Residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas debido a la energía liberada durante las reacciones bioquímicas que se presentan en la degradación de la materia orgánica.

La caracterización Biológica del agua residual permite:

- Identificar los Grupos de microorganismos presentes en las Aguas Residuales y cuales de éstos pueden ser utilizados en tratamientos biológicos.
- Identificar Organismos Patógenos presentes en el agua residual.
- Determinar Organismos Indicadores de contaminación del Agua y su importancia.
- Aplicar métodos de valoración de toxicidad en un agua residual tratada.

Las Aguas Residuales urbanas contienen un gran número de organismos vivos son los responsables de la actividad biológica; produciendo de esta forma la fermentación, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica.

Al realizar la caracterización biológica del agua residual se podrá observa la presencia de los siguientes tipos de organismos:

Protistas: Entre los cuales se encuentran las bacterias, algas, hongos y protozoos.

Virus: Presentan una acción nociva como agentes productores de enfermedades. En un gramo de heces se puede encontrar hasta 10⁹ partículas de virus infecciosos. Los virus más comunes en las aguas residuales son: Adenovirus, Enterovirus, Poliovirus, Echovirus, Hepatitis A, Reovirus y Rotavirus.

Plantas y Animales: Desde rotíferos microscópicos (Metazoarios) y gusanos, hasta crustáceos macroscópicos.

Organismos Patógenos: Los cuales pueden ser altamente infecciosos y que provienen de las heces humanas por lo general. Su identificación se relaciona con el grupo de organismos coliformes.

Dependiendo del sistema de tratamiento que se utilice, varios de éstos grupos antes expuestos encuentran una aplicación depuradora del efluente. Los parámetros que se analizarán a las muestras de agua; tomadas de las Plantas de Tratamiento visitadas, en el presente estudio, serán las que exige la Norma para Aguas Residuales de Tipo Ordinario Descargadas a un Cuerpo Receptor (NSO 13.49.01:06), estos son: DQO, DBO₅, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendedos Totales, Aceites y grasas.

1.7 VARIACIONES EN CONCENTRACIONES DE LOS CONSTITUYENTES DEL AGUA RESIDUAL.

Los principales factores responsables de las variaciones de concentraciones, cargas orgánicas y además de los caudales de alimentación de las aguas residuales a las plantas de tratamiento son:

- Costumbres de los residentes de la comunidad, que producen variaciones a corto plazo (horarias, diarias y semanales).
- Condiciones de carácter estacional, que producen variaciones a mayor plazo.

- Actividades Industriales, Semi-industriales, Agrícolas y Agropecuarias que causan variaciones tanto a corto como a largo plazo.

1.7.1 Variaciones a Corto Plazo⁹

En la Figura 1.1, se ilustran los datos típicos de la variación horaria de la concentración del agua residual. La variación de la concentración de la DBO sigue la misma curva que la variación de los caudales.

La concentración punta de DBO suele presentarse durante la noche, alrededor de las 21 horas. El agua residual que proviene de redes de alcantarillado unitarias -alcantarillado que conduce aguas de origen doméstico y aguas lluvias- suele tener un contenido más alto en materia inorgánica que la procedente de redes sanitarias. Debido a la mayor cantidad de aguas pluviales que entran en las redes sanitarias.

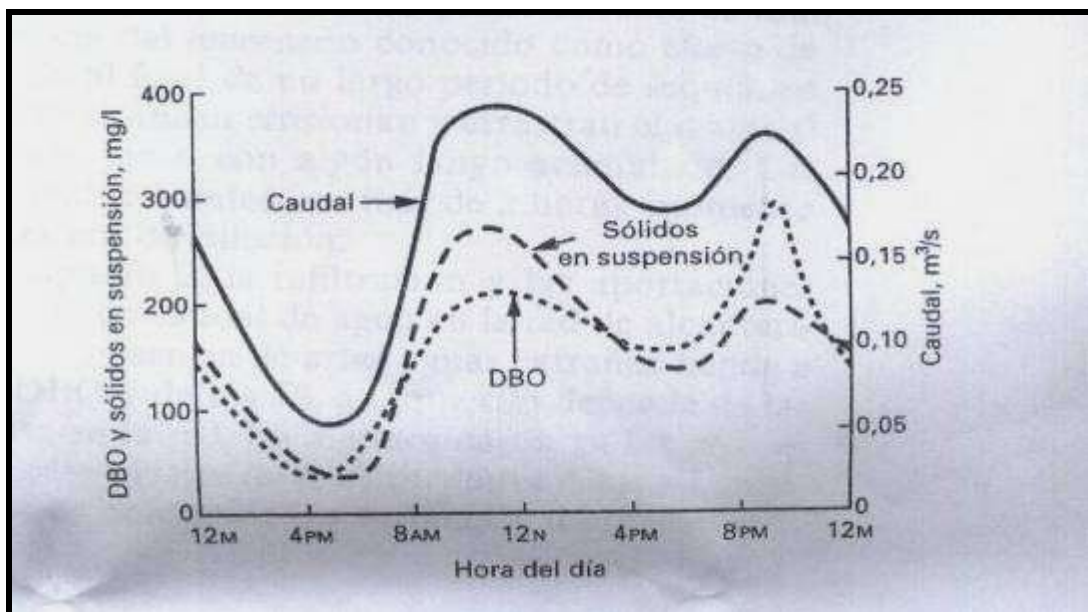


Figura 1.1 Variación Horaria Típica del Caudal y Concentración del Agua Residual de Origen Doméstico.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1985. Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales 2ª. Ed.

1.7.2 Variaciones Estacionales¹⁰

Considerando exclusivamente el agua residual de origen doméstico, y despreciando los efectos de la infiltración, las aportaciones unitarias de contaminación (por habitante) y la concentración del agua residual procedente de la mayoría de las comunidades de carácter estacional, tales como

⁹ Metcalf & Eddy, .Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales.2ª .Ed, Colombia, Grupo Editorial Quinto Centenario, 1994. (METCALF & EDDY) Paginas 74-75.

¹⁰ METCALF & EDDY.

centros turísticos, la composición del agua residual de origen doméstico no varía; prácticamente, a lo largo del año, aun cuando el caudal total si presente variaciones. No obstante, la masa total de DBO y de Sólidos Suspendidos (SS) del agua residual aumenta directamente con la población a la que sirve la red.

En las redes de alcantarillado unitarias, las variaciones estacionales de la DBO y de los Sólidos Suspendidos responden, fundamentalmente, a la cantidad de agua pluvial que entra en la red. En presencia de aguas pluviales, las concentraciones medias de estos constituyentes suelen ser menores que las concentraciones que se presentan en las aguas de origen doméstico.

A pesar de que la presencia de aguas pluviales hace que las concentraciones medidas de la mayoría de los constituyentes sean menores, puede producirse un aumento significativo de la DBO y de los SS en las primeras fases de una tormenta. Este hecho es consecuencia del fenómeno conocido como efecto de la primera descarga, mas acentuado al final de un largo periodo de sequía, en el que las velocidades de flujo que se alcanzan erosionan y arrastran material depositado durante el periodo seco, junto con algún fango acumulado. Las altas concentraciones iniciales no suelen mantenerse más de 2 horas, momento a partir del cual es apreciable el efecto de dilución.

La infiltración y las aportaciones controladas constituyen otra fuente de caudal de agua en la red de alcantarillado. En la mayoría de los casos, la presencia de estas aguas extrañas tiende a reducir la concentración de la DBO y de los Sólidos Suspendidos, aunque ello depende de las características del agua que penetra en la red. En algunos casos, en los que las aguas subterráneas presentan grandes niveles de constituyentes disueltos, pueden aumentar las concentraciones de determinadas sustancias inorgánicas.

1.7.3 Variaciones Industriales

Las concentraciones, tanto de la DBO como de los SS en las aguas residuales de origen industrial, pueden variar ampliamente a lo largo del día.

1.8 CANTIDAD DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

La cantidad de aguas residuales domésticas, es igual al agua consumida del sistema de abastecimiento menos el agua utilizada para cocinar, beber, regar el césped y el jardín. Las heces y otros productos de desecho que se reañaden a las aguas residuales llegan

aproximadamente a solo 1.4 Kg. por persona al día. Se puede concluir que la cantidad de aguas residuales domésticas es casi el 80% del consumo de agua. El consumo de agua depende esencialmente de hábitos y condiciones de vida, al mejorar estos, la cantidad de aguas residuales también aumenta.

El volumen de aguas residuales sufre variaciones horarias, diarias y anuales. Se observa un incremento de aguas residuales al comienzo de la semana, debido a las actividades diarias. Los domingos y feriados, la cantidad de aguas residuales se reduce.

1.9 RELACION HOMBRE, AGUA RESIDUAL Y MEDIO AMBIENTE.

El recurso hídrico en El Salvador está siendo altamente afectado por la presión humana sobre el mismo, agravando cada vez más su situación de disponibilidad; tanto en cantidad y como en calidad. Estos factores de presión son principalmente la sobreexplotación de los acuíferos, el vertido de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua (sin darles un tratamiento previo o con un tratamiento inadecuado), los cambios en el uso de suelos, deforestación, prácticas agrícolas inadecuadas, incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros. Este decremento en la disponibilidad hídrica aunado a un alto índice de crecimiento poblacional, genera conflictos que han comenzado a sentirse y que tienden a incrementarse sino se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación, normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional, así como también que regulen la forma de su utilización y disposición final de los residuos tanto industriales como urbanísticos.

Se sabe que las aguas residuales; generalmente, albergan microorganismos que causan enfermedades (patógenos), incluyendo virus, protozoos y bacterias. La diarrea y la gastroenteritis se encuentran entre las tres principales causas de muerte en el mundo y en la región latinoamericana. El agua que no es segura para beber y la contaminación a través del desecho inadecuado de aguas negras son responsables de la gran mayoría de estas muertes. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), solo en Brasil, 20 niños mueren cada día debido a la falta de sistemas de aguas negras. Este es un problema que está directamente relacionado con la presencia de enfermedades infecciosas tales como el cólera, hepatitis, disentería, gastroenteritis y muchas otras, que en muchos casos son el resultado de un mal manejo de los efluentes líquidos de origen doméstico e industrial.

1.9.1 Impacto de los Contaminantes en la Calidad de las Aguas Superficiales

El origen de la contaminación puede ser puntual o no puntual. Los primeros se refieren a la descarga directa de vertidos industriales y/o domésticos a los ríos, océanos o cualquier otro cuerpo de agua receptor, mientras que la contaminación no puntual se origina por fuentes dispersas a lo largo del cauce del río, tales como la erosión, fertilizantes movilizados por la lluvia, entre otros.

Los ríos cuentan con una capacidad de autodepuración de sus aguas la cual se define como el conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a un río. Los compuestos que son posibles de ser degradados por los ríos son llamados compuestos biodegradables. Pero hay compuestos que son persistentes y que no pueden ser transformados por el curso de agua, estos son denominados compuestos no biodegradables o permanentes. La capacidad de autoregeneración de un río depende del caudal del mismo, el cual permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación; la turbulencia del agua, que aportará oxígeno diluido al medio; y la naturaleza y volumen del vertido. En este sentido la presencia en el agua de altas concentraciones tanto biodegradables como elementos no biodegradables, anula el proceso de autodepuración, se rompe el equilibrio y queda una zona contaminada que resulta difícil de recuperar sino es de forma lenta y/o artificial, limitando todos los usos posteriores del agua, o causando efectos negativos al ser usada.

Muchos compuestos tales como plaguicidas, fertilizantes, metales pesados, entre otros, no desaparecen de los ambientes acuáticos, sino que cambian de lugar, acumulándose en el fondo de ríos e incorporándose a las plantas y a las cadenas tróficas, produciendo a mediano y largo plazo enfermedades en la población.

1.9.2 Impacto de la Contaminación en la Salud Humana.

El agua contaminada puede producir efectos muy negativos, ya que provoca enfermedades humanas de corto, mediano y largo plazo. Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), las enfermedades gastrointestinales son una de las primeras diez causas de muerte en el país¹¹. Las bacterias más frecuentes en las aguas contaminadas son las Coliformes Fecales que se encuentran en las heces humanas. La escorrentía superficial y consecuentemente,

¹¹ Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social “Salud para un país de futuro” La Prensa Gráfica, El Salvador, Julio de 2004

la contaminación por fuentes no localizadas contribuyen de forma significativa al alto nivel de agentes patógenos en las masas de aguas superficiales, lo cual aunado a los deficientes servicios rurales de higiene contribuyen a aumentar el riesgo para los pobladores.

Como se ha podido observar, la relación entre el hombre, agua residual y medio ambiente, es algo que afecta a todos (a cada uno de los miembros de esa cadena de relación). Razón por la cual debe ser un interés conjunto el que debe realizarse para que los efectos negativos que se están empezando a detectar no se incrementen y causen mayor daño del que ya han causado.

El cuidado del recurso hídrico, del medio ambiente y consecuentemente de la salud humana es un compromiso compartido entre el gobierno, la industria y la sociedad. Compromiso en el cual, estos tres sectores, deben tener una participación activa y no fluctuante para lograr un resultado que sea favorable para todas las partes, y poder garantizar así el desarrollo sustentable de la comunidad salvadoreña, estos esfuerzos deben garantizar efectos tanto a corto como a largo plazo. Puesto que de continuar la tendencia que hasta el momento se ha estado llevando, el deterioro del medio ambiente y de la sociedad salvadoreña irá incrementándose hasta producir una crisis hídrica mayor a la que ya se tiene.

2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Hasta este momento se ha proporcionado información sobre la composición de las Aguas Residuales, pero también es de gran importancia que se tenga conocimiento de los tipos de tratamiento que existen para la Depuración de los Efluentes líquidos y de la clasificación de dichos tratamientos. Puesto que en base a ese conocimiento puede determinarse el tipo de tratamiento que se requerirá y que se considere el más conveniente.

Debido a la gran variedad de tratamientos de Aguas Residuales existentes muchas veces se elige el tipo de tratamiento inadecuado, ya que no se toman en cuenta factores que ayudan a identificar el diseño de la Planta de Tratamiento de acuerdo al afluente a tratar. En cuanto a la selección de un tipo de tratamiento, debe ser realizada la caracterización del agua residual a tratar previo a la selección de las diferentes etapas que se aplicarán en una planta, además se recomienda la realización de estudios de planta piloto previos al dimensionamiento de una planta depuradora de un efluente líquido de origen doméstico, esto con la finalidad de prever el comportamiento y factibilidad técnica de que un determinado tipo de tratamiento pueda funcionar en dicho efluente.

La Planta Depuradora de Residuos Líquidos es el conjunto de todas aquellas Operaciones y Procesos que tienen la finalidad de disminuir y/o eliminar determinado tipo de contaminación de un efluente líquido que es resultado de una actividad humana de tipo industrial ó doméstico, y que minimice el impacto de ésta contaminación a niveles permisibles para el medio ambiente.

Una práctica muy común dentro de la coyuntura salvadoreña es la implementación de Plantas de Tratamiento con un tipo de tecnología establecido, que muestran buen funcionamiento en su lugar de origen sin hacer ninguna adaptación a las características de los efluentes líquidos de una determinada comunidad en la cual será implementada. Incluso, el que una planta tenga un buen desempeño en una región determinada, no quiere decir que la misma planta proporcionará los mismos resultados y tendrá el mismo desempeño, sin realizar una tipificación y adecuación de los tratamientos a las condiciones del lugar donde se aplicarán las diferentes etapas de tratamiento de la planta modelo, ya que se deben tomar muchos factores que afectarán la efectividad del tratamiento y las características del efluente líquido que proviene de la planta de depuración.

Un líquido residual que ha pasado por un proceso de tratamiento ó depuración y que será finalmente descargado en una fuente receptora (ésta puede ser un río, un lago, etc.) debería

(idealmente) permitir la auto depuración de la fuente receptora posteriormente a la descarga de dicho líquido a la misma, sin causar ningún impacto a la flora o fauna de la fuente receptora.

Para conseguir ó lograr esta finalidad, se han desarrollado a través del tiempo una diversidad de tipos de tratamiento que se han utilizado para la eliminación ó disminución de las características del agua residual que se consideren dañinas tanto para el ser humano, así como también para el ecosistema. En este capítulo, se tratarán de abordar las generalidades de los tipos de tratamiento así como también se describirán brevemente algunos de ellos.

2.1 GENERALIDADES DE LOS TRATAMIENTOS.

Los diversos tratamientos de efluentes líquidos de origen doméstico tienen el objetivo de la depuración de tales efluentes para lograr un equilibrio entre la relación humano y medio ambiente sin que ninguno de los dos salga afectado, esto se logra a través de la disminución ó eliminación de la contaminación generada por el hombre y por ende del impacto que causa en el medio ambiente.

Existe una variedad de tratamientos que están destinados para la eliminación de determinada(s) características del agua; éstas se trataron en el capítulo 1.0. Los tratamientos pueden ser desde los métodos más rústicos y convencionales hasta tecnologías de alto nivel tecnológico, que en algunos casos pueden ser vanguardistas, los cuales pueden proporcionar un alto nivel de depuración pero puede redundar en un alto nivel de costos, ya sea una inversión inicial alta o un costo de mantenimiento y/o funcionamiento elevado.

Es importante para la selección de un determinado tipo de tratamiento tener clara la composición del efluente a tratar, puesto que esto será el indicador del tratamiento más adecuado para la necesidad existente. Cuando se presupone un determinado tipo de tratamiento específico, es de suma importancia que se tenga claro y bien establecido el origen de la contaminación y la procedencia del efluente a tratar. Dado que esto es una guía muy útil para la selección de un tipo de tratamiento, ya que al conocer la historia de procedencia de un efluente se puede tener una idea de la composición del mismo.

Algo de suma importancia, es que al considerar una planta de tratamiento de efluentes líquidos, no debe limitarse a la simple idea de pensar que se va a realizar un tratamiento únicamente a efluentes líquidos. Y esta idea resulta errónea puesto que durante los diferentes tipos de tratamiento de dichas aguas residuales, puede tenerse la generación de fangos y grasas, así como

también la generación de gases procedentes de los procesos de degradación. En este marco, puede observarse que el proceso de depuración completo en una planta de tratamiento de agua residual deberá orientarse a:

- Residuos Sólidos.
- Efluentes Líquidos.
- Gases Generados.

Estos productos del proceso completo deben ser dispuestos de una manera segura, de tal forma que no representen ningún riesgo o peligro para los operadores, ni para ninguna otra persona. Hay factores generales que deben tenerse en consideración en cualquier tipo de tratamiento que se utilice, entre ellos se encuentra:

- Tiempos de Retención.
- Pérdidas de Carga y/o Energéticas.
- Mantenimiento.
- Necesidades de Funcionamiento.

2.1.1 Tipos de Tratamiento

Existe una amplia gama de tratamientos que pueden ser aplicados, que aprovechan ya sea propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales. Debido a esto, se ha decidido clasificar los tipos de tratamiento de la siguiente manera:

- Operaciones Físicas Unitarias.
- Procesos Químicos Unitarios.
- Procesos Biológicos Unitarios.

Generalmente en una planta de tratamiento se encontrará una combinación de los tres tipos de tratamiento antes mencionado; ya sea que cada uno de los tipos de tratamiento depura una ó varias características específicas del agua a tratar. Estos resultados individuales juntos constituyen un tratamiento completo y que produce un mejor resultado en el tratamiento del efluente. Existe una infinidad de combinaciones posibles que pueden realizarse dado que dentro de estos tipos de tratamiento antes mencionados existen subtipos, y son precisamente estos

subtipos los que se combinan para dar el sistema de tratamiento. Actualmente ya existen sistemas que están estereotipados de los cuales generalmente se selecciona el que más pueda aplicarse a la necesidad de depuración y las características ambientales que se tengan. De estas combinaciones o modelos de plantas de tratamiento se trata en la sección 2.1.2

2.1.2 Modelos de Plantas de Tratamiento.

Es evidente que una planta de tratamiento está constituida por diferentes etapas, pero generalmente el proceso completo se nombra de acuerdo al tratamiento principal. Así de tal manera si el tratamiento principal es un sistema de lagunas de Oxidación, el proceso de tratamiento completo es referido bajo este nombre, y no al conjunto de tratamientos. En general, las plantas de tratamiento siguen un esquema sencillo en el cual se tienen operaciones físicas que eliminan sólidos en función de las propiedades físicas de estos, posterior a ello se tiene un proceso biológico en donde los microorganismos degradan la materia orgánica, generalmente en el proceso biológico se da la formación de lodos, es por ello que antes de descargarse, se realiza de nuevo una separación de dichos sólidos por medio de operaciones físicas, todo esto se realiza bajo el esquema de la figura 2.1. Antes de realizar la descarga del efluente al cuerpo receptor puede agregarse una etapa de cloración con la que se eliminan microorganismos que pueden resultar dañinos para un determinado uso.

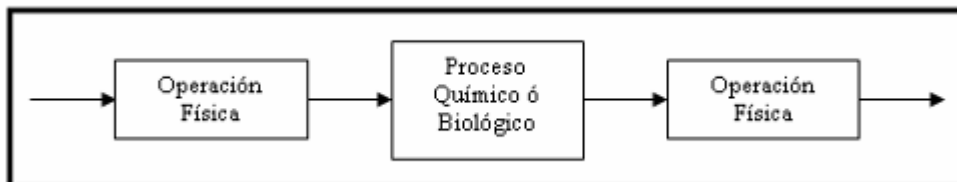


Figura 2.1 Esquema básico de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Los esquemas que se discutirán brevemente en los apartados 2.1.2.1 al 2.1.2.6 son:

- Sistema de Lagunas de Aireación.
- Sistema de Estanque de Estabilización.
- Sistema de Filtros Percoladores.
- Sistema de Fangos Activos
- Sistema de Tratamiento con Reactor UASB.
- Sistema de Tratamiento con Plantas Emergentes.

2.1.2.1 Sistema de Lagunas de Aireación.

Se entiende por Laguna de Aireación a un estanque en el cual se da un proceso de degradación aeróbica ya sea por adición de oxígeno o aire al agua a tratar. En ésta puede o no haber recirculación de los sólidos (en este caso se trata de lodos activados). Este proceso de tratamiento se ilustra en la figura 2.2 b), en el cual puede observarse una operación primaria de cribado con rejillas (operación física), que tiene la función de eliminar sólidos gruesos, para posteriormente pasar a la laguna de aireación (proceso biológico), en donde se dará un proceso de degradación aeróbica, este proceso originará la formación de fangos de tipo aeróbico, al estar formados los fangos en esta etapa el efluente es transportado a un tanque de sedimentación (operación física) en esta etapa los fangos son separados y purgados; en caso de ser necesario una fracción de esta purga puede ser recirculada para lograr una mayor efectividad en el proceso de tratamiento.

Previo a la descarga del efluente a una fuente receptora se lleva a cabo un proceso de adición de Hipoclorito de Sodio ó de gas Cloro para la desinfección del efluente. Este proceso se lleva a cabo en un tanque de Cloración (y se considera un proceso químico). Finalmente el efluente es descargado al cuerpo receptor.

2.1.2.2 Sistema de Estanque de Estabilización.

El estanque de estabilización ó estanque de oxidación son lagunas con relativamente poca profundidad, la cual está contenida en un estanque de tierra de configuración controlada. Una de las mayores ventajas de este sistema de tratamiento es que un estanque de estabilización tiene muy bajos costes tanto en su construcción como en su funcionamiento. Los estanques de estabilización pueden ser de tres tipos: aeróbicos, anaeróbicos y un sistema combinado aeróbico-anaeróbico.

Una de las desventajas de este tipo de tratamiento es que requieren un área mayor dependiendo de la cantidad y características del agua a tratar, además, sus tiempos de retención son bastante altos en comparación con otros sistemas.

Debido a la gran variabilidad que presentan estos sistemas de tratamiento, la figura 2.2 d) muestra un esquema general y no específico para las diferentes lagunas ó estanques existentes. Las etapas de Tratamiento observadas en este sistema de tratamiento con estanques de estabilización que se logran observar son:

- Cribado (separación de sólidos gruesos).
- Tratamiento en Estanque de Estabilización (como se mencionó, éste puede ser aeróbico, anaeróbico ó una combinación de los dos anteriores. También puede tenerse un sistema de lagunas en las que se combinan éstos diversos tipos de estanques).
- Instalaciones de Separación de sólidos (donde se separan los sólidos formados en los estanques de estabilización debido a la degradación de la materia orgánica).
- Cloración con Cloro gaseoso ó con hipoclorito de sodio, para desinfección del efluente.
- Tratamiento aeróbico en Filtro percolador.
- Factores que se deben tener en cuenta en este tipo de tratamiento de aguas residuales:
- Carga Orgánica de Alimentación.
- Sistemas de separación de sólidos.
- Sistemas para la recolección de algas formadas.
- Conducciones del afluente y también del efluente.

2.1.2.3 Sistema de Filtros Percoladores.

Un filtro percolador es una cámara que contiene un relleno en donde se forman capas de microorganismos que degradan la materia orgánica en un medio aeróbico.

Estos sistemas son muy utilizados, pueden constituir el tratamiento principal ó ser un tratamiento complementario, para mejorar la eficiencia del tratamiento.

El sistema simple de filtro percolador se muestra en la figura 2.2 c). Las variantes que generalmente se hacen a este sistema están directamente relacionadas a las etapas del filtro percolador, ya sea que se utiliza un sistema en paralelo ó en serie, así como también diferentes recirculaciones que pueden realizarse para mejorar la eficiencia del tratamiento.

Las etapas depuradoras de aguas residuales en un sistema de filtro percolador como tratamiento principal se resumen en:

- Eliminación de sólidos Gruesos y pesados (Cribado y Desarenado).
- Sedimentación en un decantador Primario.

- Proceso Aeróbico en Filtro Percolador.
- Sedimentación Secundaria en un Tanque de sedimentación.
- Cloración del efluente previo a ser descargado a la fuente receptora, esto se realiza en un tanque de cloración.

Factor a Tener en cuenta en un sistema de Filtro Percolador para el tratamiento de aguas residuales:

- Tipo de Medio filtrante a ser utilizado en el tratamiento.
- Sistema de Drenaje y Lavado del Filtro.
- Sistema de Ventilación, éste debe ser adecuado para que se pueda desarrollar el proceso de degradación aeróbica sin ningún problema.
- Diseño de los tanques de sedimentación que serán utilizados en el tratamiento.
- Sistema de Alimentación y Distribución del flujo en la entrada del Filtro.

Uno de los principales problemas que comúnmente suele darse y a los cuales no se les suele dar importancia es la formación de flora sobre la superficie del medio filtrante en la entrada. Esto produce obstrucción en algunas partes del filtro, el resultado de esto es una distribución inadecuada del flujo en la entrada del filtro. Así como también una aireación inadecuada en diversas secciones del filtro.

2.1.2.4 Sistema de Fangos Activos.

Este proceso ha sido muy ampliamente utilizado, así como también se le han realizado modificaciones al proceso original. Este proceso se ilustra en la figura 2.2 a). En éste sistema de tratamiento se tiene inicialmente una separación física de los sólidos gruesos a través de un sistema de cribado ó rejas que cumplen con esta función, los sólidos fácilmente sedimentables como las arenas son eliminados en un desarenador para posteriormente pasar al tanque de decantación primaria, acá se da la formación de fangos, debido a las cantidades de sólidos que sedimentan en el fondo del tanque.

El efluente del tanque de sedimentación es enviado a un tanque de aireación, donde los sólidos suspendidos son degradados en un proceso aeróbico. La aireación puede realizarse a través de, aire ó directamente con oxígeno (este requiere un sistema más complejo). En esta parte del

proceso y debido a la actividad aeróbica, se forma más fango, éste puede ser extraído directamente a la salida del tanque de aireación. Posteriormente se pasa a un sedimentador secundario, en el cual se obtiene más lodo; el cual puede ser recirculado para alimentar al decantador y lograr así mayor eficiencia en caso de ser requerido. Finalmente y antes de verter el efluente en una fuente receptora se aplica cloro ó hipoclorito de sodio (etapa de cloración) y se homogeniza en un tanque de cloración para la eliminación de agentes patógenos que pueden ser dañinos para el ecosistema al cual será descargado el efluente. Una de las desventajas de este tipo de tratamiento es que las cantidades de fangos que se generan son bastante altas.

Factores importantes que se deben tener en cuenta en el diseño de un sistema de tratamiento de fangos activos son:

- Las cargas que serán alimentadas a la planta, así como las características del afluente.
- El tipo de reactor ó tanque de aireación que se utilizará.
- Los niveles de producción y características del fango.
- Necesidades de Nutrientes, Oxígeno y Ambientales de los microorganismos aeróbicos.
- Separación de fases sólidas y líquidas.

Las modificaciones que se pueden realizar en este proceso, se basan en modificación de flujos, tipos de reactores o tanques de aireación, así como también los tipos y cantidades de aireadores que deben colocarse en el tanque, recirculados de fango ó de efluente. Es esta flexibilidad que presenta el sistema de tratamiento de fangos activos lo que hace que este tipo de proceso sea muy usado y además pueda adaptarse a casi cualquier tipo de problema de tratamiento biológico de aguas residuales.

2.1.2.5 Sistema de Tratamiento con Reactor UASB (Reactor de Flujo Ascendente con Manto de Lodos Anaeróbicos)

En este proceso la fase ó tratamiento principal, es la degradación biológica con organismos anaeróbicos. Es por eso que este tipo de tratamiento requiere una etapa de extracción de gases; debido a la gran cantidad de gas generado. Una de las ventajas que pueden mencionarse es el reducido nivel de producción de lodos ó fangos que tiene el reactor, facilitando de esta manera la disposición final de los dichos fangos.

Inicialmente puede tenerse una separación física a través de cribas ó rejillas, seguido de un desarenador, para mejorar la eliminación de sustancias previo a la entrada al reactor UASB es recomendable la instalación de una trampa de grasa, para que el líquido que entra en el reactor no lleve sólidos gruesos que podrían obstruir el flujo a través del reactor. Los gases generados por los sólidos suspendidos degradados en el reactor son recolectados y su disposición final ó tratamiento previo a su utilización dependerá directamente de la composición del gas.

Es gracias a la recolección del gas a la salida del reactor UASB que el problema de la generación de olores que presenta la degradación anaeróbica se ve solucionado en este tipo de tratamiento.

Al salir del reactor UASB puede hacerse pasar el efluente a través de un filtro percolador, y de esta manera se complementa el tratamiento anaeróbico con un tratamiento aeróbico, logrando un mejor resultado en la capacidad depuradora de la planta. Posterior al filtro percolador, se hace pasar el efluente a un sedimentador secundario, en el cual se obtienen los fangos generados por la actividad aeróbica. Los fangos pueden ser tratados ó sometidos a un proceso de estabilización en un patio de secado.

El efluente al salir del sedimentador, puede ser sometido a un proceso de cloración en caso de ser requerido; ya sea con cloro gaseoso ó con hipoclorito de sodio, esto debe realizarse antes de que el efluente de la planta de tratamiento sea descargado en el respectivo cuerpo receptor. El cloro se podría agregar a la entrada de un tanque de cloración donde se logra la mezcla del cloro para que este se difunda uniformemente en todo el efluente y pueda actuar de forma efectiva.

Factores importantes a tener en cuenta en el sistema de tratamiento de aguas residuales con reactor UASB:

- Cargas Orgánicas que entran al sistema.
- Sistema de Recolección y disposición final de gases generados.
- Tiempo de retención en el reactor y en el filtro percolador.
- Composición del efluente en la entrada.

2.1.2.6 Sistema de Tratamiento con Plantas Emergentes.

En Norteamérica y Europa este tipo de sistema ha sido muy estudiado, esto se debe a que es un sistema ambientalmente compatible, que funciona con flujos subterráneos y se aplica directamente a los residuos de una ó varias viviendas.

La planta emergente más comúnmente utilizada en la actualidad es la TYPHA SP (Carrizo, enea o totora; entre otros nombres que recibe). Papiros y Lirios pueden acompañar a esta planta para lograr un mejor resultado en la depuración. Este sistema de Plantas Emergentes se ha esquematizado en la figura 2.3.

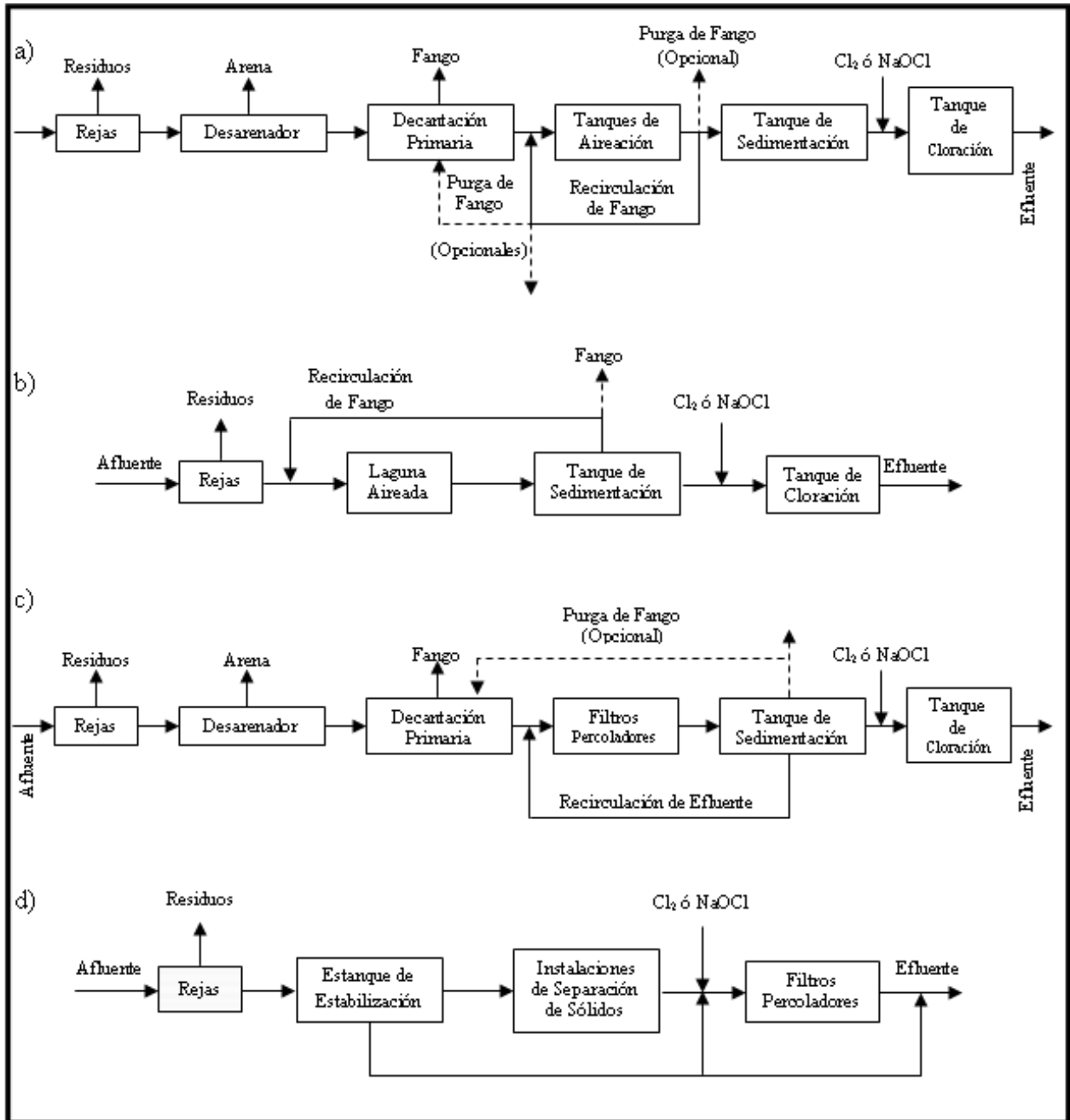


Figura 2.2 Diagramas de Flujo Típicos (Simplificados) para los procesos biológicos utilizados en el Tratamiento del Agua Residual. a) Proceso de Fangos Activados. b) Lagunas Aireadas. c) Filtros Percoladores. d) Estanques de Estabilización.

Fuente: METCALF & EDDY; Figura 10.1 Pág. 514

Los mecanismos para la depuración del agua que se aplican en este sistema de tratamiento de flujo subterráneo utilizando plantas emergentes son los siguientes:

- Sedimentación y flotación en la cámara de pretratamiento.
- En la cámara de pretratamiento se da un proceso de digestión biológica de la materia orgánica que ha sido separada, en condiciones anaeróbicas. Por esta razón la cámara de pretratamiento debe tener un sistema de ventilación que permita la dilución de los gases (y por ende los olores) producidos durante la degradación biológica.
- Separación de sólidos en el canal (debido al sustrato; este puede ser grava por ejemplo).
- Digestión biológica de estos sólidos retenidos. Esto es realizado por la flora intersticial que se forma en el sustrato.
- Adsorción y Absorción de nutrientes por las plantas emergentes.
- Eliminación de Patógenos por modificaciones del micro-hábitat radicular. Esto es debido a los procesos del numeral.

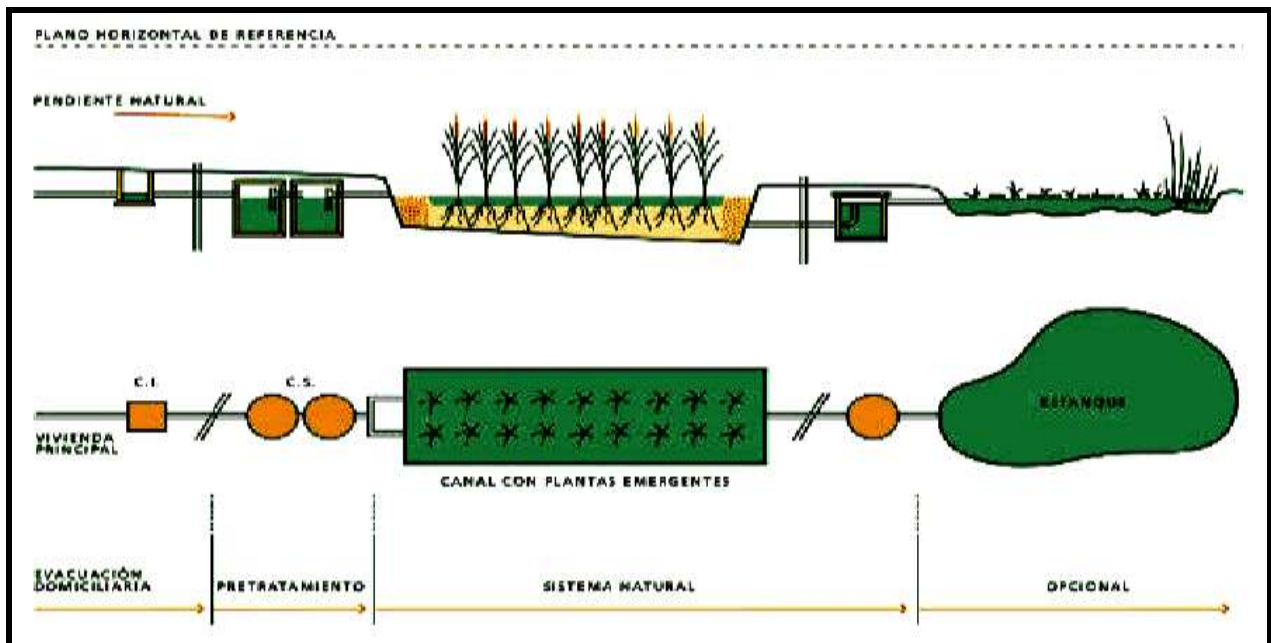


Figura 2.3 Corte y Planta de un Sistema de Tratamiento de Flujo Subterráneo utilizando Plantas Emergentes (Latchinian, Aramis y Ghislieri, Daniel 2004. Autoconstrucción de Sistemas de Depuración de Aguas Cloacales. Centro de Estudios, Análisis y Documentación de Uruguay. Universidad de la República de Uruguay).

Este sistema de tratamiento es regular y exitosamente aplicado en viviendas, escuelas rurales, establecimientos de producción lechera, algunos complejos turísticos, entre otros. Una de las grandes ventajas de este tipo de tratamiento es que no requiere la instalación de bombas ni de

equipo complicado. Para la instalación exitosa de este sistema de tratamiento deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Incidencia de luz/día, la orientación geográfica debe garantizar que sea lo mayor posible.
- Tipo de Impermeabilización a utilizar en el fondo del canal. Esto depende directamente de la granulometría y Permeabilidad del suelo en sí.
- Raíces de árboles que puedan perforar el canal.
- Se debe buscar un terreno con una pendiente natural en la medida de lo posible.
- Estética de la Planta de Tratamiento.

2.1.3 Factores Controlables que Inciden en la Selección del Tipo de Tratamiento

Como se notará son varios los factores que influyen sobre la selección del tipo de tratamiento a utilizar, tanto en factores generales, así como también los factores específicos de cada tipo de tratamiento. Dentro de los factores que influyen en la selección del tipo de tratamiento se encontrarán los presentados en la Tabla 2.1, una característica notoria dentro de estos factores o parámetros, es que estos son de tipo interno al sistema y que además pueden ser denominados como controlables; ya que pueden variarse de alguna manera a fin de beneficiar y facilitar el proceso de tratamiento de los efluentes líquidos de interés con el objeto de mejorar la eficiencia y por ende los resultados obtenidos al final de proceso.

Como podrá notarse, los factores enunciados en la tabla 2.1 no sólo son influyentes en cuanto a la selección del tipo de tratamiento, sino también en el diseño mismo de la planta depuradora de los efluentes líquidos de origen doméstico. Un conocimiento adecuado de todos estos factores permitirá realizar una buena selección de los equipos para las diferentes etapas del tratamiento y además un buen diseño ó rediseño de una planta. Y en caso de que se realice la instalación de una planta que es funcional en otra localidad, estos parámetros permiten evaluar la aplicabilidad de los tratamientos de dicha planta modelo, y además realizar los cálculos necesarios para el redimensionamiento en caso de ser necesario.

Dado que tanto la planta en sí como un conjunto puede tener un comportamiento diferente en diferentes localidades, así también los tratamientos individuales tienden a mostrar este mismo comportamiento, debido a las condiciones ambientales y a las composiciones de los efluentes que pueden ser similares; pero no idénticos.

En algunos casos puede existir en la composición del Afluyente a la planta, la presencia de alguna sustancia cuyo efecto sea la inhabilitación del proceso que se lleva a cabo en un determinado equipo, esto es común en equipos que realizan cambios a través de reacciones biológicas; los cuales tienden a ser muy delicados en cuanto a la presencia de contaminantes.

Tabla 2.1 Factores Controlables en una Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos Domésticos.

Factor	Definición	Incidencia
Carga Orgánica	Cantidad de Materia Orgánica contenida en un flujo de Agua Residual.	Dependiendo del nivel de carga pueden necesitarse un sistema de bajas, medias, altas ó muy altas cargas.
Factores Punta	Son factores que al ser multiplicados por los valores medios da como resultado los valores punta ó pico (de mayor valor) de una determinada medida ó lectura.	Directamente relacionado con las cargas y parámetros máximos que una planta tendrá que tratar en un determinado momento del día.
Tipo de Reactor ó Tanque	El reactor donde se llevará a cabo la reacción biológica y el tanque en el cual se llevará a cabo un determinado proceso (ej. Sedimentación, aireación, etc.).	Determina el nivel de eficiencia de un tratamiento. Reactores y tanques deben proporcionar condiciones adecuadas para la realización de un tratamiento específico.
Temperatura	Temperatura del ambiente en el que se realizará el tratamiento y las temperaturas necesarias para obtener resultados aceptables.	Afecta directamente a las sustancias disueltas en el agua (sólidos, líquidos y gases), capacidad de adsorción y también la reproducción y actividad microbiana.
Mezclado	Agitación del efluente, ya sea por medios mecánicos o por inyección de aire.	Proporciona homogeneidad al efluente y optimiza los procesos.
Composición del Agua Residual	Contenido de sustancias del Agua Residual.	Influye directamente en la selección del tipo de tratamiento a utilizar.
Economía del Proceso	Inversión y Costos relacionados con la construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, respectivamente.	Los tratamientos seleccionados a ser utilizados en la planta de tratamiento deben ser factibles técnicamente y económicamente.
Asistencia Técnica Disponible	Personal capacitado conocedor de los procesos de la planta de tratamiento.	Al seleccionar un tratamiento, debe de disponerse o tener acceso a conocimiento adecuado ó a personas que lo tengan, para garantizar el buen funcionamiento de la planta ó para implementación de planes preventivos y de contingencia.
Tratamientos Complementarios	Conjunto de tratamientos para la depuración del agua residual que apoyan al tratamiento principal.	Remueven ó depuran características del agua residual que no pueden ser tratadas con el tratamiento principal.
Recirculación	Puntos en los que un afluyente de un tratamiento es retornado a un tratamiento previo.	Permite alcanzar concentraciones en las que se logra una mayor eficiencia de remoción ó depuración del efluente.
Productos, Subproductos y Desechos	Son resultado de las diferentes etapas de la planta de tratamiento, pueden encontrarse en cualquiera de los tres estados de agregación (sólido, líquido y gas).	El potencial uso que se les pueda dar a los productos y subproductos puede ayudar al autosostenimiento de la planta. Los desechos deben ser dispuestos de una manera segura.

Fuente Propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia.

También es siempre importante tener en cuenta en el momento de tomar una planta modelo, que el hecho de instalar una planta que ha tenido éxito en una determinada localidad, no quiere decir que se va a tener la misma eficiencia ni tampoco el mismo nivel de depuración en una localidad diferente a la del modelo original. Esto dependerá de la adecuación ó tipificación que se haga a la planta (y sus tratamientos por separado) a las condiciones de operación de la comunidad en la que se desea instalar el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Siempre será recomendable antes de elaborar un proyecto, realizar estudios a nivel piloto para determinar, no sólo la aplicabilidad de un determinado tipo de tratamiento, sino también la eficiencia de los tratamientos que se proponen aplicar bajo las condiciones en las cuales serán aplicados, y así tener una idea inicial del comportamiento que éstos mostrarán en las condiciones de operación a las que serán sometidos.

2.1.4 Factores Externos a Tener en Cuenta en la Selección de un Tipo de Tratamiento

Aunque muchas veces no sea perceptible pero hay factores que son de vital importancia, y que afectan en gran medida a los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Uno de ellos es el Sistema de Recolección de Basura (desechos sólidos) en la comunidad, a esto se le suma el hecho de que en temporadas de invierno, las lluvias al traspasar los promontorios de basura que se encuentran al aire libre y en estados avanzados de putrefacción producen lixiviados de composiciones desconocidas que podrían resultar dañinos para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento.

Factores externos como alguna escorrentía que arrastre efluentes con pesticidas ó cualquier otro químico y que se mezclan con el agua lluvia ó directamente con el efluente líquido doméstico afectará en gran medida el proceso de tratamiento, por lo que este, así como el sistema de recolección de basura son factores importantes a tener en cuenta, tanto para el diseño de la planta, así como también para su funcionamiento y mantenimiento respectivo.

La educación que las personas tengan sobre la manipulación de los desechos sólidos y líquidos es muy importante, puesto que esto puede ser determinante, en cuanto a la composición de los efluentes. Una educación adecuada, garantizaría que los residuos vertidos como residuos líquidos domésticos sean fácilmente tratables en comparación a una situación en la que la educación de la población sobre este tema no existe ó es muy reducida.

Estos factores están vinculados unos con otros y esta combinación es la que produce los efectos no deseados para las plantas de tratamiento. En la tabla 2.2 se presentan estos factores (en forma individual) con sus respectivas incidencias de una forma más detallada.

Cuando un Ingeniero decide Diseñar una planta de tratamiento, debe tener en cuenta no sólo los factores controlables; los cuales le ayudarán a la evaluación del dimensionamiento y efectividad del tratamiento, sino también debe tener en cuenta todos estos factores considerados como externos ó no controlables. Ya que la problemática sobre la gestión de los desechos líquidos se debe abordar desde una perspectiva integral que permita atacar el problema de forma completa, de tal modo que se aborde la problemática desde un punto de vista del desarrollo sustentable, buscando una relación ganar-ganar entre el medio ambiente, la sociedad y el gobierno, la cual hasta ahora no se ha buscado o bien simplemente se ha dejado pasar por alto; esto generalmente sucede cuando se busca únicamente el beneficio económico.

Tabla 2.2 Factores Externos que Afectan los Sistemas de Tratamiento de Agua Residual

Factor	Incidencia
Sistema de Recolección de Basura	Un sistema de recolección de basura inadecuado puede provocar la generación de lixiviados que añaden complejidad a la composición del agua residual a tratar.
Actividades Industriales, Agrícolas y Agropecuarias	Cultivos, crianza de animales ó actividades industriales cercanas ó en la comunidad en la que se aplicará un tratamiento, podrían agregar complejidad a la composición del efluente.
Estacionales	En períodos de lluvia la composición del agua residual puede ganar complejidad en caso de existir un sistema de tuberías unitario ó de haber infiltración en las tuberías.
Infiltraciones	Un sistema de recolección de efluentes en el cual existe algún tipo de fractura que permita el acceso de sustancias o agentes extraños, produce un efecto indeseado en los sistemas de tratamiento en la planta, en algunos casos.
Escorrentía Superficial	En caso de existir un punto de conexión ó infiltraciones, la escorrentía superficial podría arrastrar contaminantes extraños ó sustancias dañinas que afectarán el tratamiento ó en casos extremos lo neutralizarán.
Legislación	Conocer la legislación proporciona una guía para los parámetros de operación de una planta, así como el conocimiento de niveles límites que un efluente debe cumplir antes de ser descargado a una fuente receptora.

Fuente propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia.

3. MARCO LEGAL APLICABLE DE AGUAS RESIDUALES EN EL SALVADOR.

El Salvador cuenta con un marco constitucional, de preservar el medio ambiente y fomentar el uso racional de los recursos naturales. Sin embargo, la gran diversidad de legislaciones relacionada con los recursos hídricos, incide en la confusión de campos de acción y en la aplicación de responsabilidades.

Existe dispersión y fraccionamiento institucional, esto hace que varias instituciones administren el recurso hídrico, promoviendo conflictos de competencia, dualidad de funciones y rivalidades manifiestas que al final se refleja en una mala administración del recurso.

Aunque existen numerosas leyes, pocas tienen su reglamento, lo que potencia aun más la confusión en la aplicación de las leyes, la baja capacidad para vigilar y aplicar la ley hace que la reacción ante casos de deterioro de los recursos hídricos, sea muy lenta y discontinua.

Al revisar la legislación relacionada con los recursos hídricos, se tiene que no existe una correspondencia explícita que promueva la conservación de medios de soporte de los recursos hídricos, como conservación de suelos en zonas de recarga, regulación de usos del suelo, ordenamiento urbano, normas de construcción que protegen o promueven la infiltración y almacenamiento de agua, además que no existe un panorama claro sobre la disposición final que los residuos sólidos generados del tratamiento de los residuos líquidos deben tener, así como tampoco los gases generados en los mismos.

En general la legislación y el marco institucional de la administración de los recursos hídricos, requiere una revisión, dirigida a establecer los derechos de propiedad, comenzando con definir a la autoridad nacional o autoridad única del agua, para disipar conflictos.

Los niveles de planificación del uso, conservación y fomento del recurso hídrico, con visión multisectorial no están siendo asumidos por ninguna institución, lo que hace que el uso actual sea eminentemente extractivo y corto placista, lo cual aunado a la mayor importancia que se da al desarrollo urbano con respecto a los recursos hídricos, la transformación de zonas boscosas con alta tasa de recarga en zonas deforestadas está ocasionando la escasez de fuentes tradicionales.

Los grupos afectados son todos los niveles de la población, niños, jóvenes, mujeres y hombres, por ser usuarios pasivos; la industria y la empresa están siendo afectadas por la confusión legal e institucional existente.

La situación actual se explica por la descoordinación institucional generalizada, las fuerzas políticas polarizadas no permiten desarrollar legislaciones concertadas, la inconsistencia de políticas de protección hídrica y ambiental, están facilitando que zonas de altas tasas de infiltración estén siendo urbanizadas al mismo tiempo que se reforesta en zonas que no son equivalentes, esto como teoría es una de las principales causas de las inundaciones que actualmente el territorio nacional está sufriendo en períodos lluviosos.

Proteger el recurso hídrico es proteger la salud del hombre y la vida sobre la Tierra, y es un elemento sustancial para alcanzar el desarrollo sostenible del país. Siendo la contaminación de las aguas uno de los problemas de mayor incidencia negativa en el entorno ambiental, resulta prioritario adoptar medidas de control para el vertido de agentes contaminantes en manantiales, zonas de recarga, ríos, quebradas, arroyos permanentes o no permanentes, lagos, lagunas, marismas, embalses naturales o artificiales, estuarios, manglares, turberas, pantanos, aguas dulces, salobres o saladas, y en general en las aguas nacionales.

Además la contaminación de los cuerpos de agua favorece la proliferación de enfermedades de transmisión hídrica, reduce el número de fuentes disponibles, eleva los costos para el abastecimiento de agua para consumo humano, y pone en peligro de extinción a muchas especies de nuestra flora y fauna. Para una mejor calidad de vida de las futuras generaciones debemos proteger las aguas nacionales y reducir los altos índices de contaminación, a través del cumplimiento de leyes, normas y Reglamentos que tienen como objeto reducir el impacto ambiental y la contaminación del recurso hídrico generado a través de las Aguas Residuales.

El marco Legal Aplicable referente a las Aguas Residuales en El Salvador es el siguiente:

- Norma para regular la calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario.
- Norma para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO 13.49.01:06
- Vigilancia en Aguas Residuales por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Ordenanzas Municipales.
- Ley del Medio Ambiente y su Reglamento.
- Reglamento de la Ley sobre gestión integrada de los recursos hídricos (1982; D.O. N° 57, Tomo 272, 23 de marzo de 1982).

- Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección N° 50 (1987: reformado en 1987 y en 1989).
- Reglamento general de la ley del Medio Ambiente por decreto N.17.
- Reglamento Especial de Aguas Residuales por decreto N.39 (2000)
- Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental, por decreto 40 (2000).

3.1 *NORMATIVAS*

Se presenta un pequeño resumen de las normativas más importantes aplicadas en El Salvador en la Gestión de Aguas Residuales de Origen Doméstico.

3.1.1 *Reglamento Especial de Aguas Residuales*

- *Objeto:*

El Reglamento tiene por objeto velar porque las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores, para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenibles del recurso hídrico respecto de los efectos de la contaminación.¹²

- *Competencia:*

Las disposiciones del Reglamento son 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.

3.1.2 *Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario*¹³

- *Objeto:*

Esta Norma tiene por objeto regular las descargas de aguas residuales para proteger los sistemas de alcantarillado sanitario y evitar las interferencias con los tratamientos biológicos.

- *Ámbito de Aplicación:*

Las disposiciones de esta norma son aplicables a todas las descargas de los efluentes líquidos de actividades comerciales, industriales, agroindustriales, hospitalarias o de cualquier otro tipo que

¹² Decreto 39, Reglamento Especial de Aguas Residuales de El Salvador, 31 de Mayo 2000

¹³ Ley Sobre la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Acta No 1937, San Salvador, 15 de Octubre 2004

afecten o pudiesen afectar directamente a los sistemas de alcantarillado sanitario, en propiedad o administrados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados ANDA.

3.1.3 Norma para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO 13.49.01:06

- *Objeto:*

Esta norma establece las características y valores fisicoquímicos, microbiológicos y radiactivos permisibles que debe presentar el agua residual para proteger y rescatar los cuerpos receptores.

- *Campo de Aplicación:*

Se aplica en todo el país para la descarga de aguas residuales vertidas a cuerpos de agua receptores superficiales. Se observa el cumplimiento de los valores permisibles establecidos en esta norma, de forma que no se causen efectos negativos en el cuerpo receptor, tales como color, olor, turbiedad, radiactividad, explosividad y otros.

3.1.4 Vigilancia en Aguas Residuales por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

A partir de la creación del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, el tema de aguas residuales fue retomado en parte por dicha Institución, quedándole al MSPAS la vigilancia según¹⁴:

Art.67: Estipula conceder permisos para las descargas de Aguas Residuales de Tipo Ordinario de Origen Domestico.

Art.68: Prohíbe la reutilización de las aguas residuales en usos agrícolas.

Art.69: Prohibición de descargas de aguas residuales en lugares no autorizados para ello.

Art.70: Autorización del MSPAS para instalación de Sistemas de Tratamiento Primario (Fosa Séptica y pozo de absorción) cuando no exista acceso a alcantarillado sanitario.

3.1.5 Ordenanzas Municipales

Estas ordenanzas tienen como objetivo controlar el manejo de aguas residuales y de las plantas de tratamiento, para así contribuir a la salud de los habitantes y evitar la contaminación de los municipios. Además el artículo 117 de la Constitución de la República declara de interés social la protección, restauración, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales; así mismo el artículo 4 de la Ley del Medio Ambiente, establece que las municipalidades, están obligadas a

¹⁴ D.O. No 105 Tomo No 367. *Código de Salud, San salvador, 8 de Junio de 2005*

incluir, de forma prioritaria en todas sus acciones, planes y programas el componente ambiental, y reconociendo el municipio la importancia del recurso agua para la conservación de la salud de la población y el medio ambiente, se da la creación de estas ordenanzas municipales.

3.1.6 Permisos Ambientales

Los permisos ambientales forman parte de la Ley del Medio Ambiente, en el Capítulo IV - Sistema de Evaluación Ambiental, Art. 16.- El proceso de evaluación ambiental literal d) Permiso Ambiental

- *Competencia del permiso ambiental.*

Art.19. - Para el inicio y operación, de las actividades, obras o proyectos definidos en esta ley, deberán contar con un permiso ambiental. Corresponderá al Ministerio emitir el permiso ambiental, previa aprobación del estudio de impacto ambiental.

- *Alcance de los permisos ambientales*

Art.20. - El Permiso Ambiental obligará al titular de la actividad, obra o proyecto, a realizar todas las acciones de prevención, atenuación o compensación, establecidos en el Programa de Manejo Ambiental, como parte del Estudio de Impacto Ambiental, el cual será aprobado como condición para el otorgamiento del Permiso Ambiental.

La validez del Permiso Ambiental de ubicación y construcción será por el tiempo que dure la construcción de la obra física; una vez terminada la misma, incluyendo las obras o instalaciones de tratamiento y atenuación de impactos ambientales, se emitirá el Permiso Ambiental de Funcionamiento por el tiempo de su vida útil y etapa de abandono, sujeto al seguimiento y fiscalización del Ministerio.

- *Actividades, obras o proyectos que requerirán de un estudio de impacto ambiental*

Art.21.- Toda persona natural o jurídica deberá presentar el correspondiente Estudio de Impacto Ambiental para ejecutar:

Sistemas de tratamiento, confinamiento y eliminación, instalaciones de almacenamiento y disposición final de residuos sólidos y desechos peligrosos (Ver en anexos el formulario Ambiental -Saneamiento Básico, Acueductos, Alcantarillados y/o Plantas de Tratamiento-).

Es importante un Análisis del Impacto Ambiental de las Plantas de Tratamiento, en cuanto al lugar de construcción, tipo de Tratamiento, ventajas y desventajas a la población y de esa manera poder considerar su existencia como una alternativa de solución ante la contaminación por Aguas Residuales.

3.2 SITUACION ACTUAL

En El Salvador se está viviendo un proceso de incremento de la densidad demográfica, esto contribuye al proceso de urbanización, y a la vez al incremento en la producción de la contaminación, no sólo de las aguas residuales, sino también contaminación atmosférica y de los suelos.

La gestión del agua y de los residuos producidos en actividades que la utilizan, es un aspecto al que no se le ha dado la importancia debida. Una mala administración del recurso hídrico y un creciente incremento en los focos contaminantes y en la contaminación en sí, están provocando que El Salvador se dirija hacia una crisis hídrica a un ritmo cada vez más acelerado.

La legislación y normas que rigen ó regulan la utilización del agua y el tratamiento y disposición de los residuos líquidos, no son aplicadas de la manera correcta. Dando como resultado a nivel general una gestión inadecuada de las aguas residuales de origen doméstico, así como también de las aguas residuales de origen industrial. Si se continúa con la tendencia que actualmente se lleva, la crisis hídrica se agravará rápidamente hasta que no exista recurso con las características mínimas requeridas para el consumo humano.

3.2.1 Gestión de Aguas Residuales.¹⁵

El alto nivel de contaminación del agua en El Salvador, es debido primordialmente a las aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales, aunque otras fuentes como desechos sólidos, retornos agrícolas y arrastres de sedimentos por erosión, en puntos específicos, son importantes fuentes de contaminación.

Investigaciones realizadas indican que en algunos tramos de los ríos más importantes, del país se presentan cantidades de coliformes entre 1 millón y 100 millones, después que han recibido las aguas residuales de ciudades importantes, así mismo después de recibir los vertidos de aguas

¹⁵ A. Pelayo Martínez, F. López Lunar y J. Martínez-Frías. *HidroRed*, Estado de los Recursos Hídricos en El Salvador. [en línea]. 10 Marzo 2001.
<http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/estarelsalva.html>

residuales industriales, la Demanda Bioquímica de Oxígeno puede llegar a valores entre 100-300 mg/l, debido a que son desechos predominantemente orgánicos, de agroindustrias. Esta situación está limitando la posibilidad de aprovechamiento como un recurso para el desarrollo sostenible, volviéndose un factor de escasez de agua, al no cumplir con los requisitos de calidad para algunos usos productivos o de abastecimiento, volviendo más costosas las obras.

Las alternativas para prevenir o disminuir esta contaminación, son parte de los componentes de la gestión de aguas residuales, tales como recuperación y reciclaje de aguas, alternativas tecnológicas de producción más limpia, aplicación y/o desarrollo de sistemas de manejo y tratamiento de aguas residuales. Un problema especial se presenta en la región, con algunas aguas residuales provenientes de agroindustrias, propias de países donde el desarrollo de investigaciones y generación de tecnologías de tratamiento no es parte de la agenda de centros de investigación, por falta de capacidades.

Aún, la transferencia de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas es un tema que no ha sido abordado en forma sistemática, por lo que se han presentado experiencias totalmente desastrosas que están generando una resistencia a la utilización de plantas de tratamiento.

Las causas que explican esta situación incluyen los siguientes hechos:

- Se ha aprobado la ley del Medio Ambiente y todavía no existen mecanismos eficaces que estimulen u obliguen a las industrias y a las empresas administradoras de los sistemas de alcantarillados, a tratar sus afluentes.
- Existe confusión en el ámbito de aplicación y la jurisdicción, de varias instituciones que no han armonizado sus leyes y procedimientos.
- No existe una política de apoyo y promoción de proyectos de investigación de sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas.
- La capacitación de proyectistas, constructores y operadores de sistemas de tratamiento, tampoco ha sido promovida.

Entre los grupos afectados se incluye a toda la población del país, al limitarse a escala nacional los procesos de desarrollo, por escasez de agua en cantidad o en calidad. Existe un alto grado de contaminación ambiental, debido a las descargas de aguas grises sin ningún tratamiento específicamente en áreas rurales.

3.2.2 Entorno institucional¹⁶

En las actividades relacionadas con el sector de los recursos hídricos participan de forma directa o indirecta 27 instituciones del Estado, entre las cuales la coordinación es limitada. No se cuenta con una autoridad única para la regulación de los recursos hídricos, cada institución actúa de forma independiente y aplica sus propias políticas en base a las funciones y autoridad que le otorga su ley de creación. Situación que tiende a agravarse con la nueva ley de Aguas en la que se deja la responsabilidad de la gestión del Recurso Hídrico a las comunidades. Las entidades de mayor relevancia en la gestión del agua son:

- La Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), responsable del desarrollo energético del país así como el manejo de las centrales hidroeléctricas.
- La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), administra, regula y opera los abastecimientos nacionales de agua potable y los servicios de saneamiento. En este campo también intervienen las municipalidades, ONG's y proveedores privados.
- El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Dirección General de Recursos Naturales (DGRN), con sus tres Divisiones: Recursos Naturales, Meteorología e Hidrología y Riego y Drenaje. Esta última división administra, promueve y regula los sistemas de riego, aplica la Ley de Riego y Avenamiento y se encarga del control de los vertidos.
- El Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN), creado en 1997, es el rector de la política ambiental y de la gestión de las cuencas hidrográficas para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos. Es responsable de aplicar la Ley Ambiental emitida en 1998, que promueve la gestión integrada de las cuencas hidrográficas.
- En Gestión Ambiental también participan las Municipalidades, la Dirección de Energía e Hidrocarburos, los juzgados de paz, y el Ministerio de Obras Públicas, aunque su poder y capacidad para hacer efectiva la acción ambiental es limitada.
- El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) interviene en normativas de calidad del agua para consumo humano.

¹⁶ AQUASTAT, Sistema de Información sobre el uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO, [en línea], versión 2000-[fecha de consulta: 28 Septiembre 2006]
Disponibile en : <http://www.fao.com>

La función reguladora de la ANDA es difusa y no hay claridad en cuanto a las asignaciones de control y dominio de los recursos hídricos para consumo humano. Existen conflictos locales entre las municipalidades y ANDA por competencia del agua, especialmente de los acuíferos subterráneos, no existiendo control de las extracciones de pozos privados. También se presentan conflictos entre subsectores (agua potable y riego; por ejemplo de esto), tanto públicos como privados.

La Constitución política de El Salvador no hace referencia directa a los recursos hídricos; expresa solamente que su regulación se hará a través de leyes especiales, la mayoría de las cuales son de promulgación anterior a la Constitución de 1983.

Entre las leyes del sector destacan: en abastecimiento de agua y saneamiento, la Ley de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados; en riego, la Ley de Riego y Avenamiento emitida en 1970 y en hidroelectricidad, la Ley de Creación de la Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa y la Ley de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. El Código Civil tiene normativas respecto al control de aguas y reconoce la existencia de aguas comunes, aguas nacionales de uso público y aguas privadas. Entre otras, también existen normativas protectoras contra la contaminación en el Código de Minería, Código Penal y Código Municipal. El Código de Salud se ocupa del agua bajo el punto de vista de la salud pública.

Tabla 3.1 Entidades Responsables del Manejo de Aguas Residuales en El Salvador

MSPAS	ANDA	MARN	ALCALDIA
Autorización de sistemas de Tratamiento Primario y Vigilancia	Sistemas de Tratamiento Secundarios y Terciarios para Aguas Residuales de Tipo Ordinario. Ley de ANDA y decreto 50	Reglamento Especial de Aguas Residuales para tratamientos secundarios y terciarios de aguas residuales de tipo ordinario y especial	Promoción y desarrollo de programas de salud, como Saneamiento Ambiental, prevención y combate de enfermedades

Fuente propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia.

A nivel del país se estima que hay un 92.98% de aguas residuales domésticas sin tratamiento. Las entidades responsables de Normar y dar seguimiento en cuanto a los Tratamientos y los parámetros límites en los vertidos de las Aguas Residuales en El Salvador están detallados en la tabla 3.1.

La Tabla 3.2 presenta datos a nivel Nacional hasta el año 2002, se muestra que de 262 ciudades del país en 82 de ellas existe red de alcantarillado, en 3 ciudades se da el Tratamiento de Agua Residual y 3 dan uso agrícola al agua residual.

Tabla 3.2 Información de Alcantarillado, Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domésticas de Ciudades del País

Numero de Ciudades	Población (miles de habitantes)	Red de Alcantarillado			Tratamiento del agua Residual			Uso agrícola del Agua residual		
		Existe	No existe	No se sabe	Existe	No Existe	No se sabe	Existe	No Existe	No se sabe
262	---	82	243	---	3	259	---	3	259	---

Fuente: Convenio IDRC-CEPIS/OPS 2000-2002.

3.3 TENDENCIAS EN LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS¹⁷

En 1995 en El Salvador se creó la Comisión Coordinadora de la Reforma del Sector Recursos Hídricos (COSERHI), con la responsabilidad de llevar a cabo la creación de una autoridad en la gestión de los recursos hídricos y el ente regulador para la definición de la política hidrológica. Se están realizando esfuerzos para la reestructuración y modernización institucional del sector, en especial del subsector agua potable y saneamiento, y para la revisión, actualización y ordenamiento del marco jurídico y normativo en materia de aguas, incluyendo la promulgación de Ley Nacional de Aguas. Se han iniciado los procesos de privatización de servicios públicos como el agua potable, y se pretende también, transferir la administración de los Distritos de Riego y Drenaje a los usuarios.

El Salvador tiene cultivado el 88 por ciento de su superficie cultivable, además de tener una población que crece a un ritmo de 100 000 habitantes por año. Por tanto, la política agrícola del país no está dirigida a la expansión de la superficie agrícola sino a la intensificación y diversificación de la producción mediante el riego.

Se están realizando esfuerzos encaminados al fortalecimiento de los programas de riego, la construcción de la infraestructura hidráulica y la optimización de los sistemas de riego existentes.

Por otro lado, los esfuerzos se encaminan hacia la actualización de los estudios de preinversión existentes, procurando definir el papel del Estado en materia de inversiones para el desarrollo agrícola (riego, drenaje y control de inundaciones), y la modernización y fortalecimiento del marco jurídico en el riego. Esto incluye el otorgamiento de derechos de uso del agua, a fin de promover la participación privada.

¹⁷AQUASTAT, Sistema de Información sobre el uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO, [en línea], versión 2000-[fecha de consulta: 28 Septiembre 2006]
Disponible en : <http://www.fao.com>

En el manejo de los sistemas de riego y drenaje públicos se hacen esfuerzos para desarrollar programas permanentes de capacitación, a fin de fortalecer las Asociaciones de Usuarios en su capacidad administrativa y en el uso eficiente del agua en parcela.

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), en cuanto a la legislación respecto al Recurso Hídrico, tiene las siguientes metas propuestas para el período 2003-2007:

- Actualización del inventario de las industrias que generan contaminación por medio de las aguas residuales.
- Contar con información actualizada sobre la caracterización de los vertidos industriales.
- Obtener la caracterización de los vertidos líquidos a nivel nacional.
- Participar en coordinación con el MARN en la actualización del marco jurídico (Política, Reglamento y Norma) del manejo de las aguas residuales.
- Promover en el sector privado la incorporación en la problemática de manejo de aguas residuales.
- Realizar investigación de tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Elaborar lineamientos técnicos operativos para los diferentes tipos de industrias.
- Divulgación de normativa y lineamientos sobre manejo de aguas residuales.
- Elaboración de manual y guía para el tratamiento de aguas servidas.

4. AGUAS RESIDUALES Y PLANTAS DE TRATAMIENTO EN EL SALVADOR

La calidad del agua constituye uno de los principales desafíos socioambientales en El Salvador. La contaminación del agua se profundizó durante las últimas décadas y pasó a constituir un problema generalizado para la población y los ecosistemas. Simultáneamente, se debilitó la capacidad institucional del Estado para conocer y monitorear la calidad de los recursos hídricos. Los índices de contaminación microbiológica (*E. coli*) de las Aguas Superficiales y Subterráneas de El Salvador, ascienden hasta el 100% según el estudio realizado en 1996 por la Universidad Técnica Latinoamericana, con apoyo financiero del Fondo Ambiental de El Salvador.

Un proyecto de investigación más reciente ejecutado por FUSADES (Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social) y auspiciado por FIAES (Fondo Iniciativa para las Américas El Salvador) analizó el problema de la contaminación del Río Lempa y sus principales afluentes: ríos Suquiapa, Acelhuate y Quezalapa. De un total de 144 muestras, FUSADES concluyó que la contaminación del Lempa se debía a las aportaciones provenientes de los alcantarillados de los distintos centros urbanos, así como también de los lixiviados de los desechos sólidos, que poseen fuertes cargas de contaminantes orgánicos, inorgánicos y microbiológicos (FUSADES-FIAES, 2000).¹⁸ Los intentos y el interés por desarrollar y adoptar mecanismos de gestión de la contaminación del agua, evidencian avances que apuntan a la necesidad de contar con instrumentos complementarios de gestión de la calidad del agua, tal como las normas, las regulaciones y Proyectos (Plantas de Tratamiento) que minimicen la contaminación de los cuerpos receptores de Aguas Residuales.

4.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SALVADOR

En las siguientes subsecciones se hará una breve referencia a los antecedentes de diferentes esfuerzos en el ámbito del tratamiento de aguas residuales en el país en los últimos años, también se describirá la situación actual de las plantas de tratamiento, las cuales se han considerado en tres estados fundamentales, los cuales son: En desuso, en rehabilitación y en funcionamiento. Se ha hecho uso en gran parte al inventario hecho por ANDA sobre plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, realizado en el año 2004.

¹⁸ PRISMA, La Contaminación del Agua en El Salvador: Desafíos y Respuestas Institucionales. 2001, Tomo 43. San Salvador. El Salvador.

4.1.1 Antecedentes

En el área Centroamericana es común encontrar obras de tratamiento de aguas residuales operando de manera deficiente y otras en completo abandono. Uno de los objetivos propuestos en este estudio es: Realizar la caracterización cualitativa de Plantas de Tratamiento de Agua Residual en Funcionamiento de Urbanizaciones en El Salvador, para identificar y analizar las causas específicas que llevan al mal funcionamiento de estos sistemas y por ende establecer ante estas situaciones en la Propuesta final; las acciones correctivas desde el punto de vista técnico, operativo y administrativo, para lograr su mejoramiento en términos de eficiencia.

El buen funcionamiento de las Plantas de Tratamiento depende en cierta forma del ente administrador el cual es el responsable de proporcionar la capacitación técnica y operacional.

Entre las investigaciones realizadas en torno al Tratamiento de Aguas Residuales en El Salvador se registran:

Entre 1971 y 1972, la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado ANDA realizó un análisis de la calidad de aguas superficiales con el objeto de identificar fuentes potenciales de abastecimiento de agua potable.

Para entonces, los resultados reflejaron la necesidad de atender de manera inmediata los problemas de contaminación de los ríos Acelhuate, Suquiapa, Sucio, Lempa (desde Río Suquiapa, aguas abajo hasta el cruce de la carretera panamericana) y el Río Grande de San Miguel en el tramo adyacente a la ciudad de San Miguel (Rubio, 1993).

Desde entonces ya se observaba la relación directa entre el proceso de urbanización y sus efectos sobre la calidad del recurso hídrico, sobre todo en las aguas superficiales de las diversas cuencas hidrográficas del país.

El impacto de las aguas residuales domésticas determinó en gran medida, la caracterización de la calidad de la mayoría de los ríos analizados. De ahí que se sugiriera la necesidad de implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales para disminuir el impacto contaminante en los ríos.

En 1980 se estableció el Programa de Monitoreo Hidrobiológico para el Estudio Sistemático de la Calidad de las Aguas Superficiales en el marco del Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos (PLAMDARH). En el programa de monitoreo colaboraron el Servicio Hidrológico, ANDA y la Dirección General de Recursos Pesqueros.

De acuerdo a los resultados, solamente 3 de las 23 estaciones de muestreo mostraron que había buena calidad biológica y que la situación ecológica de los ríos correspondientes no estaba alterada. Las 20 estaciones restantes indicaron alteración biológica y ecológica de los ríos analizados.

En 1982, el PLAMDARH publicó los resultados del análisis de los principales problemas de contaminación de las aguas del país, señalando la evacuación de los vertidos industriales y municipales como las principales causas.

De hecho, en todas las regiones hidrográficas del país se encontraron problemas de contaminación bacteriológica, por lo que el PLAMDARH recomendaba la descontaminación previa para usar el agua con fines domésticos.

En el caso de las aguas servidas domésticas, la poca cobertura de servicios de alcantarillado contribuye a complicar la contaminación hídrica, ya que de los 262 municipios solamente 82 cuentan con servicios de alcantarillado sanitario en las zonas urbanas.

Estimaciones de ANDA indican que la totalidad de servicios de alcantarillado existentes dan cobertura a 2,008,930 personas a nivel nacional (ANDA, 2000). Se estima que de toda la población cubierta con servicios de alcantarillado, sólo entre 2% y 3% del caudal de aguas residuales recibe algún tipo de tratamiento previo antes de ser lanzadas a ríos o quebradas (OPS-UNICEF, 2000).

En el año 2004 ANDA, realizó a nivel nacional un diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de origen doméstico en El Salvador, indicando que hasta ese año, la administración de los Sistemas de Tratamiento en El Salvador estaba a cargo de:

- Alcaldías y empresas municipales (6%).
- ANDA (16%).
- Banca, Empresas urbanizadoras y Comités de vecinos (54%).
- Instituciones gubernamentales (3%).
- No se obtuvo información (21%).

Contabilizando a nivel nacional un total de 103 PTAR, de este total 87 son Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico (PTAROD), en las que 77% funcionan

sin considerar la eficiencia de la Planta misma, un 12.5% están en desuso, y del 10.5% restante no se logró obtener información alguna. Esta investigación además permitió categorizar a las PTAROD en cuatro estratos fundamentales o básicos:

- En Funcionamiento
- En Construcción
- En Desuso
- En Proceso de Rehabilitación.

Identificando en cada una de ellas a la población servida, la capacidad volumétrica, el caudal a tratar, el cuerpo receptor de la descarga del efluente.

ANDA cuenta con un Departamento de Saneamiento Ambiental encargado de realizar estudios de las Aguas Residuales en el país y un Departamento de Normas Técnicas que emite la documentación que se debe cumplir para la instalación de Plantas de Tratamiento y Sistemas de Bombeo de Aguas Residuales de Tipo Ordinario.

4.1.2 Situación Actual

La creciente contaminación de los cuerpos receptores de los efluentes generados por las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales; originadas por las actividades domésticas en El Salvador, genera el interés de monitorear el funcionamiento de las mismas para conocer los diagnósticos que permitan orientar nuestro estudio a la creación de una propuesta sostenible en la gestión de dichos efluentes.

En la actualidad se busca mejorar el funcionamiento de las Plantas de Tratamiento que están operando y/o rehabilitar aquellas que estén en desuso, e incentivar al ente administrador de las mismas, a interesarse en la sostenibilidad del proyecto, ya que en la mayoría de los casos, este tipo de obras no cuentan con planes de sostenibilidad definidos, en los componentes técnico, financiero, legal y social educativo.

Es un hecho reciente el exigir que en los proyectos de urbanización se incluya dentro del proyecto mismo la construcción de plantas de tratamiento de las aguas residuales que las mismas residencias ó urbanización producirá, esto con la finalidad de garantizar de alguna manera que la contaminación que habrá de producirse sea reducida y que la descarga al cuerpo receptor cumpla con los límites máximos permitidos por la Norma (NSO 13.49.01:06).

El inventario del total de PTAR en El Salvador, generado en el estudio realizado por ANDA en el año 2004 es la información más reciente con la que se cuenta hasta la fecha.

En las secciones de la 4.2.1 a la 4.2.3 se describe la información obtenida de dicho estudio y el análisis realizado de acuerdo a las visitas de campo efectuadas en el desarrollo del presente estudio.

4.1.2.1 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico en Desuso.

Las razones identificadas por las cuales una Planta de Tratamiento enfrenta la posibilidad de quedar en estado de abandono son diversas, pero las más comunes son:

- Ausencia de Sostenibilidad Económica de la Planta de Tratamiento.
- Mal Funcionamiento de la Planta debido a un diseño inadecuado de la misma.
- Falta de Mantenimiento de los equipos que intervienen en los procesos depuradores.
- Incremento en el consumo de agua (esto puede ser provocado por diferentes circunstancias, pero la más influyente se considera es el crecimiento poblacional de la comunidad a la cual está sirviendo la PTAROD).
- Ausencia de asistencia técnica y operativa permanente.
- Ausencia de un Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta.

Es posible incluso, que exista una mala administración del proyecto de construcción de la Planta de Tratamiento; utilizando materiales de bajo costo, además que no se realice la tipificación de equipos, ni se considere una distancia prudencial entre la urbanización y la ubicación de la Planta de Tratamiento, constituyendo factores del mal funcionamiento de éstas y por ende causas del consecuente desuso de las mismas. Si bien se contabilizaron un total de 87 PTAROD, tan sólo 66 de éstas están registradas en las bases de ANDA, del resto (21 Plantas) no se tiene información. Existe un alto nivel de reserva en cuanto a dar a conocer el porque del mal funcionamiento o desuso de las PTAR por parte de ANDA, lo que limita contar con los resultados generales de los proyectos que ésta entidad realiza. De acuerdo a la tabla 4.1:

- Un total de 11 PTAROD están en desuso.
- 24 PTAROD poseen un sistema combinado de Sedimentación y Filtro Percolador.
- En 31 Plantas se cuenta con una etapa de Filtro Percolador.

- 9 Plantas tienen un Sistema de Tanque Imhoff.
- 27 Plantas tienen etapas de Sedimentación.
- 13 plantas tienen Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA).
- 4 Planta es del tipo de tratamiento de Lodos Activados.

La tabla 4.1 se resumen los resultados obtenidos en cuanto al tipo de tratamiento utilizado más frecuente en el país y el estado actual de las PTAR.

Tabla 4.1 Tipo de Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Origen Doméstico en El Salvador y su Estado Hasta el Año 2004.

Descripción del Proceso	D	R	F	C	Total
Fosa Séptica y Filtro Anaeróbico	1	1	---	---	2
Laguna de Estabilización	---	---	2	---	2
Lodos Activos	1	1	7	3	12
Reactor Anaeróbico + Filtro Anaeróbico	---	1	2	---	3
Reactor Anaeróbico + Filtro Percolador	---	---	1	---	1
Reactor Anaeróbico + Filtro Percolador + Sedimentación	---	1	---	---	1
Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente	---	---	1	---	1
Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente + Filtro Anaeróbico	1	---	3	---	4
Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente + Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	---	---	1	1	2
Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente + Filtro Biológico	---	1	1	---	2
Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente + Tanque Imhoff + Filtro Percolador	---	---	1	---	1
Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y Filtro Percolador	1	---	1	---	2
Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente + Tanque Imhoff + Filtro Biológico	---	---	1	---	1
Sedimentación y Filtro Percolador	4	6	13	1	24
Tanque Imhoff + Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	1	---	1	---	2
Tanque Imhoff + Filtro Percolador	1	---	2	---	3
Tanque Imhoff + Filtro Percolador + Sedimentación	---	---	1	---	1
Tanque Imhoff + Humedal	---	---	1	---	1
Zanja de Oxidación y Sedimentación	1	---	---	---	1
	11	11	39	5	66

D = En Desuso

R = En Proceso de Rehabilitación

F = En Funcionamiento

C = En Construcción

Fuente Resumen elaborado por: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia. Análisis del Estudio realizado por ANDA 2004.

El tipo de tratamiento aplicado mayormente es: Sedimentación - Filtro Percolador por lo que se piensa que el desuso de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico proviene del mal funcionamiento de los sedimentadores como consecuencia de la ausencia de trampas de grasa en los Tratamientos Primarios provocando:

- Obstrucción de filtros

- Sedimentadores con formación de natas
- Sedimentadores con presencia de sólidos en la superficie del agua
- Inhibición de procesos biológicos.

La mayor parte de las Plantas en el país son mal administradas, lo cual produce que los resultados obtenidos en el proceso depurador de aguas residuales no sean los esperados.

Una mala administración implica un deficiente sistema de mantenimiento y limpieza, disposición inadecuada de los residuos, falta de monitoreo de los parámetros de control de la planta, inadecuado manejo de emergencias en el funcionamiento debido a la ausencia de un plan de contingencia.

Otro factor de importancia es la ausencia de sostenibilidad económica como se mencionaba al inicio. Se han dado casos de plantas de tratamiento en abandono debido a que no se ha logrado obtener los fondos suficientes para mantenerla en funcionamiento. En algunos lugares este problema ha logrado ser solucionado, a través del cobro indirecto del servicio. Este cobro indirecto es realizado por ANDA por medio de los recibos de servicio que presenta cada mes, en el cual además de cobrar el servicio de Agua Potable y Alcantarillado, se agrega un impuesto por el servicio del Tratamiento de Aguas Residuales, éste último, ANDA lo paga a los dueños de las Plantas de Tratamiento. Pero esto no ha logrado hacerse en todos los lugares, y esto es una de las principales causas de que existan plantas en abandono o desuso.

4.1.2.2 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico en Proceso de Rehabilitación

El proceso de rehabilitación de una Planta de Tratamiento que se encuentran en estado de abandono puede ser de dos formas básicas, las cuales son:

1. **Reactivación de la Planta:** Este es el que se aplica a todas aquellas plantas que en su momento funcionaron bien, pero que por motivos de estabilidad económica la Planta dejó de funcionar. En este caso se da mantenimiento y limpieza de los equipos, poniendo a funcionar nuevamente la Planta. Este tipo de Rehabilitación no es muy utilizado.
2. **Ampliación y/o Sustitución de Equipos en la Planta:** Cuando una PTAROD deja de funcionar por motivos de un mal diseño, mal funcionamiento debido a una mala administración, problemas de operación en cuanto a que el caudal para el que fue

dimensionado inicialmente es mucho menor que el actual o porque el tratamiento que se estaba utilizando provee un efluente que no cumple los requerimientos mínimos exigidos por la legislación, la solución es incorporar alguna etapa extra a las que actualmente tiene la planta o bien sustituir un tipo determinado de operación y/o proceso por otro que se considere que funcionará mejor.

Generalmente se da el mantenimiento, limpieza y adaptación del equipo ya existente y se agregan los nuevos elementos a ser incorporados ó que sustituirán a uno o varios de los elementos ya existentes en la Planta. Como ejemplo puede citarse el cambio de un Tanque Imhoff para adaptarlo y convertirlo en Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, también puede ser la implementación de una etapa de aireación extendida en una Planta que inicialmente no tenía este tratamiento.

Hasta el año 2004, según tabla 4.1 un total de 11 Plantas han sido rehabilitadas las cuales presentan las siguientes características:

- Seis del total de plantas de tratamiento son de Sedimentación y Filtro Percolador.
- Existe tan sólo una planta de Lodos Activados.
- Una Planta de Fosa Séptica y Filtro Anaeróbico.
- Tres Plantas de Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente que incluyen una etapa de filtración (Filtro Anaeróbico, Filtro Percolador y Filtro Biológico respectivamente para cada una de estas tres plantas).

Existen Plantas de Tratamiento que se encontraban en desuso y que están siendo rehabilitadas para ponerlas en funcionamiento, tal es el caso de la PTAROD de Urbanización Vista al lago que debido a la falta de mantenimiento y responsabilidad del ente administrador dejó de funcionar, retomando la rehabilitación el Banco Cuscatlán.

En las figuras 4.1 y 4.2 se presentan imágenes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico de la Urbanización Vista al Lago, durante su período de abandono; en la cual es bastante notoria la formación de vegetación sobre algunos de los equipos de la planta, y el estado actual de la Planta posterior a su restauración y ahora funcionando.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.1 Urbanización Vista al Lago previo a ser rehabilitada. (a) Sedimentador con Vegetación, (b) Filtro Percolador sin Mantenimiento, (c) Área Perimetral de la Planta con Desbordes.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.2 Urbanización Vista al Lago una vez Rehabilitada. (a) y (b) Sedimentador Libre de Vegetación, (c) Filtro Percolador Libre de Vegetación.

Fuente propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia

4.1.2.3 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico en Funcionamiento

Actualmente la mayor parte de PTAROD en funcionamiento en El Salvador no posee un control detallado de los parámetros de operación de la Planta (concentraciones del efluente de DBO, DQO, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Aceites y grasas) que contribuyan a controlar su funcionamiento y determinar la eficiencia del Tratamiento aplicado.

Los responsables del mantenimiento y operación de la PTAROD, carecen de conocimiento en las siguientes áreas de: Aspectos Técnicos Operativos, Seguridad y planes de contingencia en la Planta. Entendiéndose como aspectos operativos de la planta a los involucrados con el funcionamiento, mantenimiento y limpieza de los equipos y como aspectos de seguridad los referidos a su correcta utilización para evitar accidentes y peligros que atenten contra la salud de los operarios.

Respecto a la disposición final de los residuos, éstos no se comercializan. El efluente es descargado en ríos o quebradas y en la mayoría de casos sin recibir ningún tratamiento previo (ver figura 4.3), convirtiéndose nuevamente en foco de contaminación debido a la carga de microorganismos patógenos portadores de enfermedades que hacen que el agua no sea apta para determinados tipos de usos (consumo humano, riego y actividades domésticas).



Figura 4.3 Descarga de Planta de Tratamiento.
Fuente propia: Barrera, Héctor y Ramos Dalia

Los lodos generados son estabilizados adicionando cal y posteriormente enterrados en lugares dentro de la planta destinados para ello. Existen casos en que los lodos permanecen en los patios de secado (sistema más utilizado en el país), expuestos al aire libre por un largo período de tiempo (figura 4.4) .En ambos casos el potencial de éstos (abono orgánico) no es aprovechado.



Figura 4.4 PTAR Urbanización Vista al Lago, Patio de Secado de Lodos
(Fuente Propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia).

Respecto de los desechos como grasas y sólidos gruesos retenidos en el tratamiento primario, una práctica común que se aplica, es enterrarlos en pequeñas fosas en lugares específicos dentro de la planta.

En plantas que producen gas; el cual es producto de procesos de descomposición anaeróbica, éste no se aprovecha para la producción de energía, sino que se quema antes de ser descargado a la atmósfera, esto en caso de disponer de quemadores. En otros casos estos gases son descargados directamente a la atmósfera sin tratamiento previo.

De acuerdo a la tabla 4.1 hasta el año 2004 se contabilizaron 39 Plantas en funcionamiento en el país de las cuales 13 operan bajo el tipo de Tratamiento Sedimentación - Filtro Percolador y 7 con tratamiento de lodos activados. En cuanto a las PTAROD en construcción la investigación reporta un total de 5 Plantas cuyos tratamientos son: Sedimentación - Filtro Percolador, Lodos Activados y Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) - Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA).

Determinando que las PTAROD más utilizadas en el país son:

- Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales por Sedimentación y Filtros Percoladores.
- Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con Lodos Activados.

A pesar de contar con 39 plantas en funcionamiento, si no se toman las medidas necesarias en cuanto a monitoreo de parámetros de efluentes y el mantenimiento de equipos éste número puede disminuir y aumentar las Plantas en desuso. Es necesario evaluar el trabajo de las entidades

responsables del Manejo de Aguas residuales en El Salvador ya que si bien es cierto, para poder tener permiso de construir una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es necesario cumplir con una Evaluación de Impacto Ambiental, este proceso de Evaluación no da el seguimiento adecuado para verificar que se cumplan los compromisos adquiridos (en caso de tener permiso de funcionamiento); ver Anexo A. Esto permitiría tener un mayor control sobre las PTAROD minimizando las concentraciones de las descargas y velando por el cumplimiento de las normas respectivas.

5. INVESTIGACION SOBRE LA GESTION DE RESIDUOS DE ORIGEN DOMESTICO EN EL SALVADOR.

El impacto ambiental generado por la contaminación de ríos, lagos y otros cuerpos receptores, es debido a las descargas crudas de efluentes líquidos de origen doméstico o al mal funcionamiento de las Plantas de tratamiento en Urbanizaciones, factores que indican la necesidad de realizar estudios e investigaciones comprometidas a aportar soluciones viables ante el problema creciente de la contaminación generada por las fuentes antes mencionadas.

El propósito de este estudio se refiere a:

- La identificación de las causas (tecnológicas, operativas y ecológicas) de la gestión inadecuada de los efluentes líquidos de origen doméstico en Plantas de Tratamiento de urbanizaciones en El Salvador.
- La determinación de la relación existente entre estas causas.

Para en base a ello establecer una Propuesta para la gestión de los efluentes líquidos de origen doméstico en proyectos urbanísticos. Siendo necesario realizar la caracterización tanto cualitativa del tipo de tratamiento aplicado como fisicoquímica de los efluentes generados por las Plantas en Funcionamiento en urbanizaciones en El Salvador.

A través del diagnóstico realizado en el capítulo 4 de este estudio se identificó, realizando visitas de campo, que algunas Plantas de Tratamiento de urbanizaciones están operando de manera deficiente ya sea por la falta de mantenimiento y monitoreo continuo de cada uno de los procesos que intervienen, o debido al diseño de la misma.

Otro factor que incide en el mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento es la falta de un documento que oriente la gestión apropiada de los efluentes de origen doméstico en Urbanizaciones, que permita resolver de manera viable y efectiva problemas de carácter técnico y solventar de esa manera diversas situaciones de mal funcionamiento de las Plantas de Tratamiento.

Sin embargo, en algunas Urbanizaciones los Sistemas de Tratamiento se encuentran funcionando, lo que indica que la factibilidad en los tratamientos depende de la caracterización del efluente a tratar en cuanto al diseño de la Planta y la monitorización realizada con muestras

puntuales que reflejen el cumplimiento de los parámetros evaluados por la Norma correspondiente aplicable.

5.1 DIAGNOSTICO SITUACION TECNICA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SALVADOR

Para conocer la Situación Actual de la tecnología utilizada para el tratamiento de los efluentes líquidos de origen doméstico fue necesario realizar visitas de campo en las Plantas de Tratamiento en funcionamiento (ya identificadas en el capítulo 4 de este estudio).

Con el objetivo de evaluar y analizar posibles factores que propician el desuso o mal funcionamiento de los procesos en los diversos sistemas de tratamiento aplicados, utilizando para ello un instrumento evaluador, que de manera general aporte información general de la planta de tratamiento, las áreas abarcadas por el instrumento son:

- Diseño de la Planta de Tratamiento
- Tipo de Tratamiento Aplicado.
- Factores Externos e internos que afectan el funcionamiento de la Planta de Tratamiento.
- Parámetros de Diseño y Funcionamiento.
- Control y mantenimiento de la Planta de Tratamiento.
- Problemas afrontados, acciones correctivas y preventivas aplicadas en tal caso.

Los criterios tomados en cuenta en la selección de las Plantas de Tratamiento objeto de estudio son:

- La disponibilidad de realización de las visitas
- El tipo de Tratamiento aplicado
- El acceso a realizar muestreo para análisis de efluentes en la Planta.
- Las áreas a nivel Nacional donde se presenta el mayor asentamiento poblacional que contengan Proyectos Urbanísticos con su respectiva Planta de Tratamiento.

Las Plantas de Tratamiento seleccionadas para realizar la investigación de campo se identifican por un número y por el nombre del departamento al cual pertenecen. Con la finalidad de

mantener confidencialidad de los datos que fueron proporcionados, no se proporciona el nombre de la planta de tratamiento, ni su ubicación específica. Toda la información se encuentra resumida en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Plantas de Tratamiento en Funcionamiento Visitadas.

IDENTIFICACION	NOMBRE DE LA PLANTA	DEPARTAMENTO
1	Planta 1	La Libertad
2	Planta 2	La Libertad
3	Planta 3	La Libertad
4	Planta 4	San Salvador
5	Planta 5	San Salvador
6	Planta 6	San Salvador
7	Planta 7	San Salvador
8	Planta 8	San Salvador
9	Planta 9	Santa Tecla
10	Planta 10	Carretera al Aeropuerto

Fuente Propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia.

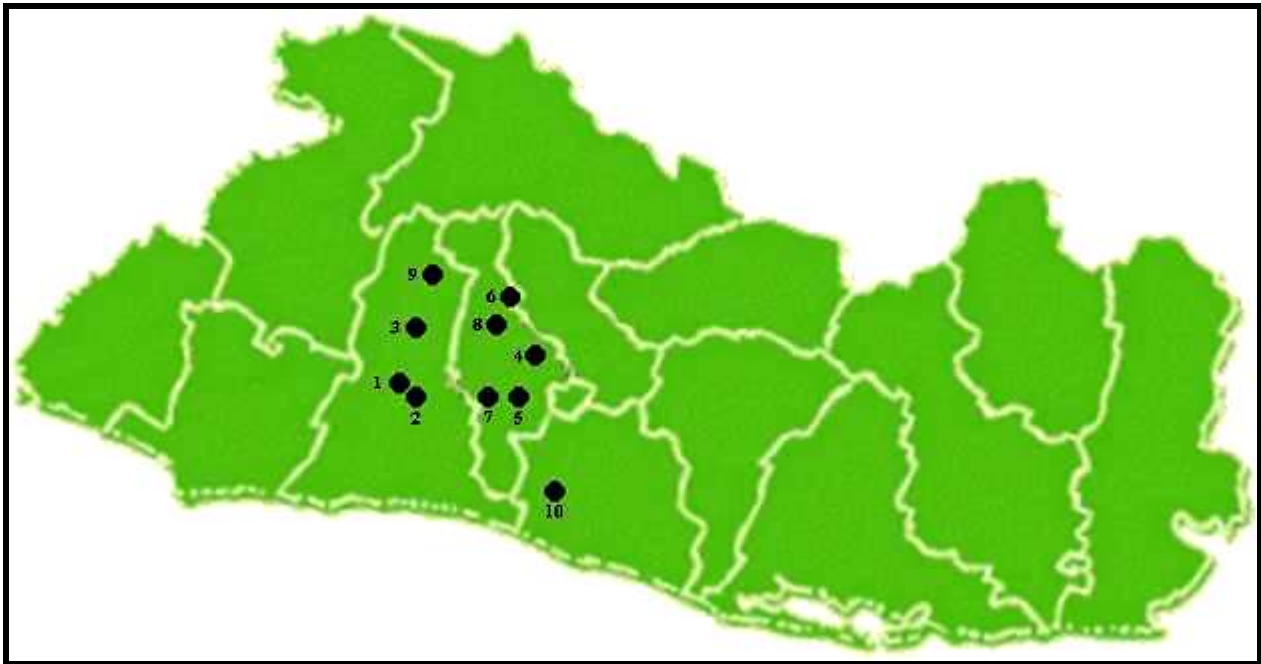


Figura 5.1 Ubicación de Plantas de Tratamiento Evaluadas en el Presente Estudio.

Es importante mencionar que en las visitas realizadas se presentaron las siguientes situaciones:

- Solamente se autorizó tomar fotografías de los diferentes procesos del Sistema de Tratamiento desde el área perimetral de la Planta, restringiendo la entrada a la misma.
- El operario de la Planta únicamente maneja información del mantenimiento de las operaciones físicas y no información técnica de los procesos de tratamiento.

- En algunas Plantas no se admitió realizar la toma de muestra del efluente por políticas de la administración de la misma.

Dicho comportamiento limita en cierta forma obtener un mayor número de análisis del efluente para con ello confrontar resultados respecto a la Norma y verificar el buen o mal funcionamiento de la PTAROD.

5.1.1.1 Diseño del Instrumento Evaluador

Se elaboró una Lista de Verificación de información (ver anexo B), cuyo objetivo, es que de acuerdo a su diseño englobe los aspectos claves del desarrollo de la Investigación en cuanto a:

- Problemas y fallos en el Funcionamiento de Plantas de Tratamiento en Urbanizaciones en El Salvador,
- Identificación de las causas ya sean económicas, socio-culturales, tecnológicas y ambientales que de una u otra manera han limitado el tratamiento de efluentes, o la aplicación de nuevas tecnologías en dicho tratamiento,
- Obtener información de las variables de control y funcionamiento a través de las opiniones del personal de mantenimiento de las Plantas y de los usuarios,
- Identificación y Registro de situaciones que dieron o están dando origen a problemas que afectan el estado actual de funcionamiento de las Plantas de Tratamiento en las Urbanizaciones.

En la elaboración de la Lista de Verificación se consideraron las siguientes áreas, conceptos o criterios básicos:

- Diseño de la Planta de Tratamiento.
- Tipos de Tratamiento Aplicados.
- Funcionamiento de la Planta de Tratamiento.
- Mantenimiento, Seguridad y Planes de Contingencia.
- Personal que Labora en la Planta de Tratamiento.
- Disposición Final de Residuos.

- Factores Externos a la Planta de Tratamiento que Influyen en los Resultados del Tratamiento.
- Comentarios de la Comunidad sobre la Planta de Tratamiento.

5.1.1.2 Resultados del Análisis de la Lista de Verificación de las PTAROD.

La evaluación de la Lista de Verificación se ha realizado de una manera cualitativa, en esta evaluación se ha considerado el equiponderar cada una de las áreas que la constituyen. Así mismo, se han equiponderado cada uno de los ítems dentro de la misma área. De tal forma que al final cada pregunta da un aporte igual dentro de cada área respectivamente, indicado el porcentaje el cual variará entre: muy malo, malo, regular, bueno y excelente.

Se debe tener en cuenta que la Lista de Verificación constituye un instrumento de evaluación cualitativa del funcionamiento de una planta de tratamiento, pero dado que se ha desarrollado con la finalidad de dar una idea sobre el funcionamiento de la planta, no se considera como un instrumento el cual pueda ser utilizado para establecer si la planta funciona bien o no, para llegar a esta conclusión se requerirá de un análisis más complejo y que evalúe con más detalle cada una de las áreas relativas al funcionamiento de las PTAR.

Por lo tanto, la Lista de Verificación es un instrumento propio de este estudio que se utilizó para tomar una idea inicial sobre el estado de las plantas de tratamiento.

Los resultados de la Lista de Verificación, unidos a los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a los efluentes de las plantas de tratamiento en cuestión, proporcionan una herramienta versátil para realizar una evaluación que satisface las necesidades de este estudio.

Para poder tomar una decisión basado en un análisis de este tipo, lo más recomendable será realizar varios análisis fisicoquímicos a los efluentes de la planta, para analizar el comportamiento de dichos efluentes a la salida de la planta a lo largo de un mínimo de 6 meses. También será recomendable realizar un análisis cualitativo más profundo y que en caso de ser posible sea hasta cierto punto cuantificable.

Los resultados de este análisis, servirán para realizar un análisis global en cuanto al funcionamiento y diseño de las PTAROD en la actualidad y así poder estructurar una propuesta viable y sostenible para el tratamiento de efluentes. Esta propuesta aprovechará las deficiencias

observadas en las plantas de tratamiento visitadas para proporcionar una alternativa integral en cuanto al manejo de los efluentes líquidos de origen doméstico.

Además, esta información se utilizará de soporte, en la elaboración de la Guía de Evaluación de los Riesgos Ambientales y Plan de Contingencia, así como también la Guía de Diseño de un Plan de Gestión de Residuos Líquidos de una Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos de Origen Doméstico. Estas guías se abordan en el capítulo 7 de este estudio.

Los resultados obtenidos en la evaluación de la Lista de Verificación se resumen por área evaluada en cada una de las plantas visitadas en la tabla 5.2. Debe tenerse en cuenta que para la evaluación de las respectivas áreas se toma en cuenta que:

- 0-20: Muy Malo.
- 20-40: Malo.
- 40-60: Regular.
- 60-80: Bueno.
- 80-100: Excelente.

Tabla 5.2 Cuadro Resumen de la Evaluación de la Lista de Verificación por Área de las Plantas de Tratamiento Visitadas.

Áreas Evaluadas	Plantas de Tratamiento									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A: Diseño de la Planta de Tratamiento	25	25	75	75	75	75	75	50	50	75
B: Funcionamiento de la Planta de Tratamiento	56	56	56	38	45	42	53	46	38	30
C: Mantenimiento, seguridad y plan de contingencia	55.56	55.56	77.78	44.44	88.89	88.89	88.89	55.56	44.44	55.56
D: Personal de la Planta de Tratamiento	40	40	20	20	40	100	100	60	20	20
E: Disposición final de residuos	20	20	20	0	20	40	40	0	20	20
F: Factores externos de importancia	37.50	37.50	87.50	68.75	81.25	93.75	81.25	65	93.75	93.75
G: Comentarios de habitantes de la comunidad	33.33	33.33	100	100	100	100	100	100	100	100
Evaluación Total	38.20	38.20	62.33	49.46	64.31	77.09	76.88	53.79	52.31	56.33

Fuente Propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia.

En la Tabla 5.3 se presenta un cuadro resumen de las plantas de tratamiento visitadas, en la cual se detalla la descripción del tipo de tratamiento utilizado y el estado ó condición en la que se encuentra para el año 2006.

Tabla 5.3 Resumen del Proceso y Condición de las Plantas de Tratamiento Evaluadas.

Planta de Tratamiento	Descripción del proceso	Condición Actual
Planta 1	Sedimentación – Filtro Percolador	En funcionamiento posterior a la rehabilitación
Planta 2	Sedimentación – Filtro Percolador	En funcionamiento
Planta 3	Lagunas de Aireación	En funcionamiento
Planta 4	RAFA - Filtro biológico	En funcionamiento posterior a la rehabilitación
Planta 5	Reactor Anaeróbico - Filtro percolador	En Funcionamiento
Planta 6	RAFA - Filtro Anaeróbico	En funcionamiento
Planta 7	Sedimentación – Filtro Percolador	En funcionamiento
Planta 8	Tanque Imhoff- Filtro percolador- Sedimentación	En Funcionamiento
Planta 9	Fafa	En Funcionamiento
Planta 10	Fafa	En Funcionamiento

RAFA: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.
Fuente Propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia.

AREA “A”: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La Tabla 5.4 Presenta un Resumen de los Resultados de la Evaluación del Área A de la Lista de Verificación empleada.

Tabla 5.4 Resultados de Evaluación Área A de Lista de Verificación

No.	Factores	SI	NO
1	¿La planta de tratamiento es un diseño propio?	0	10
2	¿Los Tratamientos fueron diseñados ó adecuados a las condiciones reales a las que serían sometidos?	8	2
3	¿El espacio destinado para la ubicación de la planta es adecuado?	7	3
4	¿La planta presenta un margen de seguridad respecto de la población actual y una predicción de incremento de población?	9	1



Figura 5.2 Análisis de Ítem 1 de Área A. Lista de Verificación.

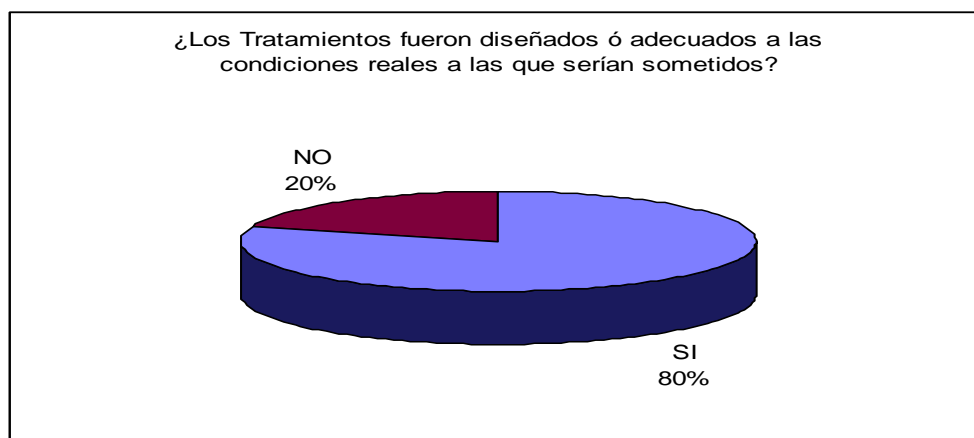


Figura 5.3 Análisis de Ítem 2 Área A. Lista de Verificación.

Según la figura 5.2, todas las plantas de tratamiento no poseen diseños propios, lo cual indica que no se consideró una adecuación de equipos en la planta. Dentro de las plantas visitadas, existen dos que son exactamente iguales, pero una funciona para 800 viviendas, y la otra para 1500 viviendas. La figura 5.3 indica que del total de plantas visitadas, el 80% afirman que los tratamientos fueron diseñados a las condiciones reales a las que serían sometidos. En uno de los casos logró concluirse que el diseño de la planta original fue hecho para condiciones similares a las que se sometió en el país, pero el análisis inicial de la composición del agua residual no se hizo.

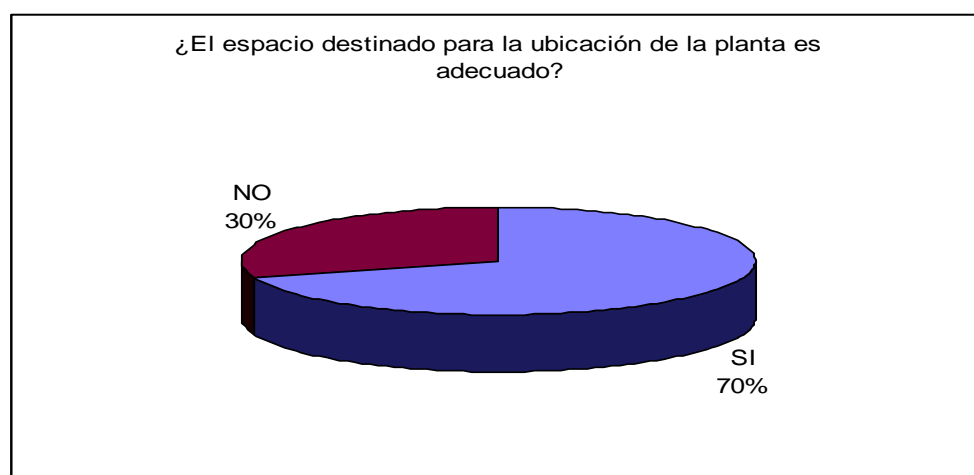


Figura 5.4 Análisis Ítem 3 Área A. Lista de Verificación.

En un 70% de las PTAROD visitadas se consideró que la ubicación de la planta es adecuada, la evaluación de este ítem consideró la cercanía de la Planta de Tratamiento a la Comunidad y si había algún tipo de actividad cercano a la planta.

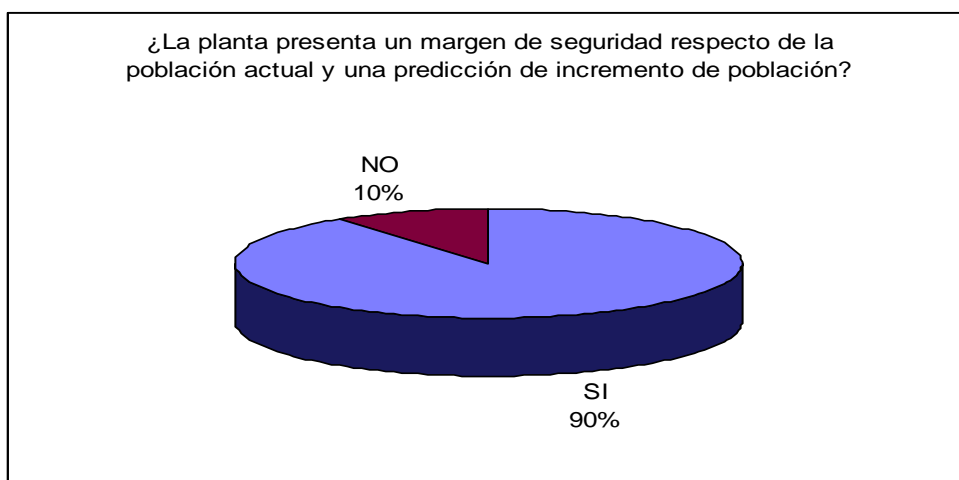


Figura 5.5 Análisis Ítem 4 Área A. Lista de Verificación.

El 90% de las PTAROD visitadas (ver figura 5.5) posee un margen de seguridad respecto de la población para la cual fue diseñada, lamentablemente, en la mayoría de los casos, las plantas están funcionando con esta capacidad al límite ó fuera del rango del límite.

AREA “B”: FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Los Resultados de la Evaluación del Área B de la Lista de Verificación se presentan en el cuadro resumen de la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Resultados de Evaluación Área B de Lista de Verificación.

No.	Factores	SI	NO	ALTO	MEDIO	BAJO
1	¿Existe un Plan de Monitoreo del proceso? ¿En qué nivel?	9	1	1	3	5
2	¿Se mantiene monitoreo sobre la calidad del efluente?	7	3			
3	¿Existe homogenización de Caudal de entrada?	0	10			
4	¿Los diferentes equipos de la planta están en condiciones adecuadas de funcionamiento? ¿En qué nivel?	10	0	0	9	1
5	¿Existen puntos de recirculación dentro de la planta?	0	10			
6	¿Hay desprendimiento de olores? ¿En qué nivel?	6	4	0	0	6
7	¿Se ha tenido algún problema en el funcionamiento de la planta?	7	3			
8	¿Si hubo algún problema en algún momento, se ha aprovechado el conocimiento adquirido en esa ocasión?	6	4			
9	¿Se identifican potenciales de mejora en la planta de tratamiento?	10	0			
10	¿Existe un plan de limpieza? ¿En qué grado de seriedad?	10	0	4	6	0

Del total de Plantas de Tratamiento que se visitaron el 90% expresó que posee un plan de monitoreo. De este 90%, el 10% tiene un plan de monitoreo periódico y bastante estructurado que puede considerarse de nivel alto, el 30% tiene un plan de monitoreo de nivel medio basado en lecturas periódicas a la salida del proceso de depuración del agua y finalmente un 50% posee

un plan de Monitoreo de nivel bajo, dado que se toman mediciones de manera ocasional al efluente de la planta de tratamiento (Ver figura 5.6).

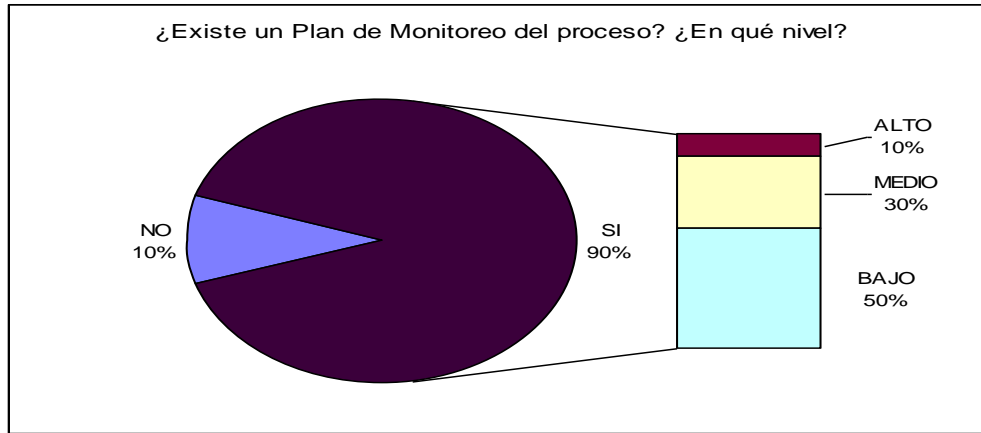


Figura 5.6 Análisis Ítem 1 Área B. Lista de Verificación.

En la mayoría de las plantas se considera como único punto de monitoreo el efluente a la salida de la Planta de Tratamiento. La única planta que posee un plan de monitoreo de nivel alto; utiliza como Sistema de Tratamiento un Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente. El 70% de todas las plantas de Tratamiento mantienen un Plan de Monitoreo sobre la calidad del efluente; es decir, llevan registro detallado de los análisis que se han tomado al efluente a la salida de la planta de tratamiento (Figura 5.7).

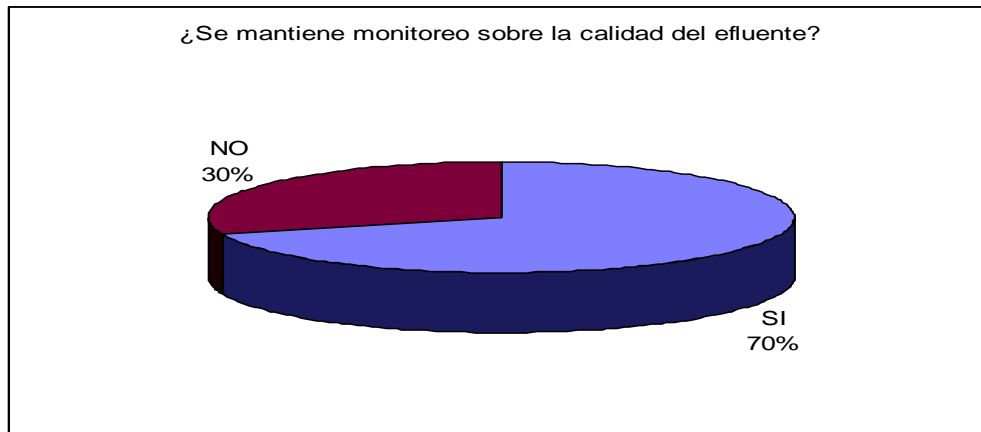


Figura 5.7 Análisis Ítem 2 Área B. Lista de Verificación.

Se observó que en ninguna de las plantas de tratamiento visitadas se consideró realizar homogenización de caudal de entrada para optimización del proceso de tratamiento (Figura 5.8), esto no sólo mejoraría la eficiencia del proceso, sino también permitiría tener una planta de menores dimensiones; ya que el caudal promedio, es menor que los caudales punta, dado que en El Salvador es práctica común el diseñar una planta de tratamiento para los caudales punta.

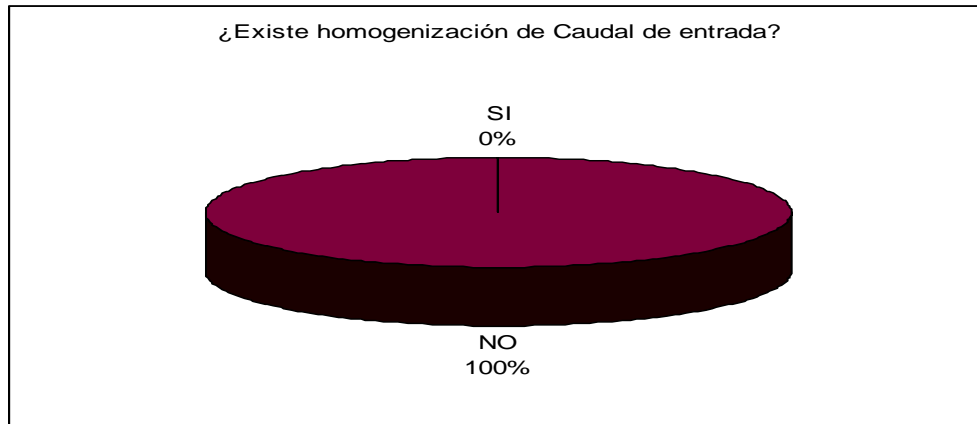


Figura 5.8 Análisis Ítem 3 Área B. Lista de Verificación.

Al verificar de manera cualitativa el estado o condiciones en las cuales se encuentran los equipos de tratamiento, se logró identificar que el 10% de las Plantas Visitadas cuentan con equipo en condiciones bajas de funcionamiento; dado que los filtros presentaban formación de natas, en el 90% restante se consideró un nivel intermedio en cuanto a las condiciones del equipo. Este resultado se muestra en la figura 5.9.

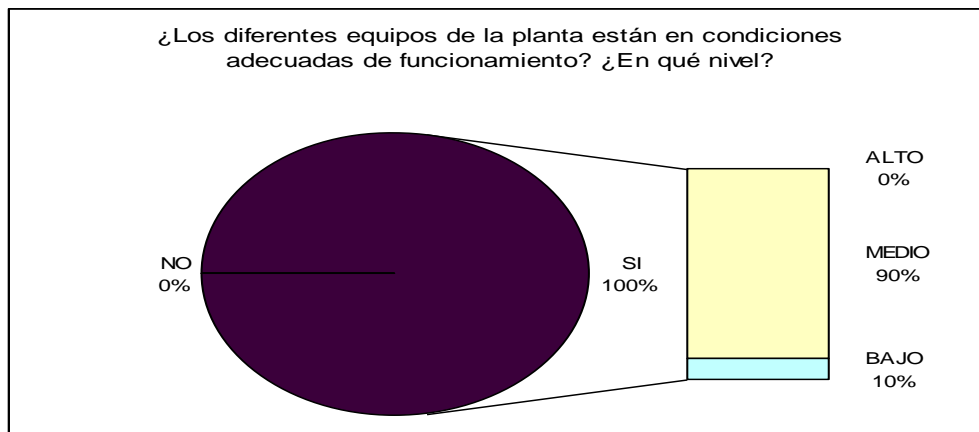


Figura 5.9 Análisis Ítem 4 Área B. Lista de Verificación

En las plantas de Tratamiento visitadas no se observaron puntos de recirculación en ninguna de las etapas del proceso (Ver figura 5.10). Según información obtenida en dos plantas de tratamiento en un inicio se tenían puntos de recirculación específicamente desde la salida del efluente tratado hasta la entrada al filtro percolador, dicha recirculación se hacía cuando el flujo de entrada a la planta bajaba durante la noche, y con la finalidad de que el proceso depurador no se suspendiera, el efluente se recirculaba hasta el momento en que el flujo de agua residual se regulaba.

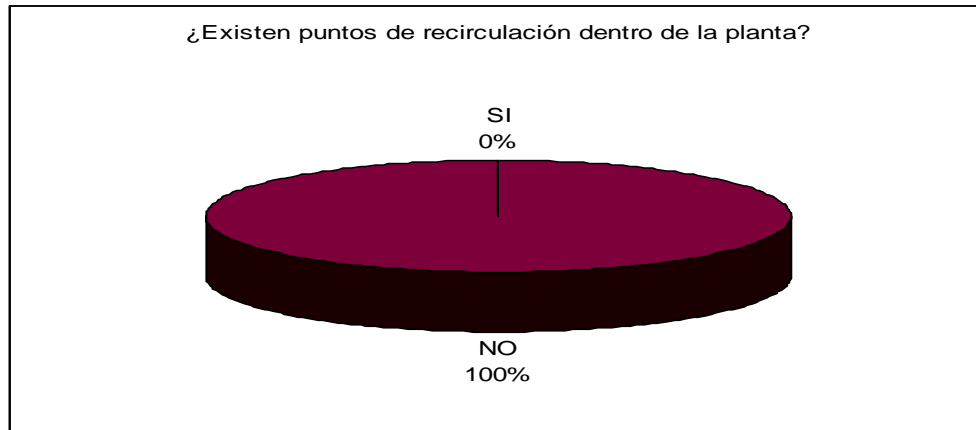


Figura 5.10 Análisis Ítem 5 Area B. Lista de Verificación.

El desprendimiento de olores es algo normal en una PTAROD pero en un nivel tolerable. Para evaluar este factor se percibieron en diferentes puntos cercanos a la PTAROD la presencia de olores, teniendo como resultado que sólo en un 60% se perciben olores en un nivel bajo; el resultado de esta evaluación se presenta en la figura 5.11.

Otro de los aspectos que se evaluaron con la Lista de Verificación es sobre si en algún momento se ha reportado algún problema operativo en la planta de tratamiento, este resultado se refleja en la figura 5.12. Un problema que afectó a una de las plantas de tratamiento; a manera de ejemplo, fue el paro de labores forzado a raíz de la falta de mantenimiento de la planta en general. En la actualidad la planta fue habilitada gracias a la organización de los vecinos que residen cerca de la misma, y son ellos quienes se encargan de brindar los fondos para el mantenimiento de la Planta.

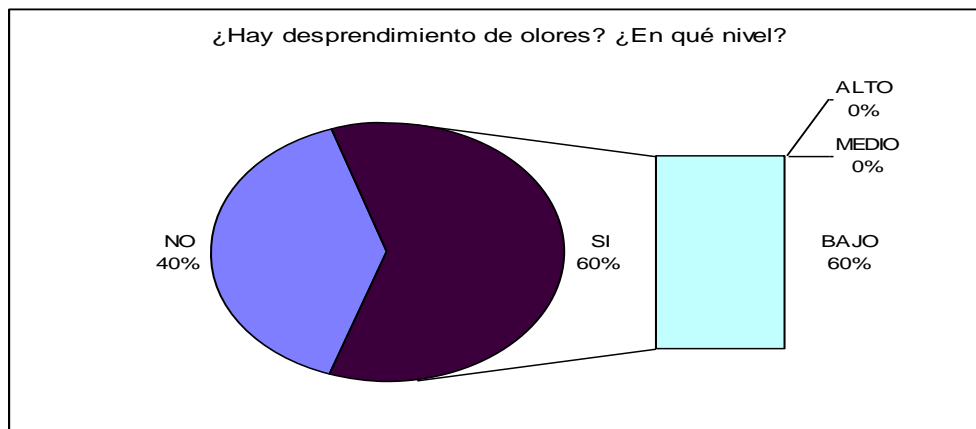


Figura 5.11 Análisis Ítem 6 Área B. Lista de Verificación.

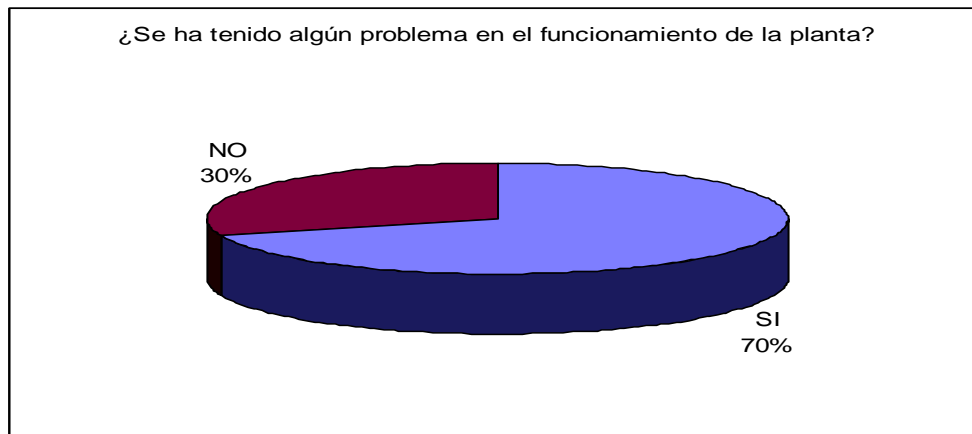


Figura 5.12 Análisis Ítem 7 Área B. Lista de Verificación.



Figura 5.13 Análisis Ítem 8 Área B. Lista de Verificación.

El 60% de las plantas visitadas, han aprovechado la experiencia de los problemas identificados en el funcionamiento, logrando que la comunidad tome conciencia sobre los beneficios de la planta, tomando acciones concretas para su reactivación como fue el caso expuesto anteriormente, Además la creación de un sistema de mantenimiento y limpieza como parte de la sostenibilidad del proyecto

La figura 5.13 indica que del total de plantas de tratamiento que han tenido problemas, un 60% han aprendido sobre los errores que han surgido en el proceso; sin embargo ninguna ha realizado una identificación de potenciales de mejora.

La identificación de los potenciales de mejora de las plantas de tratamiento visitadas se presenta en la figura 5.14. Finalmente, en la figura 5.15 se presentan los resultados de la evaluación del plan de limpieza en las plantas de tratamiento, identificando que todas poseen un plan de limpieza.

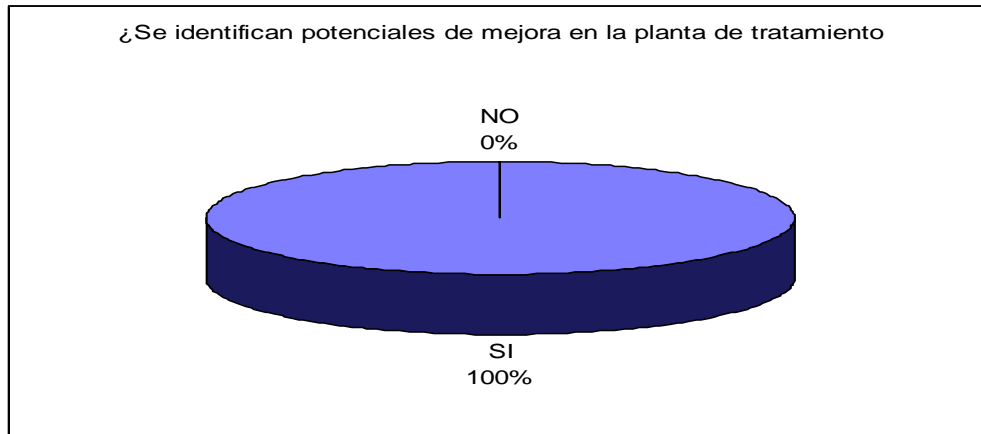


Figura 5.14 Análisis Ítem 9 Área B. Lista de Verificación.

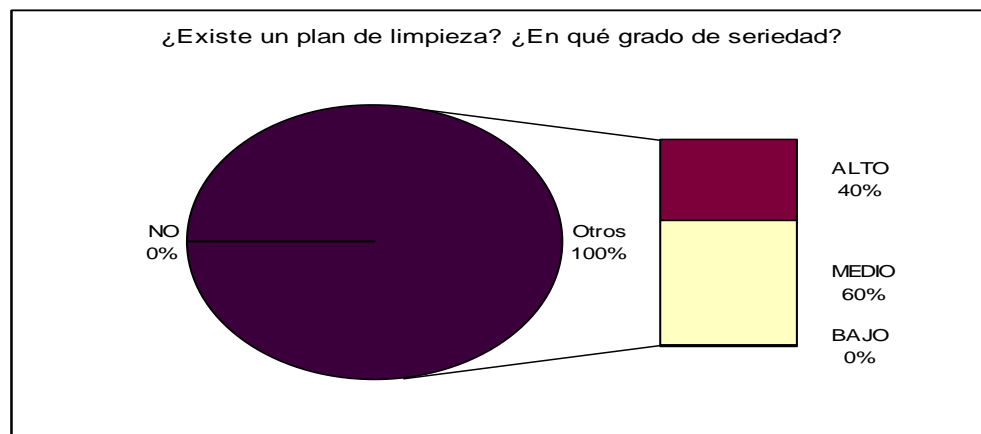


Figura 5.15 Análisis Ítem 10 Área B. Lista de Verificación.

De este 100% se tiene un 60% de plantas que posee un plan de limpieza en un nivel intermedio; esto indica que la limpieza está programada para determinados períodos de tiempo, pero que podría mejorarse si se estructura o planifica de una manera más objetiva. En el caso del 40% restante, la limpieza es realizada por una empresa la cual se ha contratado para dar mantenimiento y monitoreo continuo a la planta de tratamiento, por ello se considera que el grado de seriedad es de nivel alto.

AREA “C”: MANTENIMIENTO, SEGURIDAD Y PLAN DE CONTINGENCIA

Otra de las áreas que se han evaluado en la lista de verificación es el mantenimiento, seguridad y plan de contingencia de la planta de tratamiento ante eventualidades que puedan suceder. Esto se resume en la tabla 5.6, este análisis va orientado a la evaluación de la capacidad para afrontar y prever los problemas que se puedan presentar en determinado momento; durante el funcionamiento normal de la PTAROD.

Tabla 5.6 Resumen de Evaluación Área C de Lista de Verificación

No.	Factores	SI	NO
1	¿Existe un plan de mantenimiento periódico?	7	3
2	¿El mantenimiento por una empresa predeterminada?	7	3
3	¿Los equipos del proceso de tratamiento tienen protección contra lluvias u otro tipo de contaminación externa (ejemplo hojas de árboles)?	3	7
4	¿Se ha producido algún tipo de accidente en la planta?	0	10
5	¿La planta muestra condiciones seguras para los operarios?	4	6
6	¿Existe un plan de contingencias para emergencias en funcionamiento?	3	7
7	¿Existen puntos de fugas durante el proceso de tratamiento?	0	10
8	¿Existen riesgos en la manipulación de químicos?	0	10
9	¿Se dispone del equipo adecuado para el personal de la planta?	4	6
10	¿El acceso a la planta está restringido?	8	2

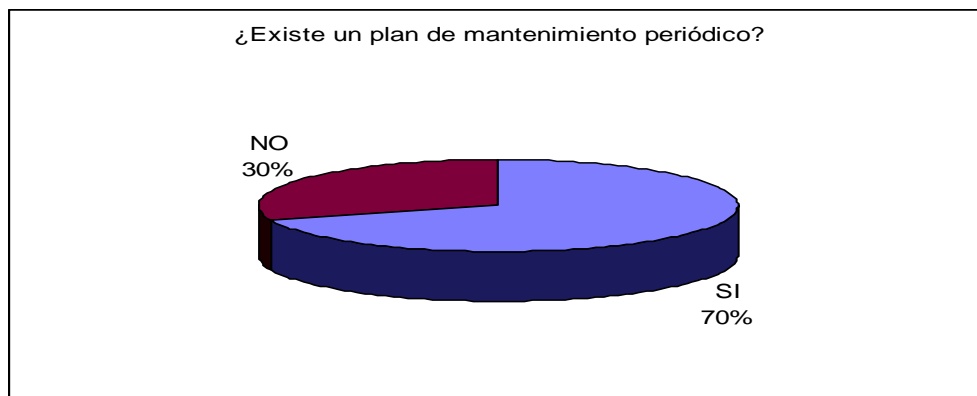


Figura 5.16 Análisis Ítem 1 Área C. Lista de Verificación.

En la figura 5.16 se denota que el 70% de las plantas de tratamiento dan mantenimiento periódico a las instalaciones y equipos, mientras que el otro 30% si bien es cierto proveen mantenimiento a la planta, no lo realizan de manera periódica; sino eventualmente.

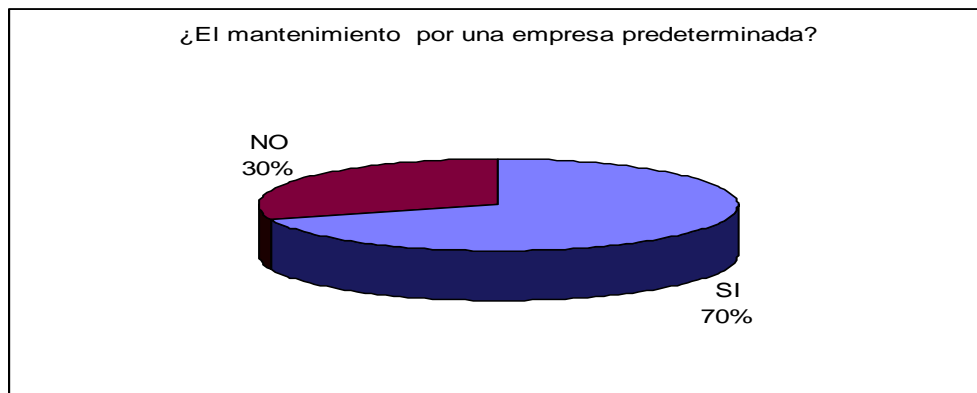


Figura 5.17 Análisis Ítem 2 Área C. Lista de Verificación.

En la mayor parte de las plantas de tratamiento el mantenimiento es dado por una empresa encargada de dicha actividad, el 70% de las plantas afirman pagar por este servicio, mientras que el otro 30% da el mantenimiento de forma propia. Esto se ve reflejado en la figura 5.17.



Figura 5.18 Análisis Ítem 3 Área C. Lista de Verificación.

Respecto de la protección que los equipos poseen contra la contaminación externa, sólo en un 30% de las plantas visitadas se observó esta consideración, el 70% restante no proveen ninguna protección a los equipos. Esta protección puede ser algo sencillo como la protección de los patios de secado de lodos en período de lluvias. Los resultados de este ítem, se presentan en la figura 5.18.

La figura 5.19 indica que ninguna de las plantas visitadas posee reportes de accidentes. No se lleva ningún registro de este tipo de situaciones, o al menos la persona que estaba encargada en ese momento no tenía información al respecto.

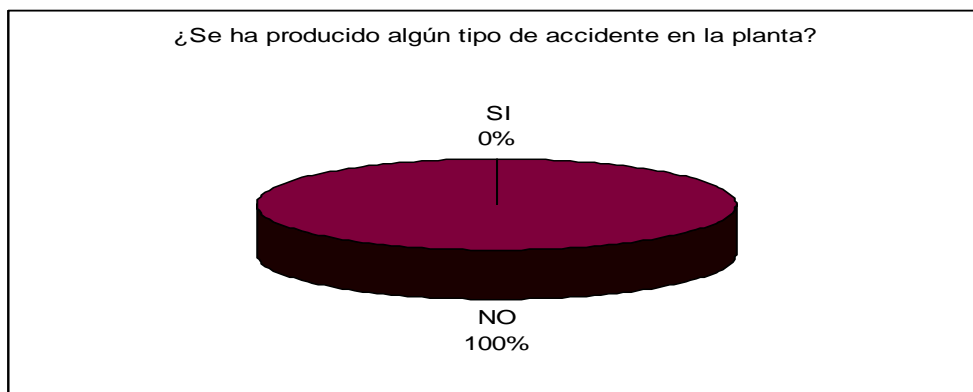


Figura 5.19 Análisis Ítem 4 Área C. Lista de Verificación.

Respecto a la seguridad en las plantas de tratamiento visitadas, el 40% muestra condiciones relativamente seguras en el 60% restante no se considera la seguridad para los operarios; por ejemplo, en algunos casos dada la ubicación de la planta en una forma descendente, no existe

ningún tipo de estructura que impida que una persona caiga desde un nivel a otro, es decir inexistencia de escaleras, protección perimetral en sedimentadores, entre otros aspectos. Los resultados de este análisis se presentan en la figura 5.20.



Figura 5.20 Análisis Ítem 5 Área C. Lista de Verificación.

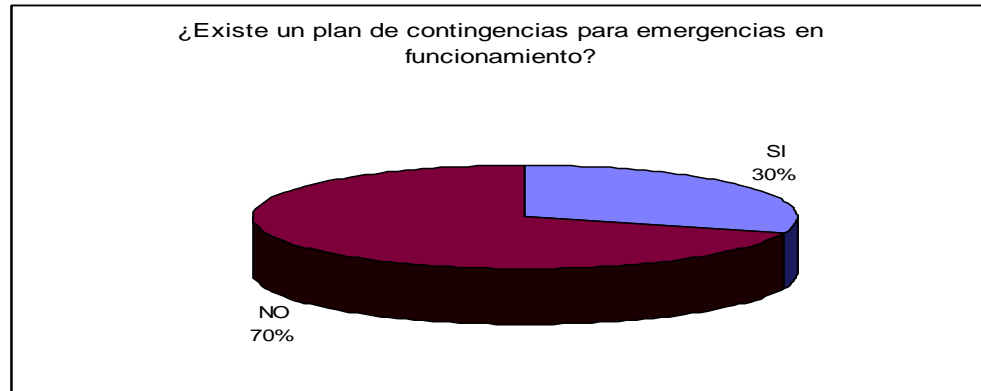


Figura 5.21 Análisis Ítem 6 Área C. Lista de Verificación.

En cuanto a la existencia de un plan de manejo de contingencias en caso de una emergencia, se consideró que un 30% de las plantas evaluadas posee un plan de contingencia, aunque no está estructurado y no se mantiene en revisión constante. El 70%, definitivamente no posee un plan de contingencias, ver figura 5.21. En todos los casos, no se está dando la importancia debida a los riesgos existentes en una planta de tratamiento, por ello no se está prestando atención a la elaboración, revisión y corrección de los planes de contingencia respectivos de cada planta de tratamiento.

En todas las plantas de tratamiento visitadas se observó el flujo del agua residual a lo largo del proceso de tratamiento, para identificar la existencia de fugas. No se encontró ningún punto de fuga. El resultado se presenta en la figura 5.22.

En ninguna de las plantas visitadas existe riesgo por manipulación de químicos, dado que en la mayoría no se utiliza ningún tipo de químico en el proceso (ver figura 5.23).

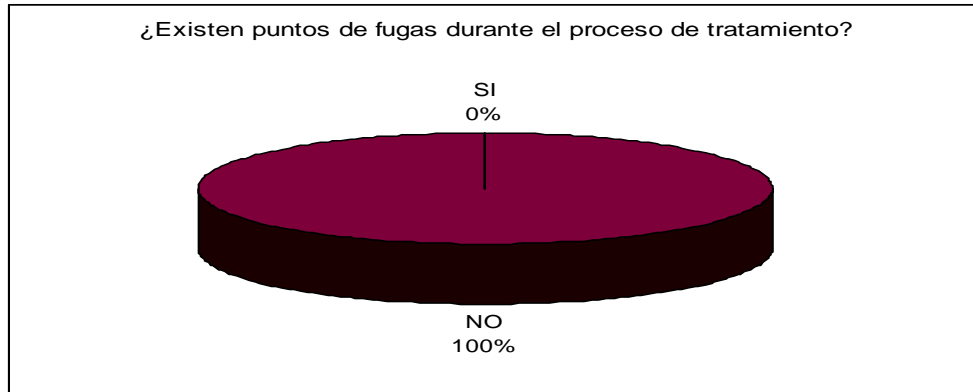


Figura 5.22 Análisis Ítem 7 Área C. Lista de Verificación.

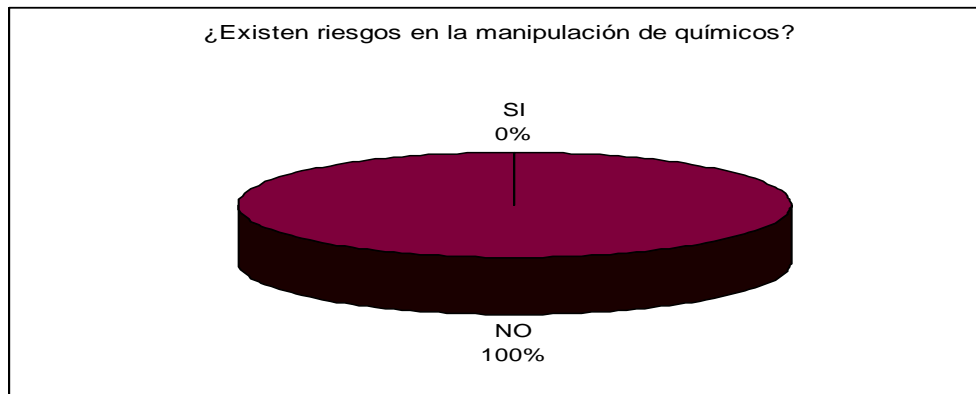


Figura 5.23 Análisis Ítem 8 Área C. Lista de Verificación.



Figura 5.24 Análisis Ítem 9 Área C. Lista de Verificación.

Dentro de las plantas de tratamiento, se evaluó si se disponía de equipo adecuado para el personal que labora en la planta de tratamiento, de las cuales tan sólo el 40% poseía equipo adecuado para la realización de la limpieza. En el 60% restante, si bien es cierto se disponía de

equipo, pero se presentaba la ausencia de personas capacitadas para realizar el mantenimiento que la planta requiere (Ver figura 5.24).

Es importante que una planta de tratamiento esté aislada para que personas ajenas a ella no puedan acceder sin autorización y así evitar posibles accidentes o daños en los equipos. Del total de plantas visitadas, según la figura 5.25 un 80% restringía la entrada solicitando para ello la autorización respectiva. El 20% restante, son plantas que no poseen restricción y permiten; el acceso a la planta de tratamiento sin ningún inconveniente.

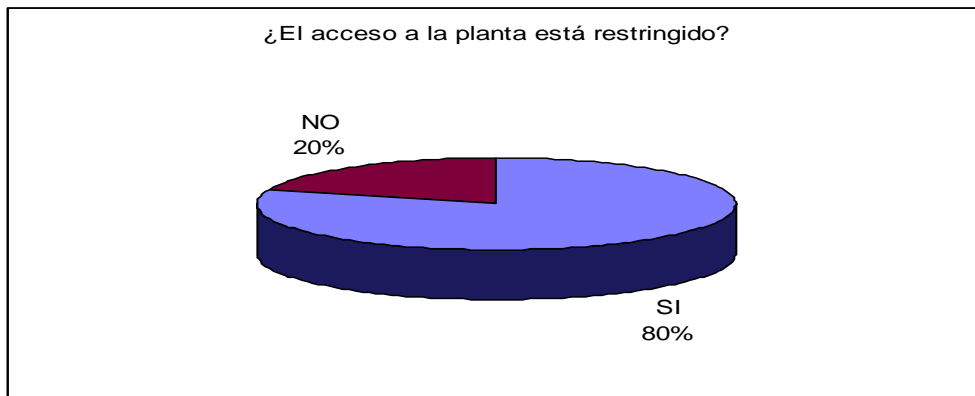


Figura 5.25 Análisis Ítem 10 Área C. Lista de Verificación.

AREA “D”: PERSONAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

En esta parte o sección de la lista de verificación, se busca como objetivo el identificar si las personas que se encuentran laborando en la planta de tratamiento están capacitadas para realizar las actividades de mantenimiento y así garantizar un buen funcionamiento de la misma. Además se evalúa si existen personas que garanticen la integridad y seguridad de los equipos, en especial en aquellas plantas que no están restringidas al público. La tabla 5.7 presenta el resumen de esta evaluación.

Tabla 5.7 Resumen de Evaluación Área D de Lista de Verificación.

No	Factores	SI	NO
1	¿Existe vigilancia permanente por el personal que labora en la planta?	6	4
2	¿Está el personal a cargo de la planta capacitado adecuadamente para garantizar un buen funcionamiento de la planta?	3	7
3	¿Se invierte en capacitación del Personal que labora en la planta?	2	8
4	¿Los operarios ó encargados están aptos para llevar a cabo un plan de contingencia en caso de ser requerido?	3	7
5	¿Se dispone de asistencia técnica oportuna y adecuada?	9	1



Figura 5.26 Análisis Ítem 1 Área D. Lista de Verificación.

La figura 5.26 muestra que sólo en el 60% de las plantas evaluadas existe vigilancia permanente, el 40% restante no la posee. Este factor es importante ya que garantiza; hasta cierto punto, la integridad del equipo y por ende el buen funcionamiento de la planta de tratamiento.

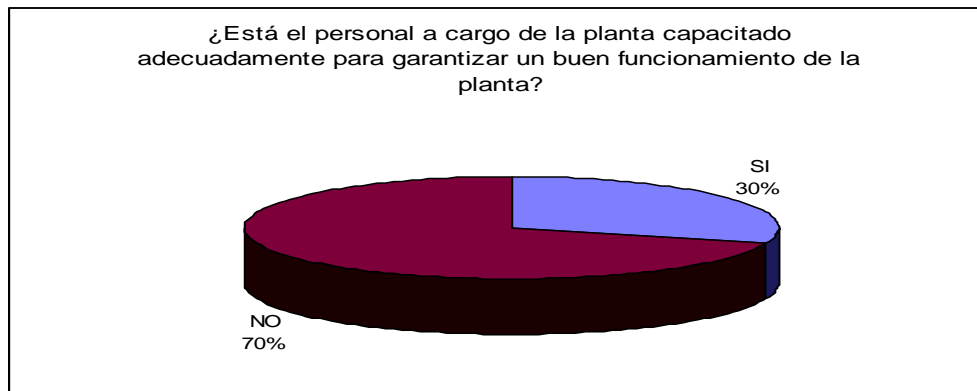


Figura 5.27 Análisis Ítem 2 Área D. Lista de Verificación.

En la mayor parte de plantas visitadas (el 70%), las personas no están capacitadas en lo absoluto sobre el sistema de tratamiento aplicado, mantenimiento y funcionamiento del equipo y la planta en general. El 30% restante posee conocimiento empírico adquirido en la experiencia diaria de su trabajo, de tal forma que no garantiza el aseguramiento del buen funcionamiento de la planta de tratamiento (Ver figura 5.27).

El personal de la planta de tratamiento, tampoco está apto para llevar a cabo un plan de contingencia, ya que solo el 30% de las plantas, posee personal apto para ejecutar dicho plan. El 70% restante, puede considerarse no cuenta con personal capacitado. Esto se presenta en la figura 5.28, si se compara con la figura anterior, los resultados concuerdan exactamente con los porcentajes en cuanto a personal capacitado para garantizar un buen funcionamiento de la planta de tratamiento.

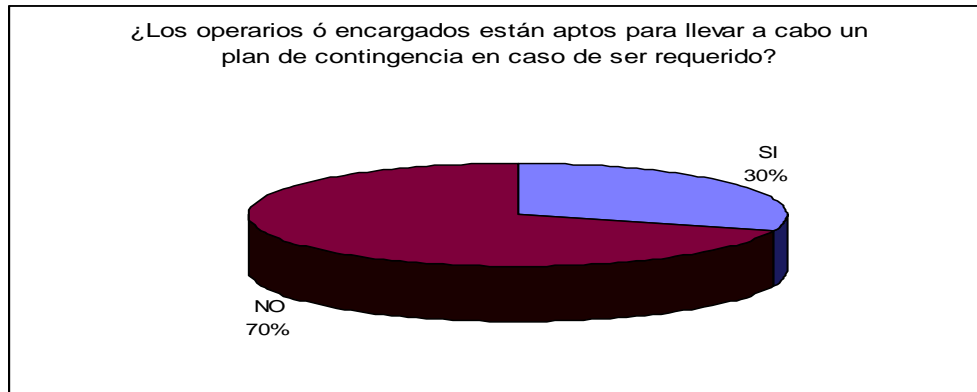


Figura 5.28 Análisis Ítem 3 Área D. Lista de Verificación.

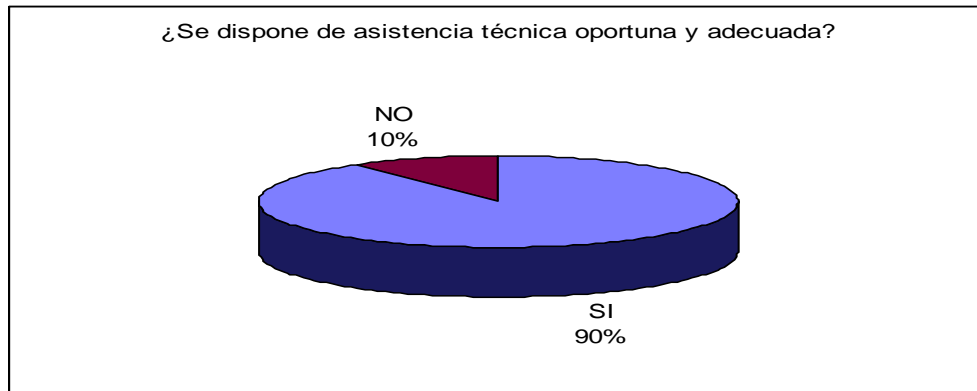


Figura 5.29 Análisis Ítem 4 Área D. Lista de Verificación.

La asistencia técnica oportuna es dada por una empresa que se contrata para dar tal servicio, y la cual se consulta por cualquier eventualidad que se presente durante el funcionamiento de la planta de tratamiento; de todas las plantas visitadas, un 90% cumple con esto. Del restante 10% no se logró obtener información respecto de quienes les dan asistencia técnica.

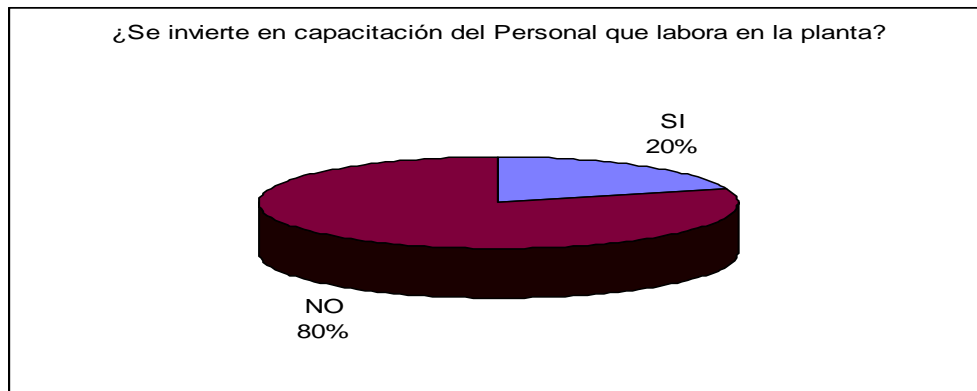


Figura 5.30 Análisis Ítem 5 Área D. Lista de Verificación.

Para asegurar que el personal que labora en la planta pueda responder adecuadamente ante cualquier eventualidad y que además garantice que la planta de tratamiento esté funcionando

adecuadamente, se debe invertir en capacitación técnica y operativa. Del total de plantas que se evaluaron, un 20% está invirtiendo en la capacitación del personal.

AREA “E”: DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS

La disposición final de los residuos de una planta de tratamiento es importante, dado que sin importar el tipo de tratamiento, siempre se formarán residuos sólidos (por lo general), residuos gaseosos (en caso de tratamientos anaeróbicos) y se obtendrá un efluente líquido tratado. En esta área se evalúa la disposición de dichos residuos, el resumen se presenta en la tabla 5.8.

Tabla 5.8 Resumen de Evaluación Área E de Lista de Verificación.

No.	Factores	SI	NO
1	¿Existe un plan sobre la disposición final segura de los residuos sólidos?	2	8
2	¿Existe un plan sobre la disposición final segura de los residuos gaseosos (en caso de haberlos)?	1	9
3	¿Existe utilización ó comercialización de residuos?	1	9
4	¿Se da tratamiento a los residuos previo a su utilización o comercialización?	1	9
5	¿Existe alguna utilización del agua de la fuente receptora aguas abajo del punto de descarga del efluente de la planta de tratamiento?	5	5



Figura 5.31 Análisis Ítem 1 Área E. Lista de Verificación.

De acuerdo a lo presentado en la figura 5.31, en un 20% de las plantas de tratamiento evaluadas existe un plan de disposición final definido, en el 80% restante; en unos casos se deja la disposición final a la empresa encargada del mantenimiento y limpieza, y en otros casos lo que se ha observado es que los lodos son acumulados en patios de secado y no se tiene certeza de qué se hace con ellos, al parecer la solución a esta problemática se resuelve eventualmente cuando se presenta. En algunos casos los residuos sólidos se envían a rellenos sanitarios como medidas de disposición final, y en otros son enterrados. Respecto de las grasas, éstas son enterradas en pequeños pozos que se cavan en las inmediaciones de las instalaciones de la planta de

tratamiento. Los sólidos gruesos son tratados como basura convencional. En algunas plantas el plan de disposición final de residuos sólidos es hasta cierto punto incompleto porque se enfoca únicamente en la disposición de los lodos (por ser los de mayor volumen).

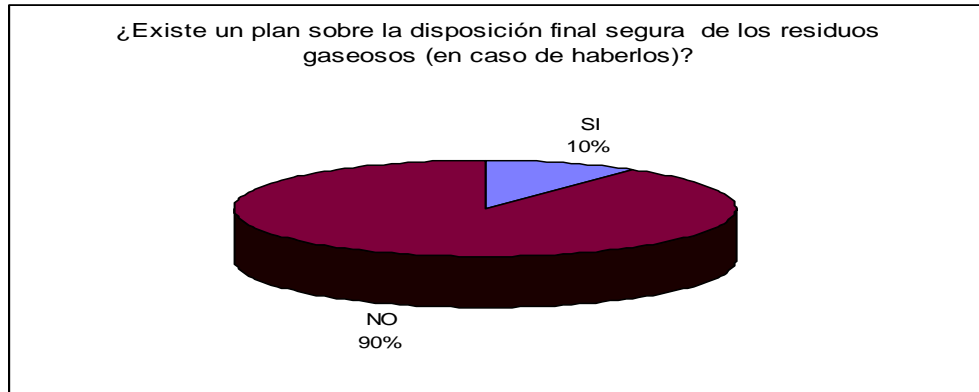


Figura 5.32 Análisis Ítem 2 Área E. Lista de Verificación.

No todas las plantas visitadas producen gas, solamente un 10% de las PTAROD posee un plan de disposición final de los residuos gaseosos, el gas se recolecta y finalmente es quemado previo a su liberación a la atmósfera, el 90% de las plantas restantes o bien no poseen etapas de producción de residuos gaseosos, o las que poseen de este tipo de etapas no dan importancia a la disposición final del mismo, es por ello que el gas es liberado directamente al ambiente, contribuyendo de esta manera al efecto invernadero que tanto está afectando actualmente al mundo entero. Los resultados del análisis sobre la disposición final segura de residuos gaseosos en las plantas de tratamiento evaluadas se presentan en la figura 5.32.

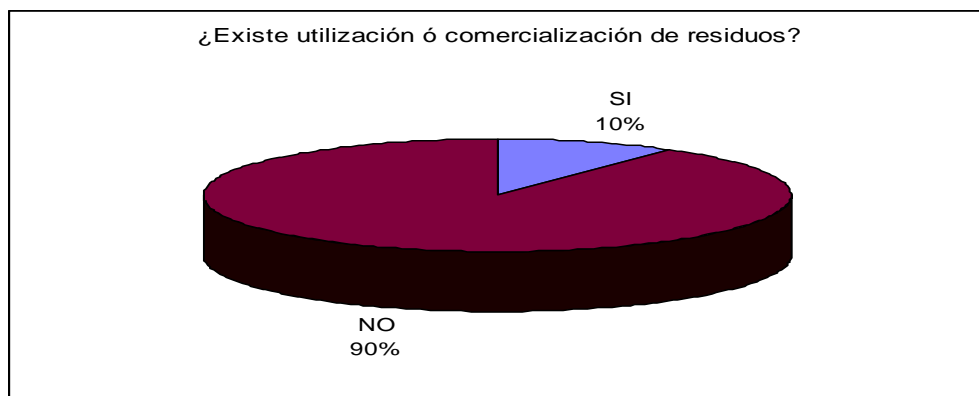


Figura 5.33 Análisis Ítem 3 Área E. Lista de Verificación.

En cuanto a la comercialización de los subproductos generados, tan sólo en un 10% de las plantas de tratamiento se comercializa el lodo obtenido del proceso depurador de la planta, para inoculación de reactores, razón por la cual las cantidades que se venden en comparación con lo

producido son muy pequeñas. En el restante 90% los residuos no se comercializan ni se utilizan para ningún tipo de actividad. Los resultados de este análisis se presentan en la figura 5.33.

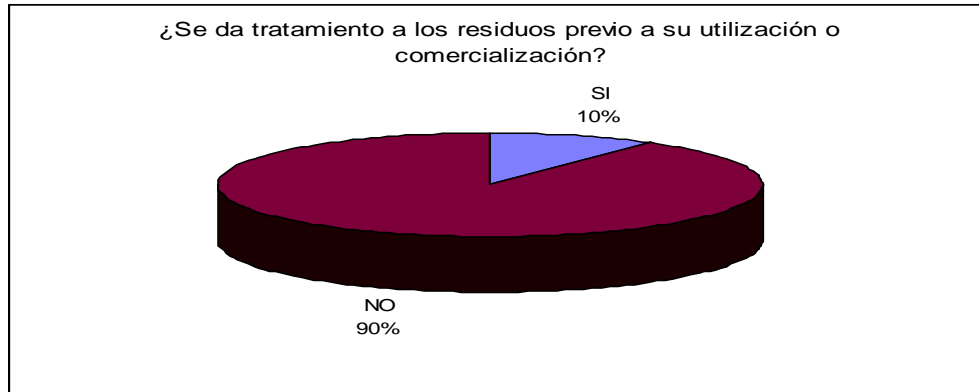


Figura 5.34 Análisis Ítem 4 Área E. Lista de Verificación.

Del total de plantas de tratamiento evaluadas, el 10% da tratamiento previo a su comercialización, ya que sólo este porcentaje comercializa parte de sus residuos. La reutilización y comercialización de los residuos generados por una planta de tratamiento es una alternativa para recuperar la inversión en el proceso, debe tenerse en cuenta los costos de las MARP (Materiales Residuales de Producción); que es todo aquello que se invierte y que no termina en el producto final (agua residual tratada) pero que igual absorbe costos y termina como un residuo. Al dar una disposición final segura, los costos de inversión en los residuos se incrementan. Siendo una muy buena alternativa de tener ingresos la comercialización de los residuos generados por la planta misma.



Figura 5.35 Análisis Ítem 5 Área E. Lista de Verificación.

En cuanto a la utilización del agua de la fuente receptora del efluente de la planta de tratamiento, un 50% de las plantas evaluadas tienen conocimiento de la utilización de la misma; en algunos

casos para ganado y en otros para agricultura. El 50% restante no tiene conocimiento de la utilización del efluente aguas abajo del punto de descarga (Ver figura 5.35).

AREA “F”: FACTORES EXTERNOS DE IMPORTANCIA

La consideración de factores externos a la planta de tratamiento, aunque parezca no tener importancia, un análisis más profundo puede demostrar que la influencia que éstos tienen sobre la eficiencia de los tratamientos en la planta de tratamiento de agua residual puede ser muy grande. Por esta razón se han considerado algunos de los factores, que se presentan comúnmente. El resumen de la evaluación de ésta área se muestra en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Resumen de Evaluación Área F de Lista de Verificación.

No.	Factores	SI	NO	ALTO	MEDIO	BAJO
1	¿Las tuberías de aguas domésticas se unen con las de aguas lluvias (Son alcantarillados Unitarios)?	0	10			
2	¿En temporada lluviosa surgen problemas en el proceso de tratamiento y en el caudal de entrada?	5	5			
3	¿En temporada seca surgen inconvenientes respecto al flujo que entra a la planta?	3	7			
4	¿Existe alguna actividad agrícola ó agropecuaria cercana a la planta?	3	7			
5	¿Hay talleres ó algún tipo de actividad industrial ó semi-industrial dentro de la comunidad?	1	9			
6	¿Considera la existencia de un sistema de recolección de Basura Adecuado (en la comunidad)?	7	3			
7	¿Se promueve la generación de promontorios de basura al aire libre?	2	8			
8	¿Las condiciones medioambientales próximas a la localidad de la planta de tratamiento son aceptables? ¿En qué nivel?	10	0	3	6	1

La figura 5.36 indica que de todas las plantas evaluadas, en ninguna de las comunidades se tienen sistemas de alcantarillados unitarios, pero si poseen un sistema de alcantarillado individual para aguas lluvias y para aguas de origen doméstico.

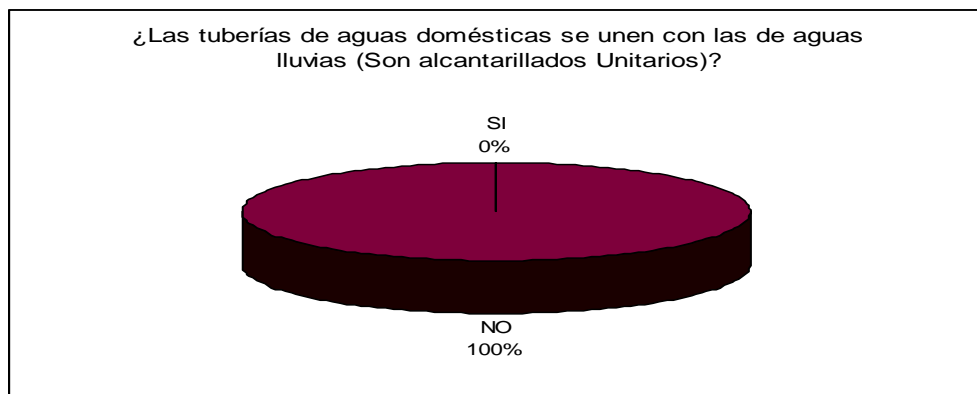


Figura 5.36 Análisis Ítem 1 Área F. Lista de Verificación.

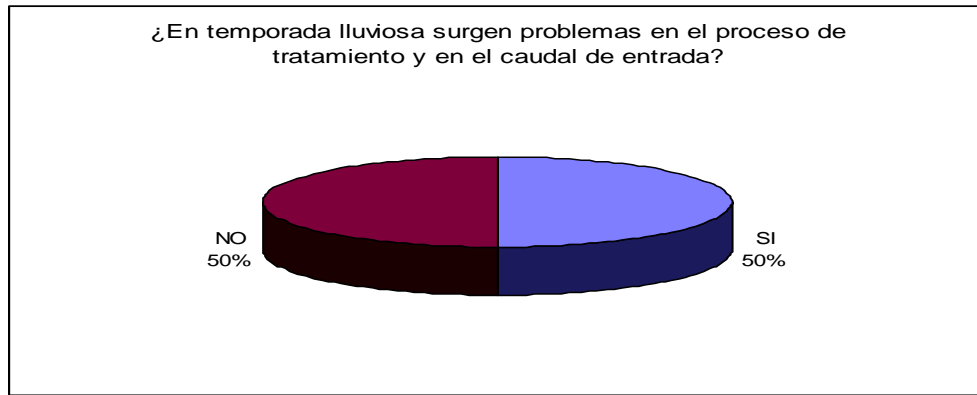


Figura 5.37 Análisis Ítem 2 Área F. Lista de Verificación.

Durante la temporada lluviosa, tienden a surgir ciertos problemas, como por ejemplo, el desbordamiento de agua en los desarenadores, sedimentadores, y otros equipos de la planta. Otro de los problemas identificados son los sólidos que la lluvia arrastra.

De acuerdo a las Plantas evaluadas, el 50% de ellas han presentado en más de una ocasión este tipo de problemas. El 50% restante no tiene problemas durante las temporadas lluviosas (ver figura 5.37).



Figura 5.38 Análisis Ítem 3 Área F. Lista de Verificación.

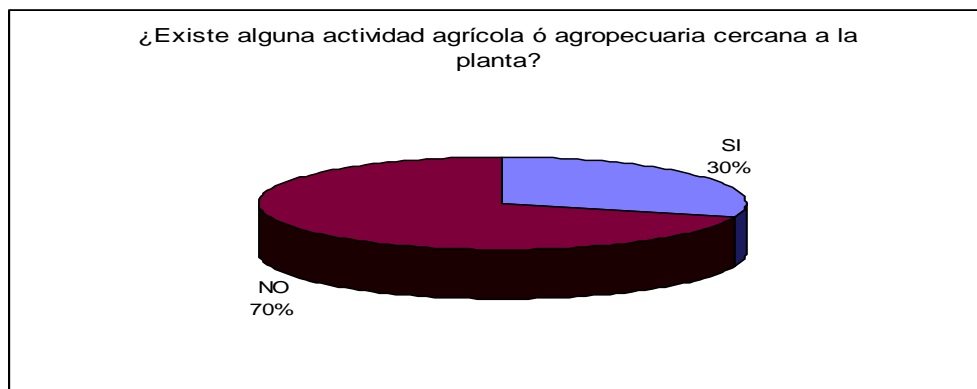


Figura 5.39 Análisis Ítem 4 Área F. Lista de Verificación.

Durante las temporadas secas en el país, algunas de las plantas de tratamiento; las que representan un 30% del total de plantas evaluadas han mostrado inconvenientes, debido a que el flujo del agua se ve disminuido y hasta cierto punto segado, debido a problemas en el sistema de abastecimiento de agua potable, los resultados se indican en la figura 5.38.

Cercano a las actividades de la planta de tratamiento (que representan el 30% del total de PTAROD evaluadas) existen actividades agrícolas que podrían representar un potencial contaminante en caso de que se utilice algún tipo de pesticida ó fungicida que afecte al proceso de tratamiento, y que puede llegar a contaminar alguna de las líneas de flujo dentro de la planta, ó en las líneas de flujo de aguas residuales a través de escorrentías, u otra forma de flujo superficial. La figura 5.39 resume este resultado.



Figura 5.40 Análisis Ítem 5 Área F. Lista de Verificación.

La figura 5.40 indica que en el 90% de las PTAROD no se observaron talleres o algún tipo de actividad industrial dentro de la comunidad que pudiese afectar el proceso depurador del agua residual.

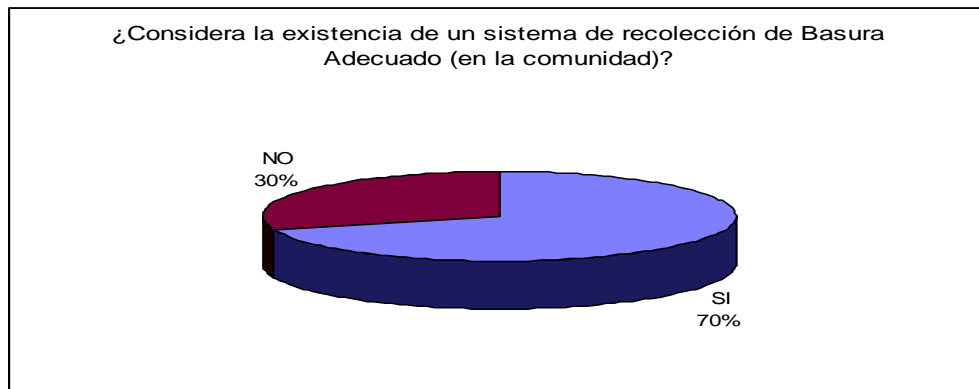


Figura 5.41 Análisis Ítem 6 Área F. Lista de Verificación.

Según la figura 5.41 y de acuerdo a lo evaluado en un 70% de las PTAROD, existe un sistema de recolección de basura adecuado, en el 30% restante el sistema de recolección de basura funciona deficientemente, dado que se promueven los promontorios de basura, y de acuerdo a lo presentado en la figura 5.42 en un 20% de las PTAROD evaluadas, estos promontorios de basura están al aire libre. En el 80% restante, además de poseer un buen sistema de recolección de basura, los basureros poseen tapaderas que impiden que los promontorios de basura se contaminen con agua en período de lluvias, así como también disminuye los niveles de percepción de olores en las inmediaciones.

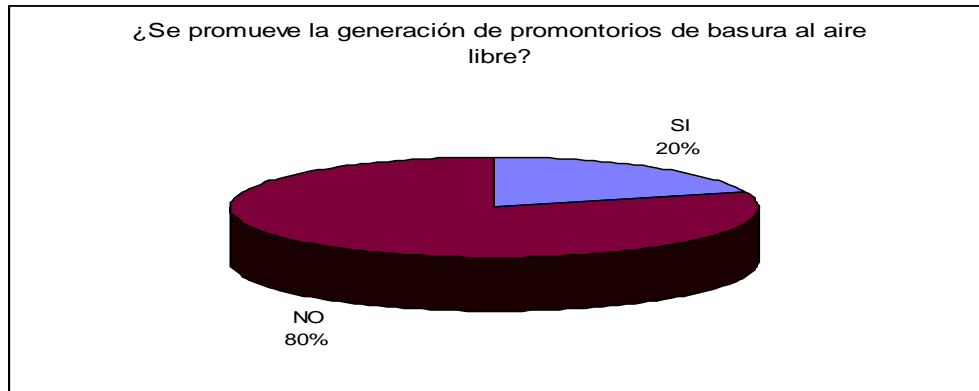


Figura 5.42 Análisis Ítem 7 Área F. Lista de Verificación.

Los promontorios al aire libre son fuentes potenciales de contaminación de los efluentes domésticos, los cuales van a la planta de tratamiento y finalmente dicha contaminación afectan la eficiencia del proceso, en especial si se están aplicando tratamientos biológicos.

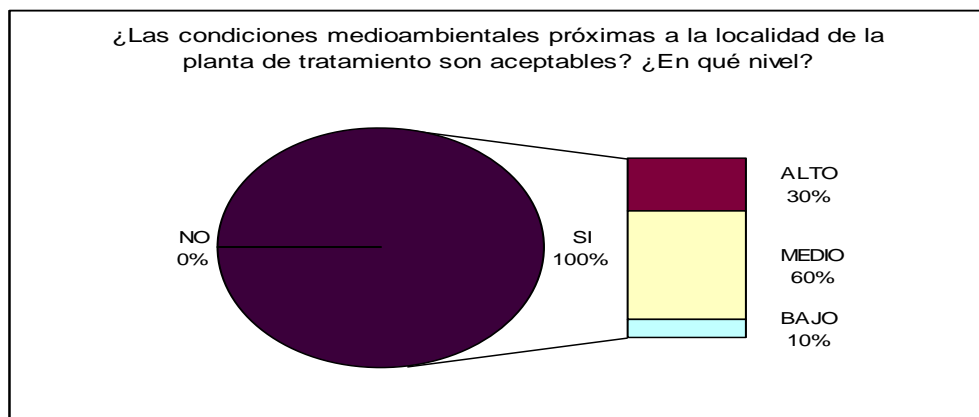


Figura 5.43 Análisis Ítem 8 Área F. Lista de Verificación.

En general las condiciones ambientales alrededor de la planta de tratamiento pueden considerarse aceptables, en tres diferentes niveles. El 30% del total de plantas evaluadas se encuentran en un nivel alto; dado que las condiciones del medio ambiente son bastante buenas, indicando que el

efluente descargado cumple con las concentraciones establecidas. Un 60% se encuentran en un nivel medio; lo que indica que el tratamiento aplicado al agua residual no es eficiente en su totalidad. El 10% restante presenta condiciones aceptables pero en un nivel bajo, ya que la vegetación en el punto de descarga se encuentra notoriamente alterada.

Las condiciones medio ambientales en los alrededores de la PTAROD son un indicador de los niveles de contaminación en la descarga del efluente y por ende de la eficiencia del tratamiento. Es necesario realizar un estudio más detallado, para evaluar si a lo largo del tiempo ha ocurrido un deterioro de tipo lento que no se observó en el momento en que se realizó la presente evaluación.

AREA “G”: COMENTARIOS DE HABITANTES DE LA COMUNIDAD

Se ha considerado evaluar un área que comprenda los comentarios de la comunidad a la que da servicio la planta de tratamiento, esto con la finalidad de identificar problemas que la planta misma esté generando, y que afectan directamente a la población. La tabla 5.10 presenta los factores evaluados.

Tabla 5.10 Resumen de Evaluación Área G de Lista de Verificación.

No.	Factores	SI	NO
1	¿Existen quejas de la población referente a la generación de malos olores?	2	8
2	¿Existen quejas de la población referente a la ubicación de la planta?	2	8
3	¿Existen quejas sobre la generación de alguna plaga (moscas, mosquitos, insectos, ranas, etc.)?	0	10

Las figuras de la 5.44 a la 5.46 contienen los análisis de los ítems correspondientes para la evaluación de los comentarios que los habitantes de la comunidad tienen referente a las plantas de tratamiento que están proporcionando el servicio de depuración de los efluentes domésticos generados.

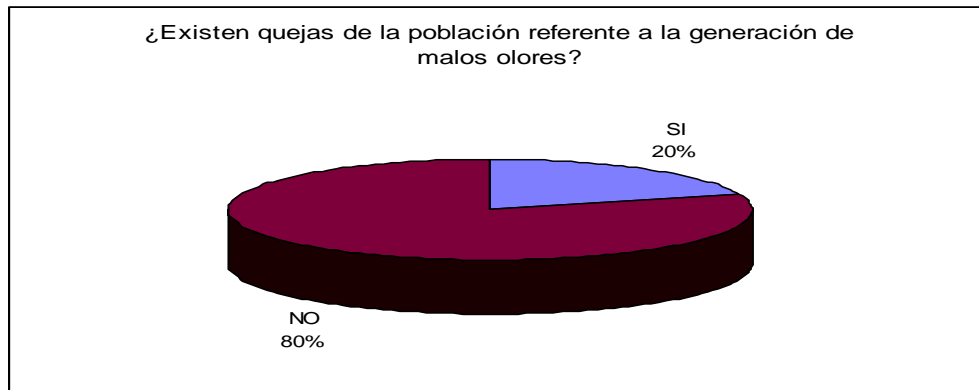


Figura 5.44 Análisis Ítem 1 Área G. Lista de Verificación.

La figura 5.44 indica que en un 20% de las plantas de tratamiento evaluadas; las personas se han quejado por la generación de malos olores. Esto coincide con los resultados que se presentan en la figura 5.45; la cual corresponde a las quejas por la cercanía de las instalaciones de las plantas de tratamiento a la comunidad.

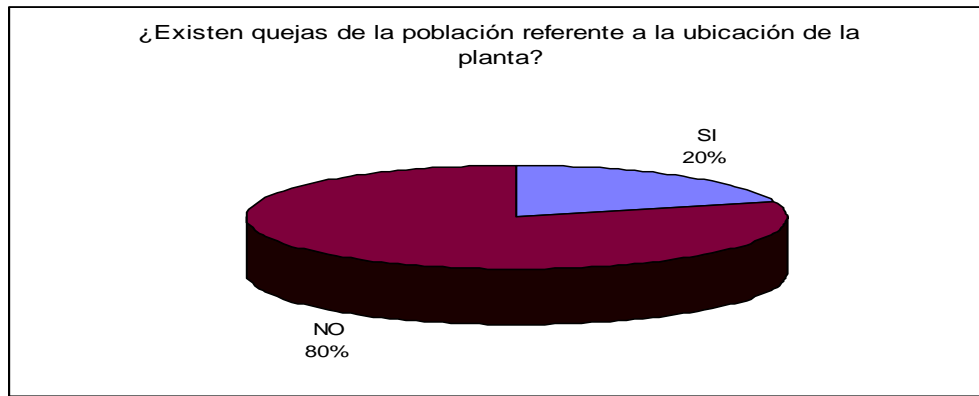


Figura 5.45 Análisis Ítem 2 Área G. Lista de Verificación.

Finalmente la figura 5.46 se muestra que en el 20% de las PTAROD, la comunidad ha presentado quejas por la generación de plagas. Este aspecto es muy importante, debido a que una planta de tratamiento que sea un foco de generación de plagas, representa un gran peligro para la población cercana. Debe tenerse un gran control en cada una de las etapas e instalación en general de la planta, para evitar que surjan problemas como estos.

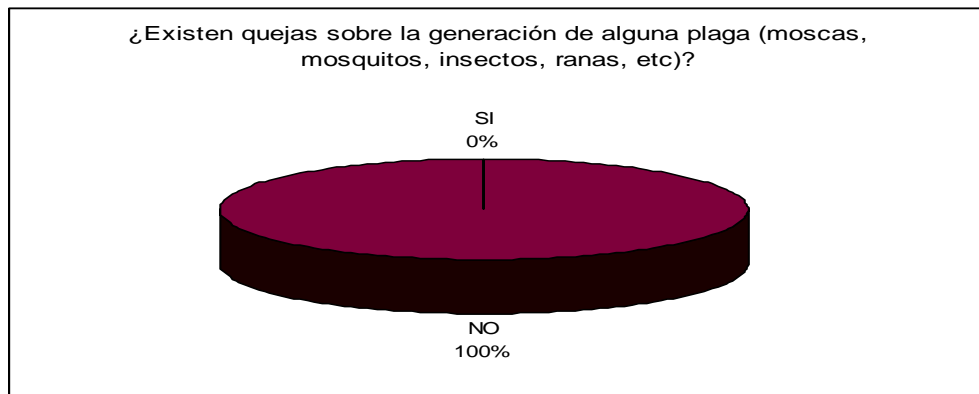


Figura 5.46 Análisis Ítem 3 Área G. Lista de Verificación.

5.1.1.2.1 TOTAL DE AREAS EVALUADAS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

Se realizó el análisis global de las plantas de tratamiento, el cual incluye los análisis de las áreas que ya han sido abordadas en detalle. El análisis se basará en determinar de acuerdo a las puntuaciones obtenidas en la lista de verificación, el estado actual de las plantas de tratamiento. La tabla 5.11 presenta las clases (que describen el estado actual de las plantas) de acuerdo a la

puntuación de la lista de verificación y la tabla 5.12, los resultados de cada planta evaluada, las puntuaciones obtenidas se muestran en la figura 5.47.

Tabla 5.11 Clases de Plantas de Tratamiento de Acuerdo a Resultados del Análisis de la Lista de Verificación.

Puntuación	Clase	Explicación de Clase
0-20	E	Planta funcionando con deficiencias muy altas.
20-40	D	Planta funcionando con deficiencias considerablemente.
40-60	C	Planta funcionando con bastantes aspectos por mejorar.
60-80	B	Planta funcionando adecuadamente, con potenciales de mejora no aprovechados.
80-90	A	Planta funcionando de manera excelente y aprovechando sus potenciales de mejora.

Tabla 5.12 Resultados de Lista de Verificación.

PTAROD	% Puntuación	Clasificación
1	38.20	C
2	38.20	C
3	62.33	B
4	49.46	C
5	64.31	B
6	77.09	B
7	76.88	B
8	53.79	C
9	52.31	C
10	56.33	C

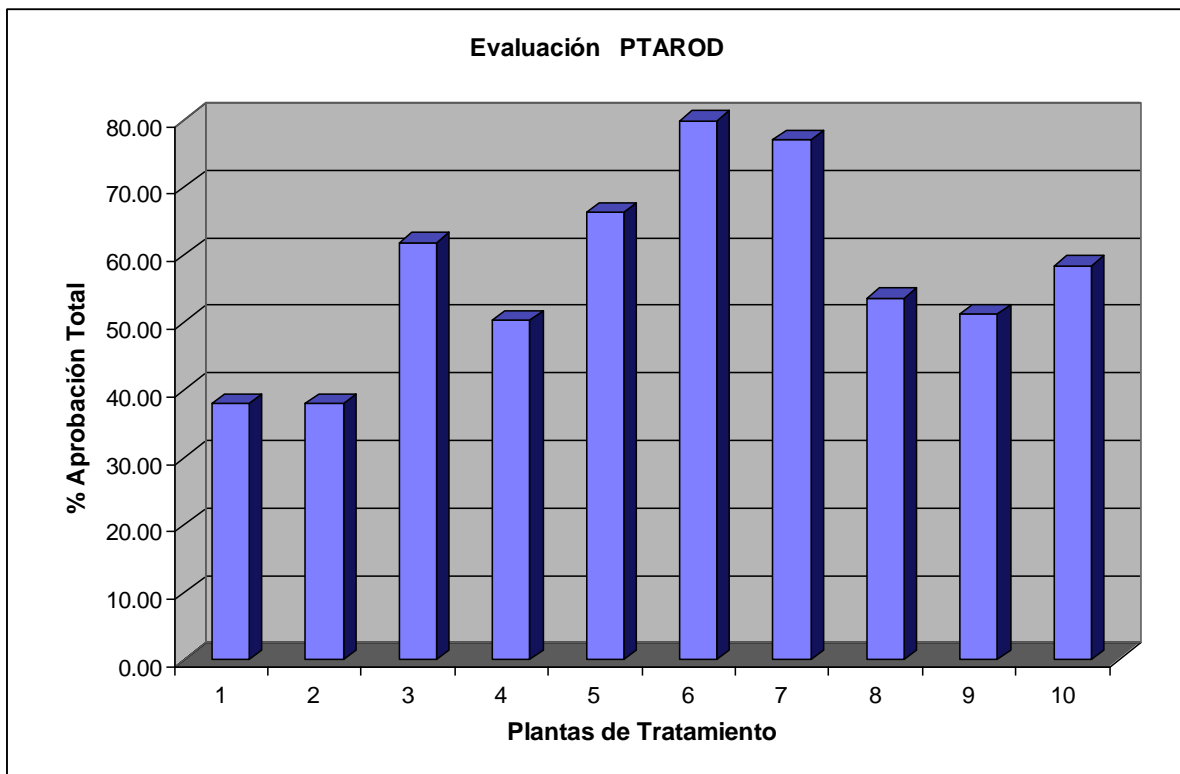


Figura 5.47 Evaluación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Origen Domésticos. Lista de Verificación.

Los resultados obtenidos indican que las plantas con mayor puntaje son la Planta 6 (RAFA Y Filtro Anaeróbico) y la Planta 7 (Sedimentación y Filtro Percolador).

La evaluación cualitativa de las plantas de tratamiento refleja como resultado la existencia de plantas que funcionan en un 60% con aspectos por mejorar y en un 40% adecuadamente. A nivel cualitativo las plantas de tratamiento están funcionando adecuadamente, sin embargo existen potenciales de mejora que no se están aprovechando.

Debe aclararse que el presente análisis utilizando la lista de verificación que se presenta en este estudio, cumple con las necesidades del mismo. Y que para términos de realización de un estudio más detallado que arroje resultados más profundos, dicha lista no es recomendable para su aplicación. La finalidad de la lista de verificación es lanzar un resultado ligero sobre la forma de administración y funcionamiento de la planta de tratamiento a nivel cualitativo. Por lo que los resultados presentados no deberían ser utilizados para realizar algún tipo de auditoria a las plantas de tratamiento, para ello se recomienda la elaboración de herramientas que profundicen más en los aspectos concernientes al funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico.

Los resultados de un análisis de este tipo deben complementarse con las evaluaciones de las características fisicoquímicas del agua residual, las cuales son recomendables realizarlas varias veces a fin de tener resultados más precisos y por tanto más representativos de la realidad.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE PTAROD.

Como ya se mencionó en capítulos anteriores la caracterización del efluente es el principal indicador del tipo de tratamiento que el efluente necesita, por lo que es imprescindible conocer las técnicas de muestreo y los parámetros que se deben analizar en los efluentes de origen doméstico para el desarrollo de sistemas de Tratamiento competentes.

El muestreo y análisis de control de calidad de las aguas residuales domésticas que ingresan y salen de los Sistemas de Tratamiento, son una herramienta de gran utilidad para la evaluación del funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ya que permiten calcular las eficiencias en los procesos de depuración y remoción de la materia orgánica y de otros componentes en dichos efluentes. El riesgo de contaminación tanto a nivel humano como ambiental hace necesario el control de la presencia de microorganismos en el agua. Determinar el tipo de microorganismos presentes y su concentración en el efluente descargado al cuerpo

receptor indican la eficiencia de los tratamientos aplicados, y por ende la toma de decisiones en relación al control de los vertidos, contribuyendo en la conservación de ecosistemas.

5.2.1 Parámetros de Evaluación

Los parámetros de evaluación de las muestras están clasificadas en Microbiológicos y Fisicoquímicos, ambos proporcionan la calidad del agua ya sea para consumo humano como para el reuso en otras actividades, además tienen como función principal regular el vertido de los mismos en cuerpos receptores (ríos, lagos, etc.). Los parámetros que se analizarán a las muestras de agua; tomadas de las Plantas de Tratamiento visitadas, en el presente estudio, serán las que exige la *Norma para Aguas Residuales de Tipo Ordinario Descargadas a un Cuerpo Receptor (NSO 13.49.01:06)*, estos son: DQO, DBO₅, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Aceites y grasas. Estos parámetros se describieron en la sección 1.4 del Capítulo 1 de este documento. Estos resultados indican el mal o buen funcionamiento de los procesos en el Sistema de Tratamiento aplicado, permitiendo analizar las posibles causas y las acciones que se deben considerar para minimizar las concentraciones obtenidas.

5.2.2 Técnicas de Muestreo¹⁹

Para la evaluación de los parámetros, es necesario determinar la técnica de muestreo idónea a la información que se requiere obtener respecto a los efluentes líquidos de origen doméstico y los métodos de análisis correspondientes.

Las muestras de agua pueden ser simples, compuestas en continuo e integradas.

- La *muestra simple* proporciona información sobre la calidad en un punto y momento dado (Ver figura 5.10).
- La *muestra compuesta* se estructura con varias alícuotas espaciadas temporalmente (con frecuencias variables: minutos, horas, días) que se adicionan al mismo recipiente. Este tipo de muestras se aplica, por ejemplo, en el seguimiento de vertidos industriales cuya calidad puede variar mucho a lo largo de una jornada de trabajo.
- Las *muestras en continuo* son imprescindibles en procesos a escala industrial, por ejemplo, la determinación de cloro residual libre en el agua potable a la salida de una potabilizadora.

¹⁹ T.H.Y. Tebbutt. Fundamentos de control de la calidad del agua.3ª. Ed, México D.F. , Editorial Limusa.2002

- Las *muestras integradas* en el tiempo se obtienen con bombeo a un flujo continuo de muestra que se adiciona en el mismo recipiente.

En este estudio se aplica la técnica de muestreo simple o puntual ya que el interés es conocer la eficiencia de los procesos de tratamiento en las Plantas, analizando los resultados del efluente respecto a los límites máximos permitidos basados en la Norma correspondiente.

5.2.2.1 Métodos Analíticos

Los análisis de la calidad del agua residual se basan en principios analíticos relativamente directos. Los análisis cuantitativos se efectúan por métodos gravimétricos, volumétricos o colorimétricos.

- *Análisis Gravimétricos:*

Estos análisis dependen del peso de los sólidos que se obtienen de la muestra por: Evaporación, filtración o precipitación. Debido a que los pesos son pequeños, se requiere de equipo sensible, tal es el caso de la balanza cuya precisión debe ser de 0.0001g, además un horno de secado para eliminar toda la humedad de la muestra. Debido a estas consideraciones, estos análisis no son adecuados para efectuar pruebas in situ.

Los análisis gravimétricos determinan:

1. *Sólidos Totales y Volátiles:* Un volumen conocido de la muestra se vacía en un platillo de níquel previamente pesado; se evapora en baño maría, 103°C para aguas residuales y a 180°C para aguas potables, y se pesa nuevamente. La diferencia del peso del platillo y la muestra con el nuevo peso representa la cantidad de sólidos Totales. La pérdida de peso al calcinar a 500°C representa los sólidos volátiles.
2. *Sólidos en Suspensión (SS):* Se filtra al vacío un volumen conocido de la muestra con un papel de fibra de vidrio previamente pesado (Whatman GF/C) con un tamaño de poro de 0.45µm. Los SS totales están dados por el aumento del peso después del secado a 103°C, y los SS volátiles son aquellos que se pierden al calcinar a 500°C.
3. *Sulfato:* Las concentraciones de sulfato mayores de 10 mg/l se determinan al precipitar sulfato de bario después de agregar cloruro de bario. El precipitado se filtra de la muestra, se seca y se pesa.

- *Análisis Volumétricos:*

A través de este tipo de análisis pueden desarrollarse con mayor rapidez y exactitud muchas determinaciones en el control de la calidad del agua. Esta técnica depende de la medición de volúmenes de un reactivo líquido de concentración conocida.

Los elementos (Equipo y reactivos) necesarios para realizar estos análisis son:

1. Pipeta para transferir un volumen conocido de la muestra a un matraz cónico.
2. Solución Estándar de reactivo apropiada. Conviene hacer la concentración de la solución estándar para que 1 ml de la solución sea químicamente equivalente a 1 mg de la sustancia bajo análisis.
3. Un indicador para determinar el punto final de la reacción. Estos pueden ser electrométricos, de ácido - base, de precipitación, de absorción y de oxidación - reducción.
4. Bureta graduada para la medición exacta del volumen de solución estándar necesario para alcanzar el punto final.

Se utilizan en la determinación de: Alcalinidad y acidez, cloruros y DQO.

- *Análisis Colorimétricos*

Son apropiados cuando se trata de bajas concentraciones, existen muchas determinaciones en el control de la calidad del agua que se pueden efectuar rápida y fácilmente con esta forma de análisis.

Para ser cuantitativo, un método colorimétrico debe basarse en la formación de un producto completamente soluble con un color estable. La solución coloreada debe reaccionar en la forma indicada en las siguientes leyes:

1. *Ley de Beer:* la absorción de la luz aumenta exponencialmente con la concentración de la solución absorbente.
2. *Ley de Lambert:* La absorción de la luz aumenta exponencialmente con la longitud de la trayectoria de la luz.

En la tabla 5.12, se muestran los métodos utilizados para el análisis de los parámetros en Aguas Residuales.

Tabla 5.13 Métodos de Análisis de Aguas Residuales

Parámetros Analizados	Método
DQO: Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	APHA-AWWA-WEF-5220B
DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	APHA-AWWA-WEF-5210B
Sólidos Sedimentables (ml/l)	APHA-AWWA-WEF-2540F
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	APHA-AWWA-WEF-2540D
Aceites y Grasas (mg/l)	APHA-AWWA-WEF-5520D

mg/l: miligramos por litro, ml/l: mililitros por litro.

AWWA: American Water Works Association.

WEF: Water Environment Federation.

APHA-: American Public Health Association.

*Standard Methods for the examination of water and wastewater 20th Edition.

5.2.3 Toma de muestras²⁰

El objetivo de la toma de muestra es recoger una cantidad de agua residual suficientemente pequeña como para ser fácilmente transportada al Laboratorio de Análisis para su investigación. La muestra debe ser homogénea y representativa de las características medias del total del área muestreada. Esto supone que la concentración de cualquier componente en la muestra será idéntica (o razonablemente idéntica) a la existente en la masa global.

5.2.3.1 Procedimiento de Toma de Muestra

La veracidad de los resultados obtenidos, en los análisis realizados al efluente de la PTAROD depende de varios factores, entre ellos la toma de muestra, por lo que es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Colocarse el equipo protector de seguridad operacional: gabacha, botas de hule, guantes, mascarilla.
2. Utilizar envases color ámbar de un galón de capacidad (ver figura 5.49)
3. Enjuagar el envase previamente con la misma agua a muestrear. Teniendo el cuidado de no depositar el agua de enjuague sobre el punto de muestreo, (ver figura 5.50)
4. Evitar tocar las paredes y fondo, impidiendo el arrastre de sólidos no representativos,
5. Llenar el envase evitando en lo posible la acumulación de oxígeno en su interior, dejando para ello rebasar por al menos 1 minuto la capacidad del mismo. (ver figura 5.51)
6. Enjuagar el tapón del envase con la misma agua a muestrear, tapar y etiquetar colocando la siguiente información:

²⁰ T.H.Y. Tebbutt. Fundamentos de control de la calidad del agua.3ª. Ed, México D.F. , Editorial Limusa.2002.

- ✓ Fecha y hora de realización de la toma de muestra.
 - ✓ Número de la muestra.
 - ✓ Nombre de la persona que ha hecho la toma de la muestra.
 - ✓ Lugar de la toma de muestra.
7. Refrigerar a 4°C, hasta su recepción en el Laboratorio respectivo.



Figura 5.48 *Planta de Tratamiento Sedimentador y Filtro Percolador. Toma de muestra puntual del efluente*



Figura 5.49 *Implementos Utilizados en la Toma de Muestra*



Figura 5.50 *Enjuague del Envase Previo a la Toma de Muestra*



Figura 5.51 *Rebose del Envase Antes de Taparlo*

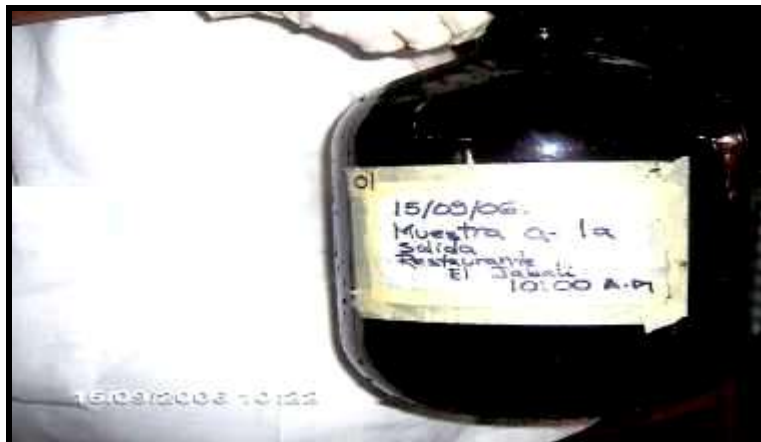


Figura 5.52 *Identificación de la Muestra*
Fuente Propia: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia.

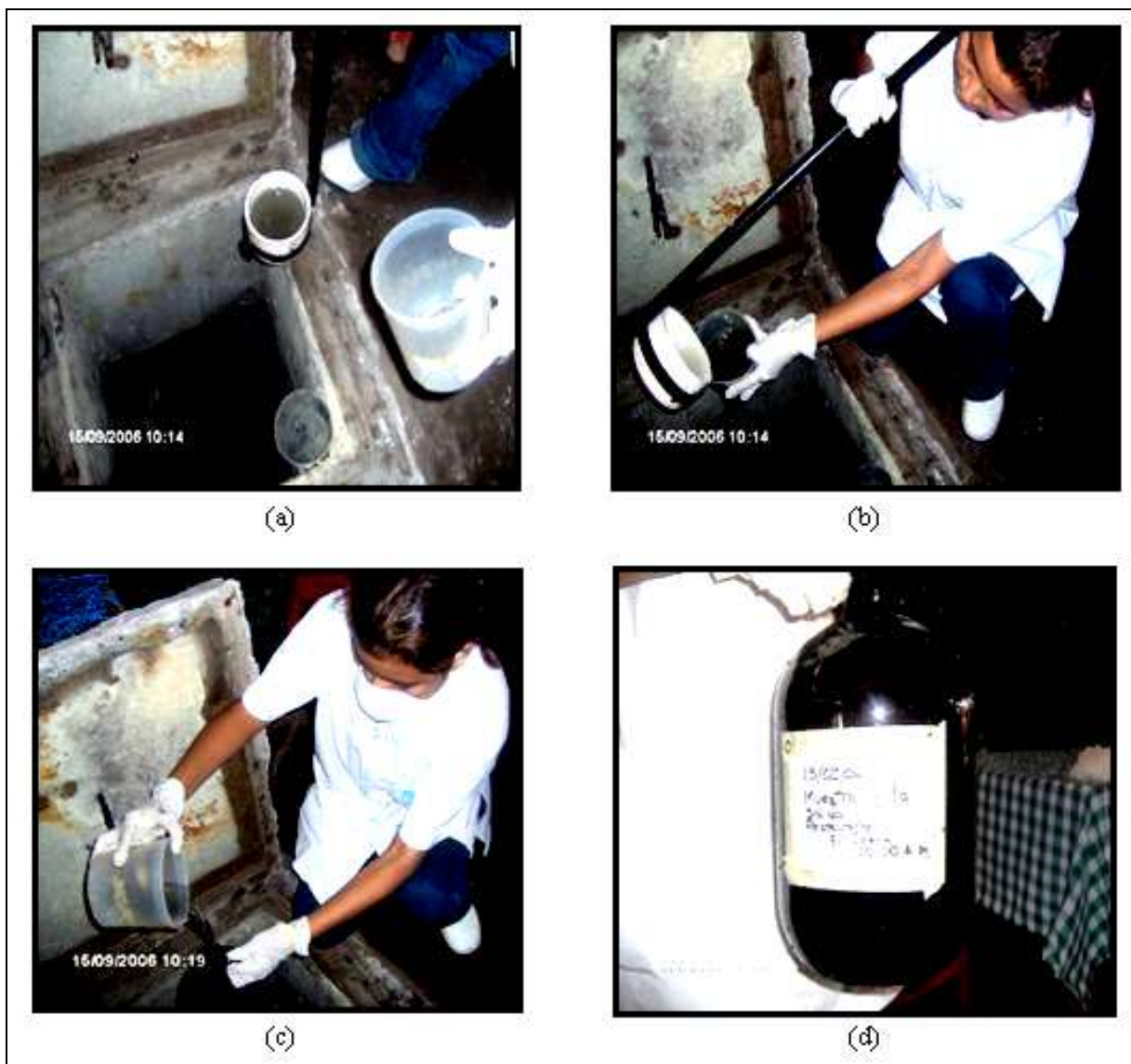


Figura 5.53 *Proceso de Extracción de Muestra. (a) Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente. (b) Extracción de la muestras. (c) Rebose del envase para evitar acumulación de aire. (d) Identificación de la Muestras.*
 Fuente Propia: Barrera, Héctor y Ramos Dalia

5.2.4 Resultados de Análisis Físicoquímicos de los efluentes de las PTAROD

Los Análisis de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residual de Origen Doméstico fueron realizados por el CCCI (Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V.), Laboratorio acreditado bajo la Norma ISO/IEC 17025, y a través de los investigadores. Los parámetros evaluados fueron Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Sedimentables (Ssed), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y; Aceites y Grasas (A&G). Los resultados del análisis se presentan en la tabla 5.14.

Tabla 5.14 Resultados de Análisis de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento Evaluadas.

No.	Planta de Tratamiento	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Ssed (ml/l)	SST (mg/l)	A&G (mg/l)
1	Planta 1	112	78	6	90	0.0465
2	Planta 2	118	82	0	110	0.0577
3	Planta 3	140	80	0.4	80	0.1200
4	Planta 4	162	64	0.9	46	0.044
5	Planta 5	149	65	1.5	42	0.017
6	Planta 6	130	56	0.3	70.5	5.300
7	Planta 7	140	45	0.5	62	2.600
8	Planta 8	198	91	2	52	12.000
9	Planta 9	172	120	3.5	100	0.028
10	Planta 10	182	127	0.1	120	0.049

Fuentes: Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V.
Barrera, Héctor y Ramos Dalia

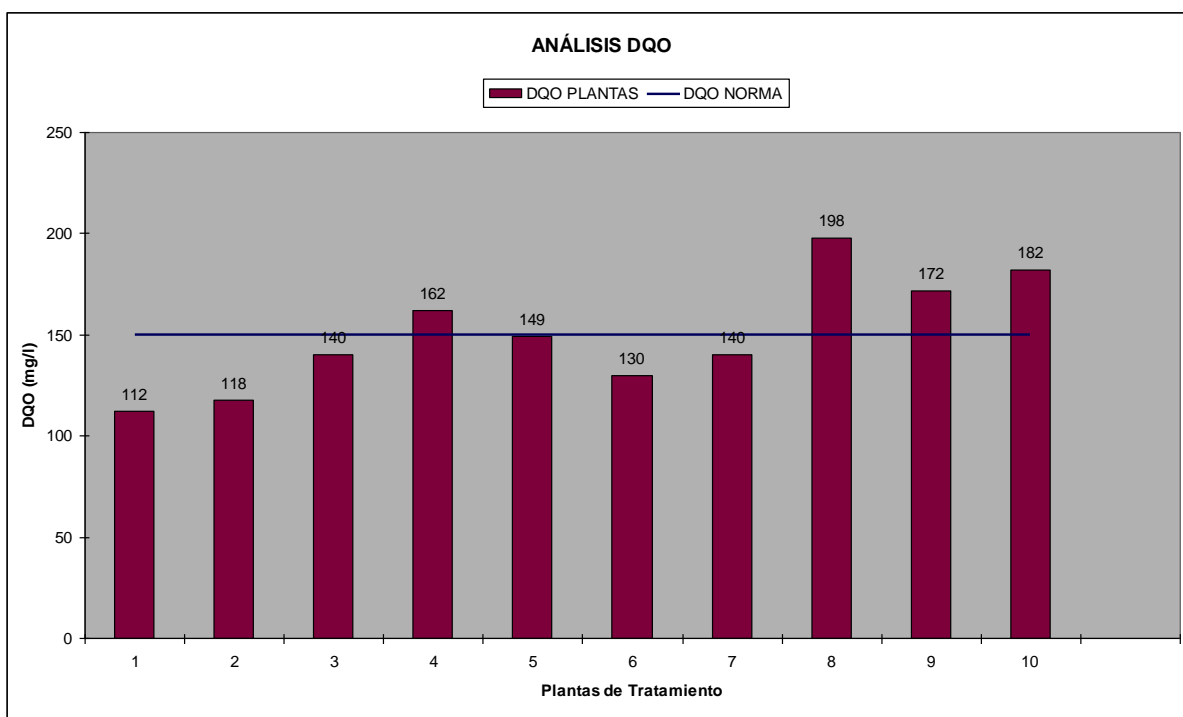


Figura 5.54 Análisis de DQO en los efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación

En las figuras 5.54 a 5.58 se presentan las gráficas correspondientes al comportamiento de las concentraciones de cada uno de los parámetros de calidad del efluente en las Plantas de Tratamiento en Evaluación, en comparación con los valores que exige la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales; los cuales se identifican como una línea horizontal constante de color azul.

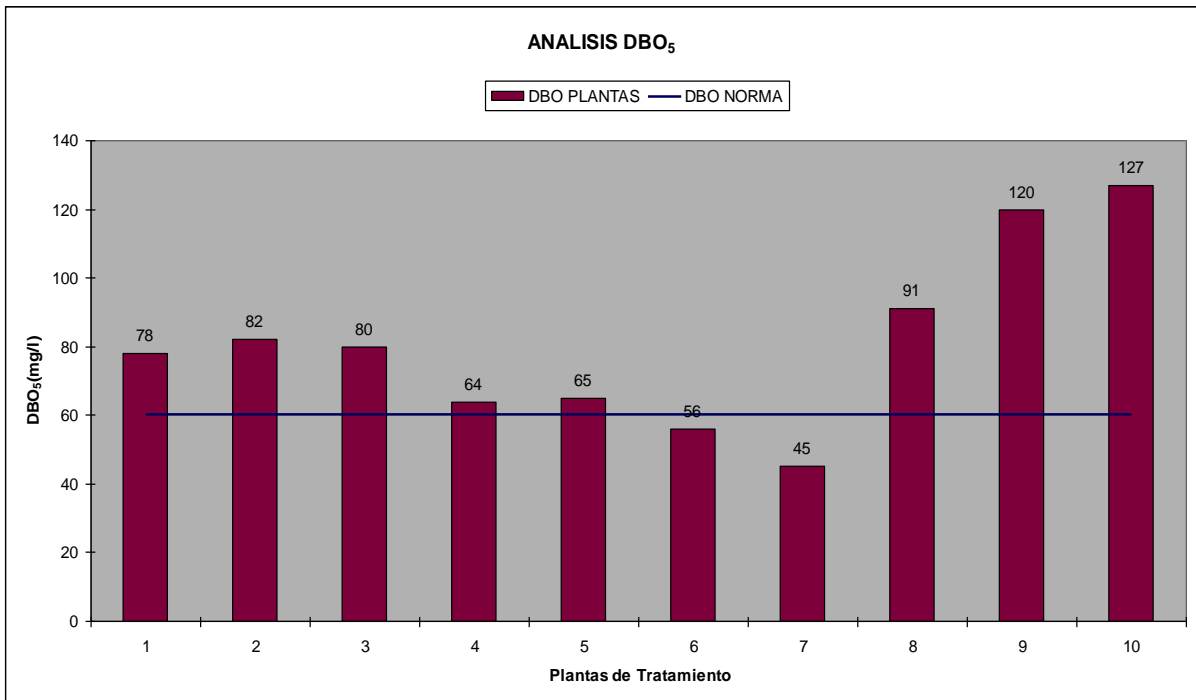


Figura 5.55 Análisis DBO₅ en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación

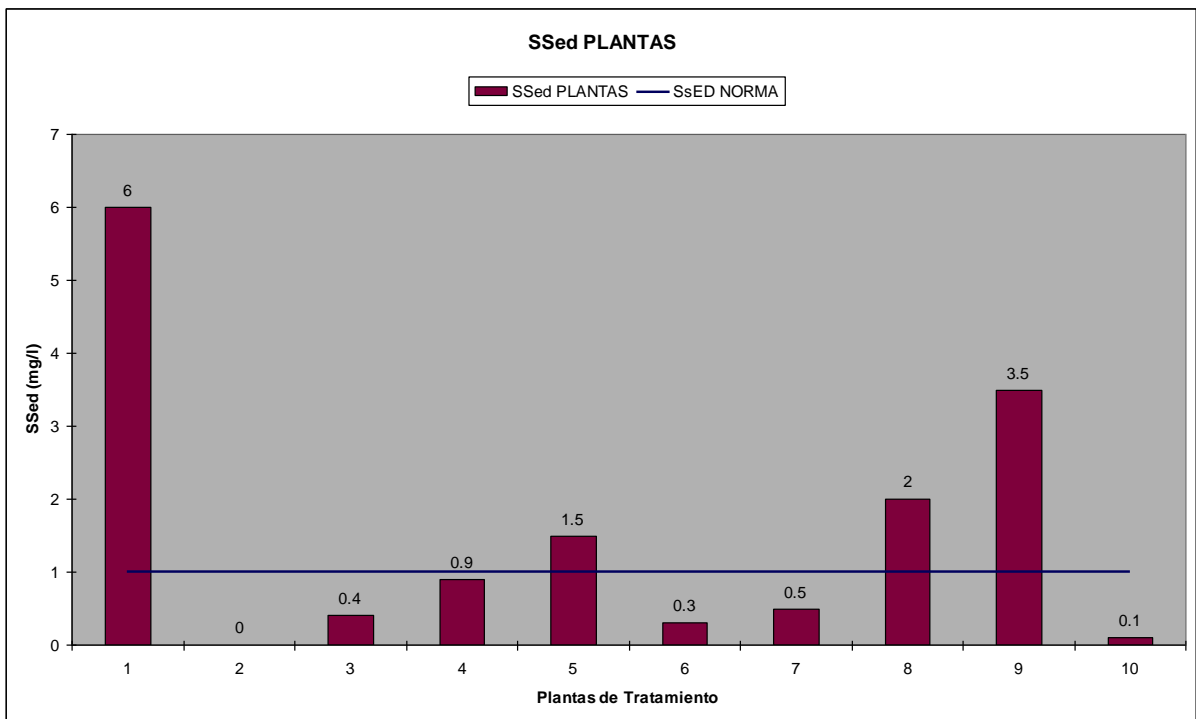


Figura 5.56 Análisis Sólidos Sedimentables en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación

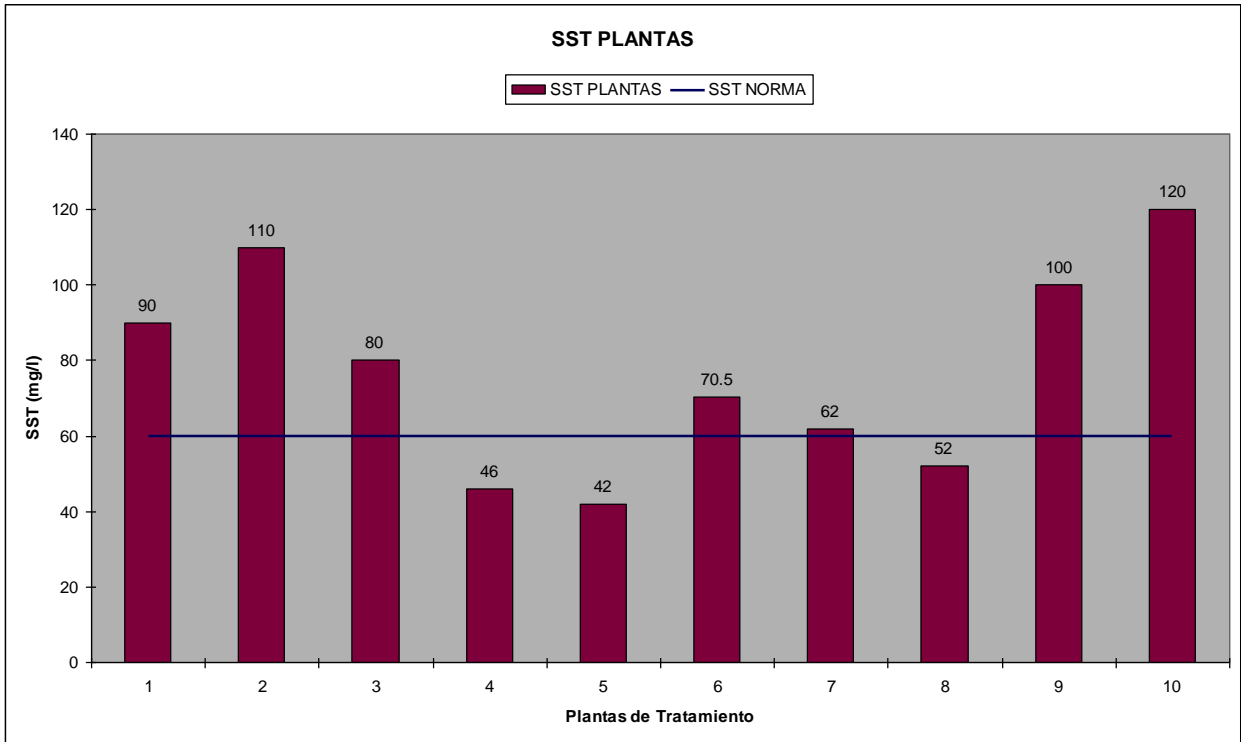


Figura 5.57 Análisis de Sólidos Suspendedos Totales en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación

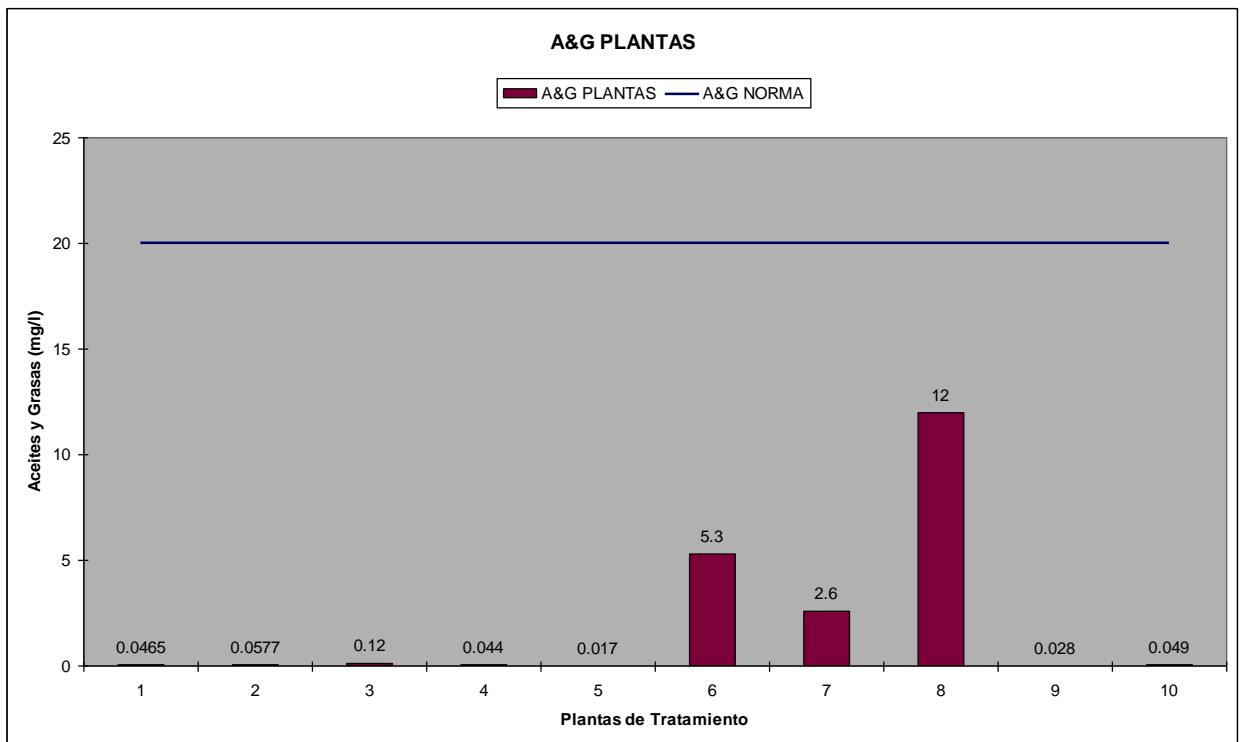


Figura 5.58 Análisis de Aceites y Grasas en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento en Evaluación

5.2.5 Interpretación y Análisis de Resultados

Al comparar los resultados obtenidos en cada una de las Plantas de Tratamiento respecto a los valores máximos permitidos por la Norma para Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo receptor (NSO 13.49.01:06), se identificó que las Plantas cuyos valores de los parámetros a excepción de SST, están dentro de los valores de la Norma son: Planta 6 y 7. Es importante mencionar que estas mismas Plantas obtuvieron el mayor puntaje de aceptación según la lista de verificación presentado, ver figura 5.47. La información de las plantas 6 y 7 se presenta en forma de cuadro resumen en la tabla 5.15, los esquemas operacionales de cada planta; respectivamente, se encuentran en el anexo C. Las plantas de tratamiento restantes cumplen sólo con ciertos parámetros de la Normativa, como consecuencia del mal funcionamiento de los procesos depuradores de los Sistemas de Tratamiento, así mismo este mal funcionamiento se deriva de una mala administración, o un mal diseño de la PTAROD, entre otras causas.

Tabla 5.15 Información de las Plantas de Tratamiento 6 y 7

Planta	Población servida	Caudal de diseño (l/s)	Caudal Tratado	Tratamiento y Situación Actual	% Evaluación*	Calidad del efluente
Planta 6	6,000	10.42	9.38	RAFA - FAFA En Funcionamiento	77.09	Cumple con Norma excepto en SST=70.5 mg/l - Norma=60 mg/l.
Planta 7	15000	26.04	26.04	Sedimentación y Filtro Percolador. En Funcionamiento	76.88	Cumple con Norma excepto en SST=62 mg/l - Norma=60 mg/l

* Respecto a las áreas de la hoja de Evaluación

De acuerdo a los resultados y observaciones en las visitas de campo a las Plantas de Tratamiento, se identifica que en general las causas más comunes del funcionamiento deficiente son:

1. Desconocimiento, falta de conciencia, mínimo interés y participación de Funcionarios del ente que administra el sistema.
2. Debilidad de las legislaciones existentes en aplicar las sanciones correspondientes.
3. Personal de la planta desmotivado en realizar las actividades de operación y mantenimiento; el resultado se refleja en el descuido del equipo e instalaciones de la planta.
4. El costo de mantenimiento es mayor al ingreso (o nulo) proveniente del cobro del sistema de tratamiento, originando menor apoyo financiero en el suministro oportuno de Herramientas, equipos de protección personal y demás insumos necesarios.
5. Ausencia del Manual Operativo y de mantenimiento del proceso de la planta de tratamiento.

6. Inadecuada supervisión a los Operadores de la Planta.
7. Ausencia de registros de Monitoreos de efluentes en las descargas a los cuerpos receptores que permitan identificar las concentraciones de parámetros y compararlos con la Norma. Y de ésta manera identificar causas e implementar las acciones correctivas correspondientes.
8. El conocimiento de los operadores, es deficiente en aspectos básicos operativos de los equipos de la PTAROD. La mayoría son eficientes en aspectos prácticos-empíricos de operación y mantenimiento; sin embargo pese a este conocimiento las unidades de tratamiento se mantienen sucias.
9. Ninguna Planta cuenta con unidades de trampa de grasas, sistema de cloración y tratamiento a las aguas de los lodos.
10. No cuentan con planes de: emergencia, seguridad laboral, capacitaciones, monitoreo de la calidad del agua, gestión financiera para el mejoramiento físico, participación ciudadana e institucional, y divulgación.

Debe mencionarse que las causas del deficiente funcionamiento de las PTAROD son el resultado de las condiciones propias en cuanto a la operación y mantenimiento de cada Planta, ya que estos sistemas de tratamiento siguen una secuencia continua en sus procesos de depuración de efluentes (Tratamientos Primarios, Secundarios y Terciarios). Por lo tanto, el adecuado y correcto funcionamiento de la planta de tratamiento es una dependencia en cadena, de tal forma que del buen funcionamiento de los tratamientos primarios dependen los secundarios, y así sucesivamente de cada etapa de la Planta. El buen mantenimiento y funcionamiento de la PTAROD garantiza una vida útil más larga. Las figuras 5.59 y 5.60 muestran sistemas de tratamiento con daños y equipos sin mantenimiento, por tanto en mal funcionamiento.



Figura 5.59 *Sistemas de Tratamientos con Daños. (a) Tuberías Oxidadas. (b) Pasarela en Sedimentador Deteriorada.*



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.60 *Equipo con Operación y Mantenimiento Deficientes. (a) y (b) Acumulación de Desechos en Rejillas. (c) Falta de Mantenimiento en Sedimentador. (d) Patios de Secado de Lodos con Vegetación. (e) y (f) Filtros Biológicos con Vegetación.*

Fuente propia: Barrera, Héctor y Ramos Dalia

Es importante tener en cuenta que para obtener resultados más precisos, los análisis fisicoquímicos deben ser realizados en el efluente de la planta de tratamiento durante un período de tiempo que se considere adecuado, estableciendo para ello un plan de monitoreo, para lograr una mayor representatividad en los resultados obtenidos, y a la vez poder detectar y evitar potenciales errores en el procedimiento de toma y conservación de las muestras, que afectan los resultados obtenidos

Además esto permitirá analizar el comportamiento de la planta a lo largo de las diferentes estaciones climáticas que se presentan en el país, a fin de registrar las variaciones en los resultados de los procesos de tratamiento.

La realización de un estudio más profundo referente a la evaluación del funcionamiento de una planta de tratamiento, requiere más tiempo para la etapa investigativa y además de la organización de un equipo dedicado específicamente a dicha evaluación.

6. ELABORACION DE LA PROPUESTA PARA LA GESTION DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS DE ORIGEN DOMESTICO EN PROYECTOS URBANISTICOS.

Los resultados obtenidos en los capítulos 4 y 5 de este documento, han permitido conocer los Sistemas de Tratamiento de Aguas residuales de mayor aplicación en la actualidad en El Salvador, identificando las necesidades de las mismas a través de la lista de verificación, y también la información que se ha recolectado durante la realización de las visitas de campo a las respectivas plantas en evaluación.

El funcionamiento de las Plantas de Tratamiento se evaluó (en las que se permitió la toma de muestra), comparando los resultados obtenidos en los análisis, con los límites máximos permitidos por la Norma, encontrando la mayor deficiencia en los parámetros DBO₅ y Sólidos Suspendidos Totales.

Estos resultados corresponden a muestras puntuales en la descarga al cuerpo receptor. Para profundizar en el comportamiento de cada una de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico evaluadas, es necesario realizar un estudio que permita identificar en el tiempo de funcionamiento el comportamiento de las concentraciones en el efluente.

Toda esta información permitió elaborar la propuesta de una Planta de Tratamiento de Agua Residual de Origen Doméstico, que contiene las unidades que se han consideraron necesarias para la depuración del efluente a concentraciones permitidas, ya que el objetivo final del tratamiento de las Aguas Residuales es asegurar que el cuerpo de agua receptor, reciba un efluente con calidad de agua tal que pueda sustentar las necesidades de los usos aguas abajo de la descarga.

Para realizar el diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico es necesario contar con diversa información, la cual sirve de base para el diseño de equipos y determinación de necesidades específicas de la planta de tratamiento.

En la tabla 6.1 se resumen los estudios mínimos que deben realizarse previo al diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico y en la tabla 6.2 se indica la información básica requerida para realizar el diseño de la Planta.

Tabla 6.1 Estudios Mínimos a Realizar

Estudios Mínimos a Realizar	Inspección visual
	Estudio de suelo (humedad, permeabilidad, granulometría, conductividad hidráulica saturada y nivel freático).
	Topográficos: curvas de nivel
	Hidrogeológicos: evaporación (promedio mensual), Evapotranspiración y precipitación (promedio máximo mensual).
	Revisión de estudios previos realizados en la zona.

Fuente: Guía para la Formulación de Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domesticas. Convenio IDRC/IPS/HEP/CEPIS. LIMA 2002

Tabla 6.2 Información para el Diseño de la PTAROD

Información básica para el diseño de PTAROD	Población a servir
	Cantidad y calidad del agua residual
	Temperatura
	pH del Agua Residual
	Uso de la tierra
	Zonificación
	Prácticas agrícolas
	Requerimientos de calidad para descargas superficiales y subsuperficiales.
	Información de los cuerpos de agua de la zona
	Caudal: promedio diario, máximo diario, caudal mínimo. Horarios respectivos de cada caudal.
	Valores punta o factores punta presentados por la población a servir

Fuente: Guía para la Formulación de Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domesticas. Convenio IDRC/IPS/HEP/CEPIS. LIMA 2002

6.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO

La selección de la Propuesta de Tratamiento está orientada al uso potencial de los productos y residuos del Sistema de Tratamiento (efluentes, lodos y gas) como parte de la autosostenibilidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico. Las unidades que conforman el Sistema de Tratamiento están basadas en los Componentes Básicos de Tratamiento de Aguas Residuales, los cuales se presentan en la figura 6.1 y en la tabla 6.3 se describen cada uno de estos componentes.

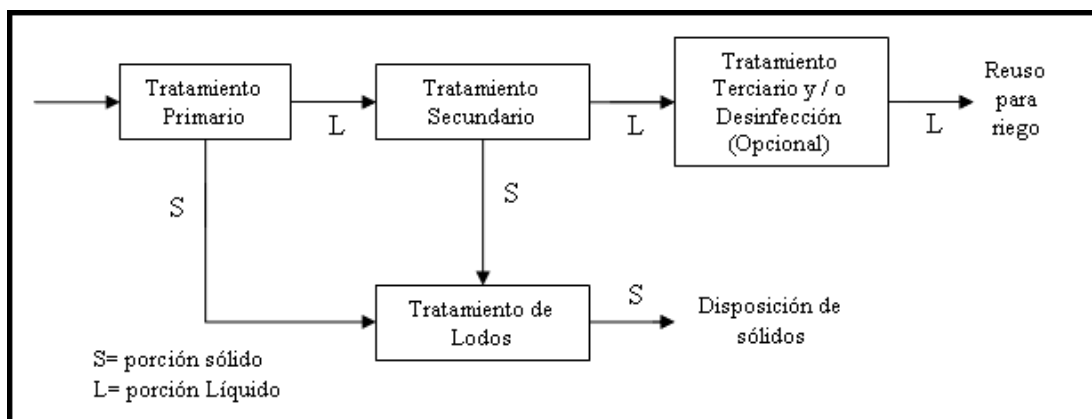


Figura 6.1 Componentes Básicos de Tratamiento de Aguas Residuales

Tabla 6.3 Descripción de los Componentes de Tratamiento de Aguas Residuales.

Clasificación	Descripción
Tratamiento Preliminar o Pre-Tratamiento	Es el conjunto de unidades que tienen como finalidad eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta. Las principales unidades son las rejillas y el desarenador.
Tratamiento Primario	La finalidad de éste es remover sólidos suspendidos removibles por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación.
Tratamiento Secundario	La finalidad de este es remover material orgánico en suspensión. Se utilizan procesos biológicos aprovechando la acción de micro-organismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica. La presencia o ausencia de oxígeno en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aeróbicos (en presencia de oxígeno) y los anaeróbicos (en ausencia de oxígeno).
Tratamiento Terciario	Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química- biológica alto para cuerpos de agua receptores sensitivos o ciertos tipos de reuso, Normalmente se trata de remover nutrientes (nitrógeno y fósforo) del agua, porque estos estimulan el crecimiento de las plantas acuáticas.
Desinfección	Es el tratamiento adicional para remover patógenos.
Tratamiento de lodos	Es el tratamiento de la porción “sólida” (actualmente más de 80% agua) removido del agua contaminada. La finalidad del proceso es de secarlo y tratarlo con una combinación de tiempo y temperatura para matar los patógenos.

Fuente: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia

El éxito del proceso de depuración del Efluente aplicado en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Domésticos depende además de la correcta elección de los componentes o unidades depuradoras del efluente de factores externos como los sociales y ambientales que constituyen el entorno que será favorecido por estos proyectos.

El análisis de los casos de estudio promovidos por el Proyecto Regional de Reutilización ha permitido identificar 28 factores que determinan la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados. La tabla 6.4 presenta estos factores, agrupados en tres aspectos generales: Técnicos, Ambientales y Sociales.

Cada uno de estos aspectos generales; presentados, implica o tiene aspectos específicos, los cuales generan los factores determinantes que permiten la orientación integrada de los Sistemas de Tratamiento.

6.1.1 Sitio de Ubicación de la PTAROD

La selección del sitio de ubicación de la PTAROD se debe basar en la información mínima y en los estudios previos desarrollados en la urbanización tales como la dirección de los vientos prevalecientes, audiencias públicas, así como también en el valor de adquisición de los predios, aspectos políticos y legales, requerimientos de tamaño, facilidad de acceso al sitio, servicios básicos disponibles (electricidad, agua potable, teléfono).

Tabla 6.4 Factores Determinantes de la Variabilidad de los Sistemas de Tratamiento.

Aspectos Generales	Aspectos Específicos	Factores Determinantes
Técnicos	Recursos agua y tierra	Disponibilidad de terreno
		Capacidad de uso agrícola
		Demanda de agua residual para riego (agua y nutrientes)
	Actividad Agrícola	Mercados y canales de comercialización
		Experiencia en actividades productivas
		Técnicas de manejo agronómico con aguas residuales tratadas
		Eficiencia productiva (Productividad y costos)
	Tratamiento de aguas residuales	Políticas de las empresas de agua con respecto a las aguas residuales.
		Requerimientos de calidad sanitaria, ambiental y agronómica del efluente
		Selección de Tecnología
		Localización y diseño del sistema de tratamiento
		Sostenibilidad de la operación y mantenimiento de la planta (capacidad técnica y tarifas)
Ambientales	Contexto Legal	Marco regulador y normativo del ordenamiento ambiental
		Parámetros de calidad del agua para la disposición y uso de aguas residuales domésticas
		Normas técnicas para el tratamiento de aguas residuales domésticas
		Normas técnicas para el uso agrícola de aguas residuales domésticas
		Derechos de uso de aguas residuales tratadas
	Gestión	Evaluación de los impactos ambientales significativos
		Vigilancia de la calidad del agua residual y los productos agrícolas
		Manejo de lodos y excedentes de agua
		Manejo de riesgos de accidentes y contingencias en el manejo del agua
Sociales	Cultural	Identificación y características de los actores (directos, indirectos, grupos de interés, competencia, afectados)
		Conocimiento de los actores acerca del tratamiento y uso de las aguas residuales
		Nivel de aceptación del sistema integrado de tratamiento y uso por parte de los actores
	Institucional	Tenencia de tierras
		Necesidades, intereses y relaciones de actores
		Organización comunal o privada de los agricultores
		Mecanismos de gestión del sistema

Fuente: Guía para la Formulación de Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domésticas. Convenio IDRC/IPS/HEP/CEPIS. LIMA 2002

En proyectos urbanísticos se deben tomar medidas como la minimización de olores, material particulado en el aire, cloro y otros químicos peligrosos, aerosoles e insectos.

Se deben considerar de manera específica los siguientes aspectos:

- Puntos de emisión de olores y cantidad de emisión en cada uno de ellos.
- Modelación de la dispersión atmosférica.
- Evaluación de concentraciones de H₂S y otras sustancias olorosas en las zonas aledañas considerando concentraciones pico con frecuencias inferiores a 15 minutos.

- Medidas de mitigación.
- Requerimientos de espacio para instalaciones secundarias y de soporte, debido a la demanda actual y futura.
- La distancia mínima de amortiguamiento para zonas residenciales debe ser 75 m.

Un factor determinante para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas es el uso potencial de los productos de los tratamientos aplicados al efluente, éstos determinan el lugar más idóneo para la ubicación de la misma.

Para el caso de los efluentes (agua residual tratada) obtenidos el uso agrícola plantea ubicar la planta de tratamiento en el mismo lugar o cerca del área de Reuso. Por lo que se requiere conocer la extensión actual y potencial de las tierras irrigables.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LA PTAROD PROPUESTA

La PTAROD propuesta consiste en un conjunto de unidades donde se desarrollan los procesos físicos y biológicos para la depuración de aguas residuales domésticas.

Esta compuesta por las siguientes unidades:

- Rejas o Cribas
- Trampa de grasa
- Desarenador
- Sedimentador Primario
- Homogenizador
- Reactor UASB
- Filtro Percolador
- Sedimentador Secundario
- Humedal (Opcional)
- Desinfección

La función de cada una de las unidades presentadas en los literales anteriores se describe en la tabla 6.5

Tabla 6.5 Descripción de las Unidades del Sistema de Tratamiento Propuesta.

Unidad	Función
Rejas ó Cribas	Retener los sólidos gruesos que podrían perjudicar los procesos de tratamiento o causar obstrucciones y daños en las tuberías de conexión entre las unidades.
Trampa de grasa	Impedir el paso de materia con densidad menor a las del agua residual (grasas) y que ha logrado pasar a través de la unidad de rejas, para evitar la formación de capas de grasa en unidades como el sedimentador en la interfase agua residual-aire, obstruir la entrada al reactor ó inhibir el proceso de digestión anaeróbica en el reactor.
Desarenador	Retener las arenas, pequeñas piedras o cenizas volcánicas que son arrastradas por la red de alcantarillado sanitario. Normalmente son canales rectangulares en los cuales se trata de mantener constante la velocidad del flujo para permitir la sedimentación de partículas mayores o iguales a 0.2 mm de diámetro.
Sedimentador Primario	Separar a través de un proceso físico partículas sólidas suspendidas y sedimentables, para alimentar al reactor un fluido con la menor cantidad de sólidos sedimentables.
Homogenizador de Caudal	Proporcionar a la Planta de Tratamiento un caudal constante de tal forma que la planta esté diseñada para este caudal, además optimizar los procesos de tratamiento en el reactor como en el filtro percolador, aportando un mejor nivel de depuración en la planta. Debe estar diseñado de tal manera que permita mantener flujo de agua, aún en altas horas de la noche; cuando la generación de residuos líquidos de origen doméstico es mínima o incluso nula.
Reactor UASB	Es la unidad donde ocurre, por medio de la presencia de bacterias anaeróbicas, la degradación de la materia orgánica, dando como resultado un descenso de la DBO y la DQO del efluente, generando gas metano. El proceso ocurre al formarse un lecho de lodos en suspensión, a través del cual pasan las aguas residuales a un caudal constante. El flujo es ascendente, desde el fondo de la unidad, es un tanque cerrado con tuberías de evacuación de gases.
Filtro Percolador	Unidad rectangular o de forma cilíndrica, que posee un medio filtrante o material de soporte (piedra volcánica) que sirve de alojamiento para los microorganismos que degradan la materia orgánica de las aguas residuales. El agua es distribuida en la superficie a través de vigas tipo canal, tubos perforados, rociadores giratorios accionados por la presión del agua, etc. El agua pasa por el medio filtrante a través de la acción de la gravedad, con lo que se genera la oxigenación que ayuda al proceso de degradación biológica. Este constituye un tipo de Tratamiento Aeróbico que posterior a la etapa anaeróbica da como resultado una mejor depuración del efluente.
Sedimentador Secundario	Se considera la ubicación de un segundo sedimentador, posterior al proceso realizado por el filtro percolador, dado que, en tal proceso aeróbico se generarán lodos, los cuales serán separados en esta etapa.
Humedal	Servir como filtro biológico antes de la descarga del efluente al cuerpo receptor.
Desinfección	Asegurar que el efluente descargado al cuerpo receptor no contendrá organismos patógenos que puedan ser fuente de la generación de epidemias. Consiste en la adición dosificada de cloro gas ó Hipoclorito de sodio en el efluente dispuesto en un tanque.

Fuente: Barrera, Héctor y Ramos, Dalia

Es importante que en una Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos de Origen Doméstico se tengan esquematizados los flujos de entrada y salida a lo largo del proceso de tratamiento que el efluente sigue en la planta. Esto permite que se conozcan cada una de las salidas y las respectivas sustancias que salen de determinada etapa del proceso. Es por ello que se presenta la

figura 6.2, la cual contiene la esquematización de los flujos de entradas y salidas de la planta de tratamiento propuesta.

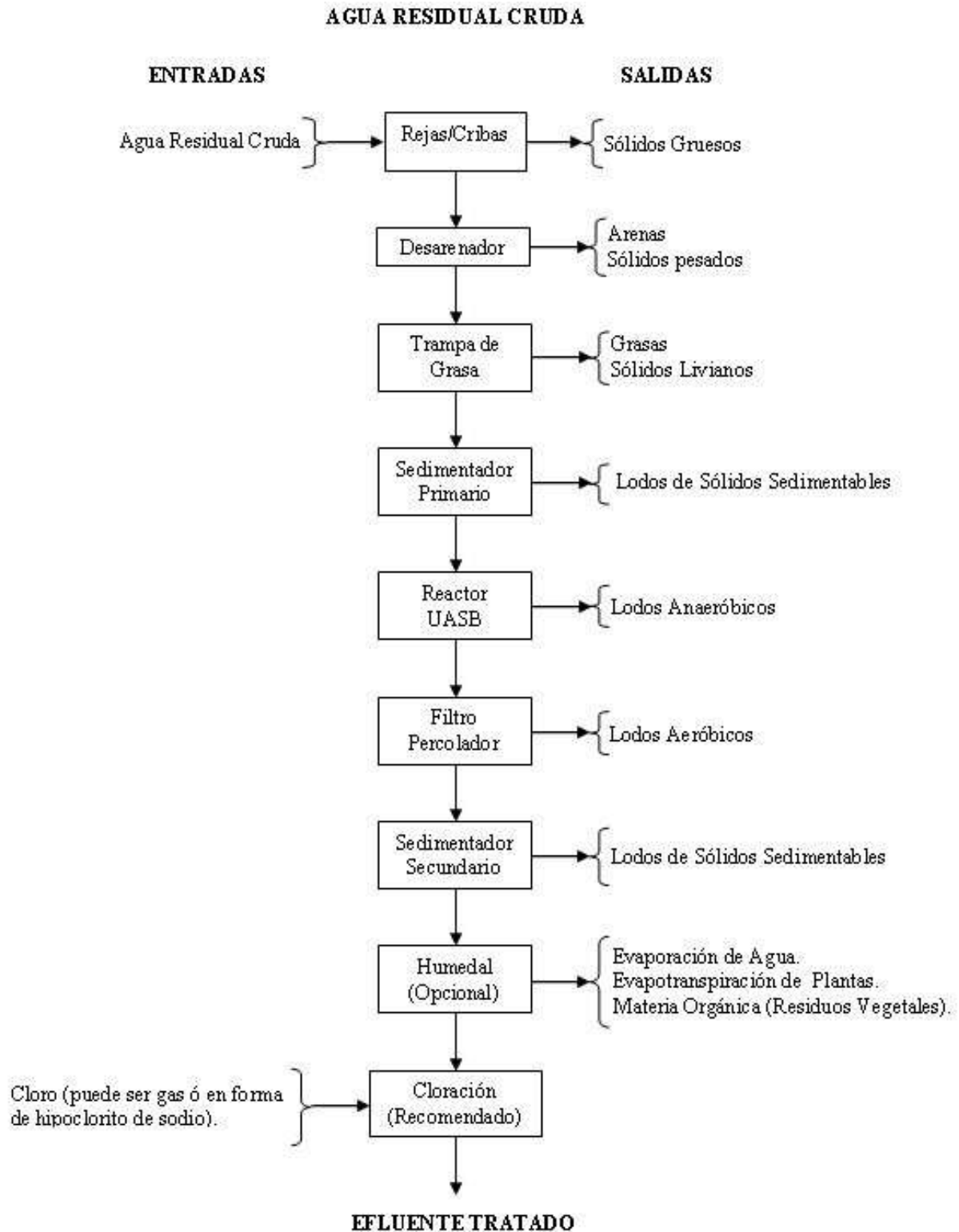


Figura 6.2 Diagrama de Flujo del Esquema de Planta de Tratamiento Propuesta

6.2.1 Tratamiento de Lodos generados en la PTAROD propuesta

En la medida que las plantas de tratamiento entran en funcionamiento, la generación de los lodos es inevitable y su gestión demanda el establecimiento de estrategias que permitan dar un uso racional a dichos residuos de tal manera que se logre no sólo el fin propuesto de descontaminar el agua sino también colmar las expectativas de la comunidad en cuanto a un manejo integral del problema.

El proceso de tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento, básicamente será un digester anaeróbico el cual será inoculado ó sembrado con el lodo proveniente del reactor UASB. Posterior a la digestión, el lodo será enviado al patio de secado en donde se deshidratará y en caso de ser necesario se estabilizará con cal. Uno de los parámetros que se medirán en el digester anaeróbico será el pH para garantizar que las condiciones bajo las cuales se lleve a cabo el proceso de digestión sean las adecuadas. Los gases generados tanto en el reactor UASB como en el digester anaeróbico serán colectados. En la figura 6.3 se muestra un esquema del tratamiento de lodos.

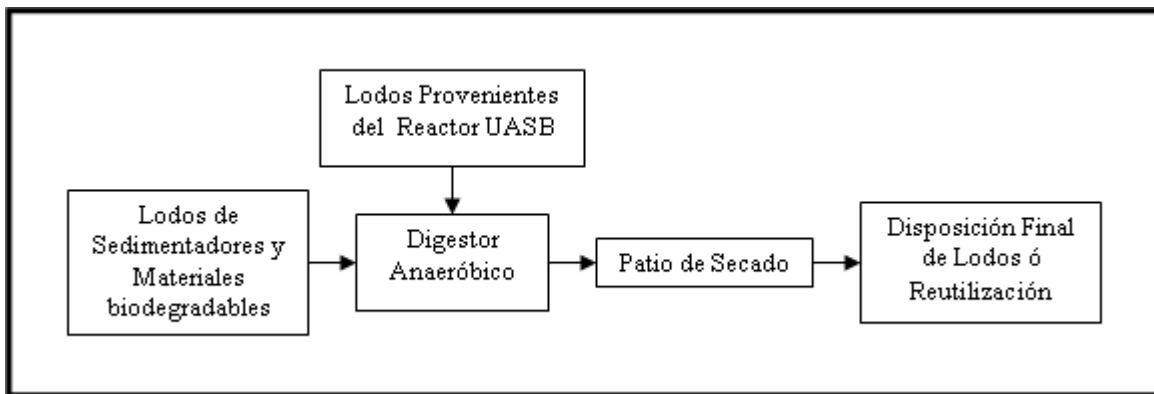


Figura 6.3 Esquema del Proceso de Tratamiento de los Lodos Generados en la Planta de Tratamiento.

Una de las principales razones por las cuales se han seleccionado los diferentes tipos de tratamiento es el hecho de buscar el autosostenimiento de la planta, esto se pretende lograr con la comercialización de los residuos de la planta de tratamiento. En primera instancia se buscará que el biogás generado, pueda ser utilizado como combustible, y de alguna manera que de éste servicio se generen ingresos. Los lodos generados deberían ser utilizados, bien sea como abono orgánico, para proceso de compostaje, para acelerar procesos de degradación anaeróbico si es comercializado directamente desde el reactor UASB, ó bien como regenerador de suelos para terrenos agrícolas. Logrando de alguna manera solventar en parte los gastos que la planta tenga.

6.3 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Cada uno de los equipos que intervienen en la Propuesta de Tratamiento antes mencionada se diseña de acuerdo a datos específicos del efluente que será tratado. La tabla 6.6 reporta los parámetros de diseño de los equipos: Rejas o cribas, desarenador y trampa de grasa.

Tabla 6.6 Parámetros de Diseño de Cribas, Desarenador y Trampa de Grasa

Equipo	Factores de Diseño	Ecuaciones	Identificación de variables
Rejas ó Cribas	Ancho de canal en zona de rejillas (b).	$b = \left(\frac{c}{s} - 1 \right) (s + a) + s$	A: Anchura de las barras, cm.
	Número de barras (n).	$n = \left(\frac{b - s}{a + s} \right)$	b: Ancho del canal en zona de rejillas, cm.
	Separación útil entre barras (s).	Para un diseño óptimo la separación útil entre rejillas de acuerdo a un volumen retenido de 5 -10 L/(hab·año); es de 20 mm (2 cm.).	c: Ancho del canal de entrada, cm. s: Separación útil entre barras, cm.
Consideración: Las rejillas usualmente se colocan con un ángulo de 60° respecto a la horizontal.			
Desarenador	Velocidad de Sedimentación, m/s	$V_s = \frac{g(S_s - 1)d^2}{18\nu}$	Aceleración de la gravedad: g = 9.81 ,m/s ²
	Área Transversal de la cámara desarenadora.	A=W.D A= Q/VH	Diámetro de partícula: d = 0.0002 m Gravedad específica de partícula: Ss=1.9
	Largo de la Cámara	$L = V_H \cdot t_d$	Viscosidad cinemática: $\nu = 0.893E - 6 \frac{m^2}{s}$
	Tiempo de retención, seg.	$t_d = \frac{D}{V_s}$	Caudal máximo horario: Qm=m ³ /s Velocidad de flujo: VH= m3/s D=Profundidad del desarenador, m W=Ancho de la cámara desarenadora, m
Consideraciones: Si el caudal máximo horario es relativamente pequeño, podrá asumirse una profundidad igual a la anchura del desarenador. Es importante tomar en cuenta que el incremento por turbulencia a la entrada y salida deberá ser del 50% de la longitud de la cámara, por lo que es necesario corregir el dato de largo de la cámara.			
Trampa de grasa	Volumen	V=Q.tr	V: Volumen de la trampa de grasas, m ³ .
	Área superficial, m ²	A=W.L	Q=Caudal de entrada, m ³ /s. tr=Tiempo de retención en la trampa de grasas, s W=Ancho trampa de grasa, m. L=Largo trampa de grasa, m.
Consideraciones: Debe tener una profundidad mínima de 1.20 m, para su correcto funcionamiento. La relación largo-ancho debe permitir que el agua se estabilice para que las grasas emulsionen correctamente, esta relación tiene que ser por lo menos 3:1. El tubo de salida debe estar a una distancia de 0.15 m del fondo de la trampa, además debe haber una distancia de 0.3 m entre la tapadera y el borde inferior del tubo de salida.			

Fuente: Criterios de diseño de equipos para Tratamiento de Aguas Residuales.

Disponible en: <http://www.Milarium.com/proyectos/Depuradoras/manuales.htm>

6.3.1 Sedimentador Primario

Debido a la misma naturaleza del agua residual, en este punto del proceso de tratamiento se tendrá un tipo de sedimentación floculenta. Para dimensionar el sedimentador, se necesitará realizar un análisis denominado ensayo de sedimentación; este análisis, básicamente consiste en colocar una muestra del líquido que se desea clarificar en un recipiente en forma de probeta que tenga un diámetro aproximado de 15 cm y una altura de 3m, en la práctica este tipo de análisis muestra buenos resultados. Se deben establecer diferentes puntos de muestreo a lo largo de la altura, la distancia entre punto y punto puede ser de 0.5 m. En la figura 6.4 se presenta el resultado de sedimentación, la cual muestra las curvas de igual eliminación porcentual de partículas floculentas en diferentes tiempos de sedimentación y diferentes alturas en la columna. Tomando como altura “h” y tiempo “t”.

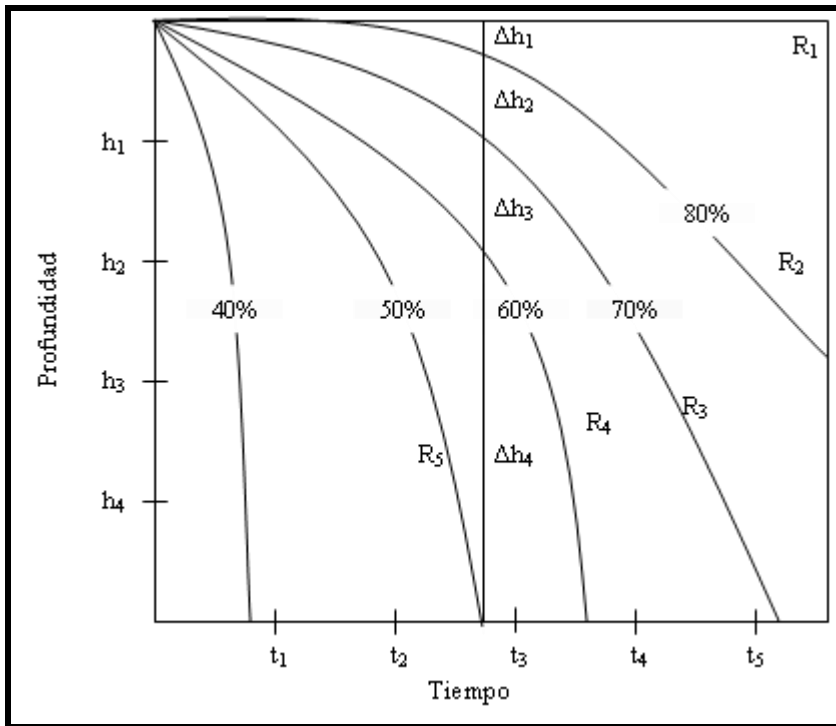


Figura 6.4 Resultado de Análisis de Sedimentación Floculenta en Ensayo de Sedimentación.

El valor de la eliminación porcentual total del equipo se obtiene al sumar las eliminaciones porcentuales parciales, que vienen dadas por la ecuación 6.12.

$$\text{Eliminación Porcentual} = (\Delta h_n/h_5) * ((R_n + R_{n+1})/2) \quad \text{Ec. 6.1}$$

En este caso h_5 es el fondo de la columna. El factor de escalamiento respectivo para llevar este resultado a una aproximación al sedimentador en condiciones reales, son de 0.65 - 0.85 para la velocidad de sedimentación y de 1.25 - 1.5 para el tiempo de detención en el sedimentador.

Para el dimensionamiento del tanque suelen tomarse en cuenta estándares ya existentes como lo serían los presentados en la tabla 6.7.

Tabla 6.7 Información Típica para el Diseño de Sedimentadores Rectangulares y Circulares, Utilizados en el Tratamiento Primario del Agua Residual.

Tipo de Tanque	Valor	
	Intervalo	Típico
Rectangular:		
Profundidad, m	3.5-5.0	3.6
Longitud, m	15-90	25-40
Anchura, m	3-24	6-10
Velocidad de rascadores, m/min	0.6-1.2	1.0
Circular:		
Profundidad, m	3.0-5.0	4.5
Diámetro, m	3.6-60.0	12-45
Pendiente de la solera mm/m	60-160	80
Velocidad de rascadores, r/min	0.02-0.05	0.03

^a Si las anchuras de los tanques rectangulares de limpieza mecánica son mayores de 6 m, pueden utilizarse compartimientos múltiples con equipos de raspado individual, permitiendo, por tanto, anchuras de tanques de 24 m ó mayores.

Fuente: Metcalf-Eddy 2^a. Ed. Pág. 372.

Los valores de los parámetros típicos de los sedimentadores primarios son:

- Tiempo de detención: 1.5-2.5 horas.
- Carga de Superficie (caudal medio): $32-48 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.
- Carga sobre vertedero: $125-500 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Siempre se debe tener en cuenta un factor de seguridad el cual se sugiere que puede tomarse como el 20%.

6.3.2 Homogenizador

La unidad de homogenización de caudal, depende básicamente de la determinación de las variaciones de caudal a lo largo de todo el día, de tal manera que la unidad homogenizadora permita alimentar al sistema de una manera constante y que no presente variaciones significativas. Básicamente el procedimiento a seguir para el diseño del homogenizador será,

tomar mediciones de caudal a lo largo de un día completo, esto puede realizarse cada hora; así, al final se obtendrán un total de 24 datos. Los cuales servirán para realizar el siguiente análisis:

En base a los valores de los caudales obtenidos, encontrar el caudal acumulado a lo largo del día (expresar estos datos en m³/h).

Graficar el valor del Volumen acumulado contra el valor de Tiempo correspondiente a cada uno de los datos obtenidos. El volumen acumulado se obtendrá multiplicando cada uno de los valores de caudal obtenidos por una hora, y luego se suma el valor del caudal acumulado anterior. De tal forma que si el primer valor de caudal es de 1 m³/h, el valor del volumen inicial será:

$$\text{Volumen Acumulado 1} = (1 \text{ m}^3/\text{h}) * (1\text{h}) = 1 \text{ m}^3.$$

Y si para el segundo muestreo el valor del caudal fue de 1.5 m³/h, entonces el valor del volumen acumulado será:

$$\text{Volumen Acumulado 2} = (1.5 \text{ m}^3/\text{h}) * (1\text{h}) + 1 \text{ m}^3 = 2.5 \text{ m}^3.$$

Y así sucesivamente hasta llegar al último valor de caudal. Encontrar el valor del caudal promedio diario, el cual será el caudal que el homogenizador proporcionará durante todo el día. El caudal promedio se encuentra uniendo los puntos de volumen acumulado en tiempo cero y en el último valor de tiempo, que para este caso será de 24 horas, y trazando una línea recta entre ellos, la pendiente de esa línea recta será el valor del caudal promedio (ver figura 6.5).

Una vez se tiene el caudal promedio que el homogenizador alimentará, se determina el volumen del homogenizador (V_h), el cual será la distancia entre el punto de tangencia de la línea de caudal y la línea del caudal promedio (ver figura 6.5 a).

En caso que la línea de caudal presente alguna anormalidad (que pase por encima y por debajo de la línea de caudal promedio; por ejemplo), se tomará la distancia entre dos líneas tangentes de la curva de caudal (ver figura 6.5 b).

Siempre deberá dejarse un margen de seguridad de un mínimo del 20% del volumen determinado a través del análisis anterior, para prever posibles incrementos en el caudal promedio. Además deberá de preverse, un by-pass del sedimentador primario al reactor UASB para cuando se desee realizar limpieza del homogenizador. Se deberá evaluar el efluente del sedimentador primario, para determinar si se requerirá agitación en la etapa de homogenización del caudal.

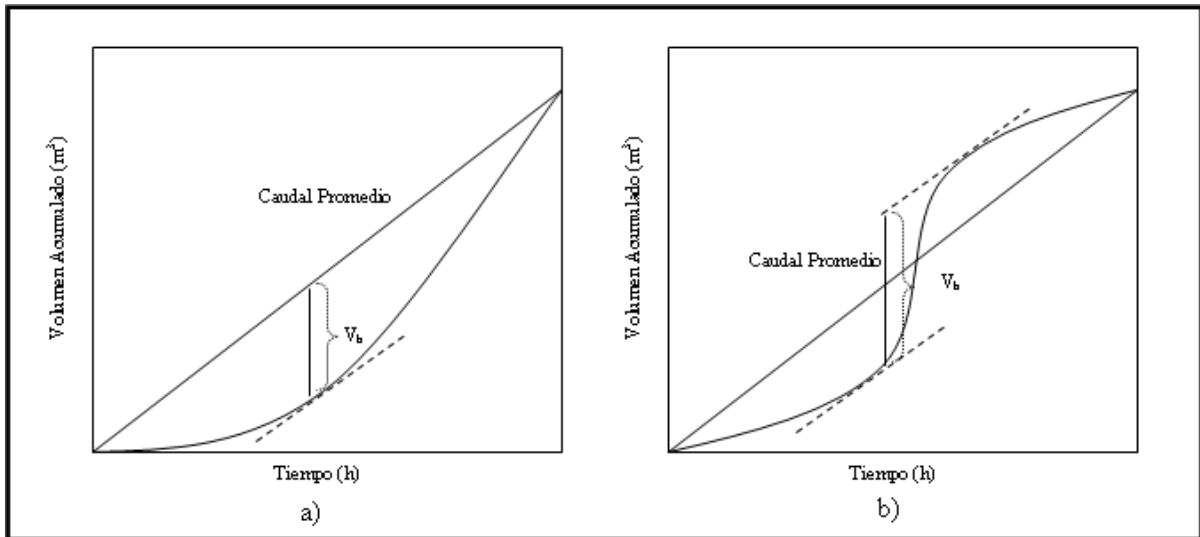


Figura 6.5 Gráficas para la determinación del volumen de un homogenizador de caudal y el caudal promedio. A) Curva Normal, b) Curva con Irregularidad.

6.3.3 Reactor UASB

Los principales criterios de diseño de un reactor UASB se presentan en la tabla 6.8.

Tabla 6.8 Principales Parámetros de Diseño de un Reactor UASB.

Parámetro	Para Flujo Promedio
Carga Volumétrica Hidráulica	< 4 m ³ /m ² *d
Tiempo de Detención Hidráulica	6.0 - 9.0 h
Velocidad Ascendente del Efluente	0.5 - 0.7 m/h

Fuente: Chernicharo, C.A L. (coord)—Pós-tratamiento de Efluentes de Reactores Anaeróbios, en Coletânea de trabalhos técnicos, vol.1, publicado por PROSAB/FINEP, 2000; Chernicharo, C.A L. (coord)—Pós-tratamiento de Efluentes de Reactores Anaeróbios, publicado por PROSAB/FINEP, 2001

El reactor al trabajar con bajas cargas (DQO<1500 mg/l); esto es según Lettinga y Hulshoff, 1995^a; Van Andel y Lettinga, 1994 y Lettinga et. Al. 1980, su factor de control fundamental es el tiempo de retención hidráulica, dado que las aguas residuales de origen doméstico están dentro del parámetro como para ser consideradas de baja carga. Se considerará un reactor cilíndrico, y el volumen del reactor vendrá dado por:

$$\text{Volumen del Reactor (m}^3\text{)} = \text{Tiempo Medio de Retención Hidráulica (h)} * \text{Caudal Medio (m}^3\text{/h)}$$

Para la determinación de la altura del reactor se toma en cuenta la relación existente entre la velocidad ascensional del líquido y la altura misma del reactor, lo cual mediante permite entonces decir que la altura del reactor será:

$$\text{Altura Reactor (m)} = \text{Velocidad Ascensional (m/h)} * \text{Tiempo Medio de Retención Hidráulica (h)}$$

La otra alternativa para el diseño del reactor será realizar un análisis cinético del reactor y con los resultados obtenidos a partir de dicho análisis; utilizando por supuesto como sustrato el efluente al que se quiere dar tratamiento. Con estos resultados se tendrían que aplicar técnicas de escalamiento respectivas para poder llevar el experimento de un nivel de laboratorio a una escala real de tratamiento.

6.3.4 Filtro Percolador

El filtro percolador es un proceso aeróbico de cultivo fijo que consiste básicamente en un lecho de un medio permeable al cual se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua. En El Salvador el medio más utilizado hasta el momento es la grava. El diámetro de las piedras es variable entre 2.5 y 10 cm de diámetro y la profundidad del filtro varía con el diseño dependiendo del diseño mismo. Los filtros percoladores pueden ser clasificados de acuerdo a la carga hidráulica u orgánica que se les esté alimentando. De esta manera se tienen filtros de baja carga, carga intermedia, carga alta y de carga muy alta.

Debido a la naturaleza de las aguas residuales domésticas en el país, los filtros percoladores utilizados pueden ser de baja o media carga, que son los se utiliza actualmente. Para realizar el dimensionamiento del filtro percolador se requiere un análisis experimental. En la tabla 6.9 se presenta información típica de filtros percoladores de baja carga y carga intermedia:

Tabla 6.9 Información Típica de Diseño para Filtros Percoladores.

Ítem	Filtro de Baja Carga	Filtro de Carga Intermedia
Carga Hidráulica, m^3/m^2*d	1-4	4-10
Carga Orgánica, Kg/m^3*d	0.08-0.32	0.24-0.48
Profundidad	1.5-3.0	1.25-2.5
Relación de Recirculación	0	0-1
Medio Filtrante	Piedras, escorias, etc.	Piedras, escorias, etc.
Necesidad Energética $KW/103m^3$	2-4	2-8
Moscas en el filtro	Muchas	Intermedio
Arrastre de Sólidos	Intermitente	Intermitente
Intervalos de dosificación	Inferior a 5 min (generalmente intermitente)	15-60 s (continuo).
Efluente	Generalmente totalmente nitrificado	Parcialmente nitrificado

Fuente: Metcalf-Eddy 2ª. Ed. Pág. 586.

6.3.5 Sedimentador Secundario

En el sedimentador secundario se da un tipo de sedimentación zonal o sedimentación por zonas. Para el cual se requiere de un ensayo de sedimentación simple. Los parámetros ó información típica de diseño para sedimentadores secundarios se detallan en la tabla 6.10.

Tabla 6.10 Parámetros de Diseño de Sedimentadores Secundarios.

Parámetros	Valor Medio	Valor Punta
Carga de Superficie, m ³ /(m ² *d)	16 - 24	40 - 48
Carga de sólidos, Kg/(m ² *h)	3.0 - 5.0	8.0
Profundidad del Sedimentador, m	3 - 4	

Fuente: Metcalf-Eddy 2^a. Ed, Pág. 563

6.3.6 Humedal

Los humedales poseen entradas y salidas respectivas, el material que entra proviene, en la mayoría de los casos, de tratamientos previos; en la propuesta de tratamiento de este estudio, es el efluente proveniente del filtro percolador. El material que sale del humedal puede ir a tratamientos complementarios y a veces directamente al cuerpo receptor. La tabla 6.11 muestra las entradas y salidas respectivas de un humedal.

Tabla 6.11 Entradas y Salidas de un Humedal.

Entradas	Salidas
Precipitaciones (P)	Evaporación (Ev), Efluente (E)
Afluente (A)	Evapotranspiración (ET)
Producto Recirculado (R)	Consumo propio en la constitución de los tejidos de las biocenosis presentes (C). Infiltración (I)

Fuente: Seoánez Calvo, Mariano. *Aguas Residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño.* Edición Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona, España. México. 1999.

Por otra parte en el humedal se almacenan o acumulan las entradas que el ecosistema admita, éste se denomina: AL. Por lo que el balance de masa es:

$$\text{Almacenamiento} = \text{Entradas (In)} - \text{Salidas (Out)}. \quad \text{Ec. 6.2}$$

Lo que se puede representar como:

$$\frac{\partial AL}{\partial t} = \frac{\partial In}{\partial t} - \frac{\partial Out}{\partial t}$$

Considerando que:

$$In = P+A+R$$

$$Out = E+Ev+ET+C+I$$

Es decir:

$$AL = (P + A + R) - (E + Ev + ET + C + I) \quad \text{Ec. 6.3}$$

Carga Hidráulica

La carga hidráulica total se puede obtener con la ecuación 6.4, originada por datos experimentales, en la que se relaciona esta carga hidráulica con la DBO₅ del afluente y la DBO₅ del efluente del humedal.

$$C_h = \frac{DE - 0.192DA}{0.097} \quad \text{Ec. 6.4}$$

Siendo:

C_h= Carga hidráulica (en cm/día)

DA= DBO₅ del afluente (en mg/l)

DE= DBO₅ del efluente (en mg/l)

La carga hidráulica obtenida en este cálculo nos indica las necesidades, y orienta para definir las superficies mínimas del humedal en función de las características de éste.

Tiempo de Retención Hidráulica

Este depende fundamentalmente de las características de las aguas residuales afluentes, de la DBO₅ que se exija en los vertidos efluentes, de la climatología, del flujo de diseño, de la geometría del sistema y, por supuesto del sistema de humedal aplicado. Para calcular los tiempos de retención hidráulica se aplican las ecuaciones 6.5 y 6.6.

$$\frac{DE}{DA} = \frac{\ln t}{3.684} + 0.524 \quad \text{Ec. 6.5}$$

$$t = \frac{7.481LWdn}{Q_1 + Q_2}, \quad \text{Ec. 6.6}$$

Siendo:

t= Promedio del tiempo de retención hidráulica, en días.

L= longitud, en pies

W= Anchura, en pies.

d= Profundidad, en pies.

n= Porosidad (oscila normalmente entre el 30 y el 90%).

Q1= Flujo del afluente, en galones/ día.

Q2=Flujo del efluente, en galones/día.

En los Sistemas SFS (Humedal Subsuperficial), el óptimo de retención hidráulica que indica la experiencia de cientos de instalaciones existentes, es de 30 a 80 días. Ejemplo:

Población: 100 habitantes – equivalentes

Sistema: SFS

Superficie: 1000 m²

Profundidad: 0.60 m

t = 33 días.

Profundidad del Humedal

Para sistemas SFS se recomiendan profundidades de 0.30 a 0.60 m, y no más, teniendo en cuenta que si hay pendientes, en la zona más profunda debe haber 0.60 m y en la menos profunda, 0.30 m. En ciertos casos, sobre todo en humedales pequeños, estas dimensiones pueden reducirse a 0.50 m, e incluso a 0.20 m.

Carga Orgánica

El tratamiento con humedal debe buscar que la capacidad de asimilación de éste siempre supere a la carga orgánica que se aporta con el agua residual. Las consideraciones a tomar en cuenta se muestran en la tabla 6.12, esta información es importante para diseñar la superficie del humedal.

Tabla 6.12 Consideraciones para el Diseño de la Superficie de un Humedal.

Parámetro	Valor	Unidades
DBO ₅ máximo	140 -180	ppm
DBO ₅ mínimo	10 - 80	ppm
O ₂	5 - 45* y 1 - 30**	g/(m ² . día)
Carga Orgánica	40 -300	ppm

*Plantas Emergentes

**Plantas no Emergentes

Fuente: Seoáñez Calvo, Mariano. *Aguas Residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño.* Edición Mundi. Prensa. Madrid. Barcelona, España. México. 1999.

Cabe aclarar que la carga orgánica no es uniforme, mientras que la entrada de oxígeno si lo es en toda la superficie del humedal. En sistemas SFS la carga no debe superar los 140 kg/(ha·día) con recomendación media de 67 kg/(ha·día). Las dimensiones necesarias para el diseño de un humedal son: Carga hidráulica, Tiempo de retención hidráulica, Profundidad y Carga Orgánica.

6.4 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

El mantenimiento de cada uno de los equipos que intervienen en los procesos depuradores de la PTAROD, es un factor fundamental para el buen funcionamiento y prolongación de la vida útil de la misma. En la tabla 6.13 se describe el mantenimiento necesario para cada equipo.

Tabla 6.13 Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico.

Unidad	Mantenimiento
Rejas ó Cribas	Extraer todo el material sólido retenido en las rejas, con ayuda de un rastrillo metálico. Esta limpieza debe realizarse por lo menos dos veces al día una por la mañana y otra por la tarde. Pintar las rejas con pintura anticorrosiva cada seis meses. Colocar los sólidos en una fosa o disponer de un contenedor para el retiro posterior hacia algún relleno sanitario. Si estos materiales son colocados en una fosa, deberá aplicársele de ser posible una pequeña capa de cal y posteriormente agregar una capa de tierra blanca hasta cubrirlos y asegurarse que sean bien compactados.
Desarenador	Cortar el flujo de agua en un canal, por medio de compuertas y dejar que los residuos (arena y otras partículas) depositados al fondo sequen. Extraer material y depositar en fosa, en donde se entierra la materia extraída del canal de rejas. Revisar el sistema de compuertas cada semana Una vez al año <u>lijar y pintar las compuertas, para prevenir la oxidación.</u>
Sedimentador	Evacuar los lodos cada dos días. Limpiar diariamente de materiales flotantes, la superficie del sedimentador. Controlar la válvula diariamente. Limpiar diariamente el canal de descarga. Revisar una vez al año la estructura de concreto además localizar los puntos de corrosión de las partes metálicas y pintarlas con anticorrosivos
Reactor UASB	Mantener los vertederos o bocas de tubo libres de cualquier tipo de taponamientos. Verificar diariamente posibles obstrucciones en canales de recolección. Evacuar lodos cada 5 o 6 meses. Verificar malos olores no característicos originados en el tanque y realizar los siguientes pasos: Disminuir el caudal de entrada. Agregar agua con cal. Adicionar lodo digerido de otras unidades. Agregar mezcla de cloruro férrico con agua de cal para formar sulfato de hierro. Eliminar todos los atascamientos de agua tratada.
Filtro Percolador	Mantenimiento y monitoreo regular: Chequear niveles de agua que van entrando al filtro. Dichos niveles deben ser iguales en c/tubería. Medir el nivel de agua en cada agujero del segundo canal; debe ser igual en todos. Si no están nivelados incida que hay taponamientos en las tuberías. Observar el nivel del agua sobre la superficie del lecho filtrante. Si está encima de la superficie puede indicar taponamiento. Limpiar la superficie del filtro para mantenerlo limpio de toda basura o hierba que crezca. Revisar el canal recolector principal que se localiza a la salida del filtro y quitar lodo para mantenerlo limpio. Inspeccionar las válvulas, engrasarlas una vez por mes, y reemplazar las deterioradas.
Digestor de Lodos	Limpiar la pared interna del digestor de lodo, limpiar el lodo seco que se encuentre regado en el lecho de secado. Realizarlo cada semana. Revisar las tuberías de carga y descarga de los lodos. Cada semana. Limpiar cada semana la caja de salida de los lodos.
Lecho de secado de lodos	Limpiar el lodo seco que se encuentre en el lecho de secado. Revisar cada mes las tuberías de carga y descarga de los lodos.

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PROARCA, 2002.

6.4.1 Medidas de Contingencia ante problemas operacionales de la PTAROD

Es importante contar con una guía que permita la ejecución de medidas correctivas ante problemas que puedan surgir en el funcionamiento de las unidades del sistema de tratamiento aplicado. La tabla 6.14 indica las posibles soluciones de problemas operacionales en cada una de las unidades.

Tabla 6.14 Problemas operacionales más Comunes y Posibles Soluciones a los Mismos.

Unidad	Indicadores	Posibles Soluciones
Rejillas o Cribas	Generación de malos olores	Remover los sólidos de materia orgánica con la herramienta indicada
	Paso de sólidos grandes	Desmontar rejilla si se encuentra dañada y repararla
	Ahogamiento de tubería de entrada	Remover el alto contenido de sólidos en la rejilla.
Desarenador	Generación de malos olores	Verificar la presencia de material fecal en las arenas sedimentadas y enterrarlas en la misma fosa que el material de la rejilla.
	Ahogamiento de tubería de entrada	Remover el alto contenido de arenas retenidas, o revisar si las compuertas están abiertas correctamente
	Velocidad excesiva de flujo	Reducir el área de la sección, transversal al final del recorrido de los canales para reducir la velocidad.
	Canales permanentemente ahogados	Verificar el sello hidráulico de las compuertas
Sedimentador	Olor séptico y agua de color negro	Incrementar las purgas de lodos, dar mantenimiento al drenaje y limpiar la tubería, según el caso
	Flotación de lodo	Realizar purgas de lodos más prolongadas
	Excesiva sedimentación del canal	Limpiar con agua a presión
	Cultivo excesivo de algas en el canal	Limpieza completa y más frecuente del canal de salida
	Acumulación de flotantes en superficie	Limpiar la rejilla más frecuente
	Cortocircuito de flujo	Nivelar el vertedor o la mampara deflectora.
Reactor UASB	Generación de malos olores	Verificar atascamientos en los canales de salida
	Ata presencia de partículas sólidas en el efluente	Excedente de lodos, es necesario purgar
Digestor de Lodos	Presencia de objetos sólidos en la superficie	Remover para evitar que ocasionen obstrucciones
	Distribución de lodos no uniforme	Revisar y limpiar el canal
	Descarga de lodos muy líquida	Instalar un sistema de evacuación de líquidos que se encuentran en la parte intermedia del tanque.
Lecho de secado de lodos	Lecho lleno y el lodo no se seca	Verificar obstrucciones en el drenaje existente, se recomienda voltear el material para acelerar el proceso de secado.
	Olores desagradables	Colocar cal en la superficie

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PROARCA, 2002.

La tabla 6.15 describe y proporciona la solución de problemas en la operación de Filtros.

Para evitar problemas en el funcionamiento de las unidades de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico, se hace necesario el establecimiento de una programación de Actividades de Operación y Mantenimiento (tabla 6.16), y cumplir con el mismo realizando en la frecuencia recomendada la actividad necesaria.

Estas actividades requieren que el operario cuente con los implementos necesarios y el equipo protector de seguridad apropiado para evitar accidentes y enfermedades.

Tabla 6.15 Problemas en la Operación de Filtros y Soluciones.

Problema	Descripción	Soluciones
Moscas en el filtro	Viven y se multiplican en un ambiente que alterna entre mojado y seco. Por lo tanto, son más comunes en los filtros de capacidad baja. Interferir con el ciclo de vida puede controlar el problema.	a) Aumentar recirculación por períodos cortos. Conservar las paredes mojadas Inundar el filtro durante 24 horas. Soltar las aguas residuales lentamente. Dosificar el filtro con una concentración cerca de 1 mg/l de cloro durante unas pocas horas cada semana. Asegurar que el sistema de distribución mantiene un remojo uniforme del medio.
Olores	Resultan cuando el proceso de tratamiento se vuelve anaeróbico. Como el proceso del filtro es aeróbico es necesario tomar medidas correctivas.	a) Si el afluente tiene altas cargas orgánicas o de H ₂ S: aumentar la recirculación, agregar ventilación forzada, o clorinar previamente. b) Revisar los tubos de ventilación del filtro y el desagüe para determinar si hay o no obstrucciones en la circulación. c) Revisar si hay exceso de cultivos biológicos. Aumentar la capacidad de recirculación para proporcionar más O ₂ y aumentar el desprendimiento. d) Revisar el filtro y sus alrededores para determinar si hay cultivos o escombros.
Inundación	Estancamientos o charcos resultados de la obstrucción de los vacíos en el filtro, los cuales pueden ser causados por excesivos cultivos biológicos. La carga orgánica alta, escombros, insectos, caracoles, medio inapropiado, u operación inapropiada del estanque primario son causas de excesivos cultivos biológicos	a) Remueva los escombros de la superficie del medio. b) Agite la superficie con un rastrillo o una corriente de agua de alta presión. c) Aumente la capacidad de recirculación para lavar el filtro con inundación. d) Dejar que el filtro o porciones de el se sequen durante varias horas o días para causar el desprendimiento del exceso de cultivos cuando se vuelve a mojar. e) Dosifique el filtro con una concentración cerca de 5 mg/l de cloro durante varias horas. f) Revisar unidades de tratamiento primario y corregir los defectos de operación.
Boquillas tapadas	Las boquillas tapadas son por lo general resultado de la operación deficiente del tanque sedimentador.	a) Ajustar o instalar desviadores sobre los tanques sedimentadores. b) Remover la espuma del agua superficial de los tanques sedimentadores regularmente. c) Instalar una criba de un centímetro sobre el afluente del filtro. d) Retirar el tapón hembra del extremo del tubo y aplicar con una manguera agua a presión. e) Limpiar las boquillas diariamente con un cepillo, gancho de alambre o un hierro liso de ¼”.
Desagües obstruidos	Los desprendimientos (mudas) pueden causar desagües obstruidos.	a) Lavar los desagües completamente b) Cambiar el medio desintegrado. c) Aumentar la recirculación.
Caracoles	Probablemente causado por el clima	a) Clorinar para producir un residual de 0.5 a 1 mg/l. b) Lavar el filtro con una tasa alta de recirculación.

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PROARCA, 2002.

Tabla 6.16 Programación de Actividades de Operación y Mantenimiento.

ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Rejilla	
Limpiar rejilla	2 veces al día
Lijar y pintar con pintura anticorrosivo	1 vez al año
Canal Desarenador	
Revisar sistema de compuertas	1 vez cada semana
Lijar y pintar con pintura anticorrosivo compuertas y vertedero	1 vez al año
Limpieza del canal desarenador	Cuando se llene la cámara de almacenamiento
Tanque UASB	
Verificar obstrucciones entrada y salida	1 vez al día
Limpiar y engrasar válvulas	1 vez cada seis meses
Descarga de lodos	1 vez cada 6 meses
Sedimentador	
Extracción de sólidos flotantes	1 vez al día
Extracción de lodos	Cada dos días
Limpieza del canal recolector perimetral y cincho de concreto	1 vez al día
Lijar y pintar con pintura anticorrosivo, las partes metálicas.	1 vez al año
Digestor de lodos	
Verificar la presencia de objetos extraños	1 vez al día
Evacuación de lodos a los patios de secado	Cada 2 meses en verano, cada 4 meses en invierno
Lechos de secado de lodos	
Revisar tuberías de carga y descarga de lodos	1 vez al mes
Revisar obstrucción en tuberías de drenaje	1 vez cada 2 meses

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PROARCA, 2002.

6.5 SEGURIDAD EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La prevención de accidentes es el resultado de aplicar algunos principios básicos y reconocer los peligros potenciales en las instalaciones de la Planta de Tratamiento. Estos pueden ser: tenemos:

- Daños físicos.
- Infecciones corporales, resbalones o caídas.
- Enfermedades infecciosas.
- Deficiencia de oxígeno, pérdida de conciencia.
- Manejo de productos químicos tóxicos y peligrosos.
- Peligros por inhalación de gases o vapores nocivos.
- Gases o vapores tóxicos o explosivos.

Las enfermedades infecciosas son posibles debido a la naturaleza del trabajo y el material asociado. Para reducir el riesgo es importante:

- Contar con las vacunas. Estar inmunizado al menos contra la tifoidea y el tétano.
- Lavarse las manos completamente con jabón antes de comer, después de tomar muestras de las aguas residuales o al estar en contacto directo de cualquier forma con las aguas residuales.
- Comer y tomar cualquier alimento o bebida en áreas separadas del lugar de trabajo.
- Utilizar guantes protectores, si se tienen cortaduras o piel agrietada en sus manos.
- Bañarse y cambiarse de ropa antes de ir a la casa y ponerse un cambio de ropa limpio todos los días de trabajo.

Se forman condiciones explosivas cuando el gas de sulfuro de hidrógeno o el gas metano que se generan en el proceso de descomposición de la materia orgánica se mezclan con el aire y esa combinación se tiene adicionalmente en un espacio cerrado. Vapores de gasolina o solventes volátiles infiltrados en el sistema de alcantarillado y llegando a la planta de tratamiento también pueden causar condiciones explosivas. Los digestores anaeróbicos y estructuras debajo de la tierra son áreas potencialmente explosivas.

Es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones preventivas:

- Guardar adecuadamente los utensilios o herramientas de trabajo.
- Utilizar las herramientas adecuadas para cada actividad, e informar a los supervisores oportunamente sobre la necesidad de renovarlas.
- Colocar cercas, barandas o pasamanos en lugares de peligro.
- Utilizar guantes, zapatos de hule y mascarillas para las labores.
- Cambiarse de ropa al finalizar el día laboral, y en lo posible que las prendas de trabajo permanezcan en las instalaciones.
- No tocarse la cara o la cabeza cuando se labora.
- Mantener en las instalaciones un botiquín de primeros auxilios, con medicamentos básicos.
- Lavarse bien las manos con agua y jabón antes de comer.

- Atender las recomendaciones que se den en lo referente a las labores rutinarias de operación y mantenimiento.
- No permitir el ingreso a las instalaciones a personas ajenas a los trabajos que en ella se desarrollan, a menos que se identifiquen con una autorización extendida por funcionarios del ente administrador.
- Los visitantes deben atender las recomendaciones e indicaciones que den los operadores encargados.

6.6 REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA PTAROD²¹

Dentro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales, se generan aguas residuales tratadas, lodos y gas, que pueden ser utilizados nuevamente siempre y cuando se realice el control sanitario respectivo, para protección de la salud de las personas.

6.6.1 Reutilización de Agua Tratada

La actividad agrícola puede demandar agua residual tratada principalmente por dos razones: la necesidad de un abastecimiento regular que compense la falta o escasez del recurso debido a la estacionalidad o distribución irregular de la oferta de otras fuentes agua a lo largo del año, y la necesidad de materia orgánica y nutrientes que mejoren la baja fertilidad natural de los suelos agrícolas de América Latina y que puede significar un ahorro importante en el uso de fertilizantes químicos. Entre los usos potenciales de los efluentes están:

- Riego agrícola (a veces directamente, y a veces por extracción de ríos a los cuales las aguas se hayan descargado).
- Riego de árboles y plantas.
- Riego de césped, por ejemplo en campos de golf.
- Procesos industriales.
- Cría de peces.
- Relleno de tanques de inodoros.
- Recargo de acuíferos.

²¹ CEPIS/OPS/Una estrategia para la gestión de las Aguas Residuales, Lima 2004

- Mitigación de impactos ambientales (creación de humedales artificiales)
- Usos estético / paisajístico

El reuso de aguas residuales o de aguas grises para la agricultura presenta las ventajas de ser un recurso de agua estable y constante, que contiene nutrientes para las plantas. El reuso de agua también puede ser una forma de prevenir la contaminación de aguas superficiales con nutrientes, y presenta la oportunidad de reservar agua de más alta calidad para consumo humano. Sin embargo, las aguas residuales pueden contener agentes infecciosos o contaminantes peligrosos a la salud, por lo que su reuso debe ser manejado con precaución, relacionando el nivel de tratamiento y el tipo de re-uso según normas establecidas.

Aún cuando se trata de una experiencia a muy pequeña escala, la propuesta de Fortaleza de uso de agua residual tratada en diversos cultivos incluye su industrialización para incrementar el valor agregado. Como el de las hojuelas de banano embolsado que se producen en Brasil (ver figura 6.6).



Figura 6.6 Hojuelas de Banano (Banano cultivado con agua residual Tratada).
CEPIS/OPS/ Una estrategia para la gestión de las Aguas Residuales, Lima 2004

El procesamiento industrial incrementa el valor y permite un mejor manejo de los aspectos de salud y de mercado de los productos generados con el uso del agua residual tratada.

En países como Brasil el agua residual forma parte del manejo de sus cultivos, al punto que en algunos de estos casos no se utiliza agroquímicos, incluso para actividades a escala comercial.

Un metro cúbico de agua residual contiene en promedio 15 gramos de nitrógeno y 3 de fósforo, dos de los elementos más importantes para la actividad agrícola.

Además contiene oligoelementos valiosos para los cultivos y su contenido de materia orgánica mejora la textura del suelo. En Tacna, Perú donde se riega tanto con agua superficial como con agua residual tratada, se ha registrado por años las diferencias de rendimientos entre cultivos. En todos los casos el rendimiento de los cultivos regados con agua residual es superior como se muestra en la tabla 6.17.

Tabla 6.17 Comparación de Rendimientos de Cultivos Generados con dos Fuentes de Agua de Riego en Tacna, Perú (en TM/Ha)

Cultivo	Agua Superficial de pozo	Agua Residual tratada	Mayor rendimiento (%)
Alfalfa	10	12	20
Maíz	2	5	150
Trigo	2	3	50
Cebada	2	4	100
Avena forraje	12	22	83
Tomate	18	35	94
Ají	7	12	71

Fuente: CEPIS/OPS. Una estrategia para la gestión de las Aguas Residuales, Capítulo 2.4, Lima 2004

Estos resultados afirman la viabilidad de utilización del agua residual tratada en la agricultura, considerando el cumplimiento de Normas específicas. En el año de 1989 se publicaron las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre el uso de las aguas residuales en agricultura y acuicultura. (Ver tabla 6.18).

Tabla 6.18 Guías de la Organización Mundial para la Salud (OMS); 1989, para el Reuso de Aguas Residuales.

Categoría	Condiciones de Reutilización ^b	Grupo Expuesto	Nematodo Intestinal ^a (número de huevos por litro)	Coliformes fecales (media geométrica por cada 100 ml)
A	Irrigación de cultivos que probablemente serán consumidos crudos, campos deportivos, parques públicos.	Trabajadores, consumidores, Público.	≤1	≤1000
B	Irrigación de cultivos industriales, forraje pasto y árboles.	Trabajadores	≤1	Ningún estándar recomendado
C	Irrigación localizada de cultivos en categoría B si no hay exposición a trabajadores ni al público	Ninguno	No aplicable	No aplicable

^a Especies áscaris, Trichuris y Anquilostomas.

^b En el caso de árboles frutales, la irrigación debe cesar dos semanas antes de la recolección de la fruta y ninguna fruta debe ser recolectada del suelo.

Es importante notar que las guías se basan en solo dos parámetros de calidad, indicadores de presencia de patógenos en el agua: nematodos intestinales y coliformes fecales.

Sin embargo, en general, la utilización de las aguas residuales en Latinoamérica no ha sido promovida por los gobiernos, si no por lo contrario prohibida por considerárselas responsable de muchos de los problemas sanitarios existentes. Para el riego de cultivo de frutas y legumbres (categoría A) se debe contar con un sistema de tratamiento con un alto grado de remoción de elementos patógenos y un programa de monitoreo regular de la presencia de patógenos (nemátodos y coliformes fecales).

6.6.2 Reutilización de Lodos

El lodo es un subproducto que se genera en las operaciones y procesos de Tratamiento de las aguas residuales suele ser líquido o líquido semisólido. La digestión y secado de los lodos se realiza dentro de la planta de tratamiento. El lodo “estabilizado” generado del tratamiento es valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo, puede emplearse en agricultura o como fertilizante de estanques empleados en acuicultura. El uso de los lodos debe de fomentarse en donde sea posible, siempre y cuando se provea de la debida protección de la salud. La materia incorporada mejora el suelo por las siguientes razones:

- Permite una mayor retención de la humedad.
- Adiciona al suelo los nutrientes necesarios para las plantas y facilita su retención en él.
- Incrementa la actividad biológica del suelo.
- Evita o al menos disminuye la necesidad de fertilizantes químicos.
- Las condiciones a este uso son:
- Contenido de metales que puedan llevar a valores límites de toxicidad.
- Presencia de patógenos y semillas indeseables que puedan hacer inutilizable el lodo en ciertos casos.

6.6.2.1 Análisis de Lodos (Según REAL DECRETO 1310/1990, del 29 de Octubre de 1990, ESPAÑA)

1. Por regla general los lodos de depuración deberán analizarse, al menos, cada seis meses en la fase de producción. Si surgen cambios en la calidad de las aguas tratadas, la frecuencia de

tales análisis deberá aumentarse. Si los resultados de los análisis no varían de forma significativa a lo largo de un período de un año, los lodos deberán analizarse, al menos, con la frecuencia que aconseje su variación estacional y, como máximo, cada doce meses.

2. En el caso de depuradoras con capacidad de tratamiento inferior a 300 Kg. DBO₅ por día, el análisis de los lodos se limitará a una vez al año.
3. Los lodos tratados deberán ser analizados cuando se considere acabado el proceso de tratamiento y los resultados obtenidos en el análisis de los parámetros que se indican en el punto 4, junto con la especificación de los nombres y ubicación de las depuradoras en su caso, y el de las entidades locales u otros titulares, constituirá la documentación que obligatoriamente acompañará a las partidas comercializadas para su control en destino.
4. Los parámetros que, como mínimo, deben ser analizados son los siguientes: Materia Seca, Materia Orgánica, pH, Nitrógeno, Fósforo y Metales Pesados (Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo, Zinc, Mercurio y Cromo).

La tabla 6.19 presenta para los lodos destinados a la utilización agraria el valor límite de concentración de metales pesados presentes en los lodos.

Tabla 6.19 Valor Límite de Concentración de Metales Pesados en Lodos Destinados a Utilización Agraria (mg/Kg).

Parámetros	Valores Límite: Suelo con pH menor de 7	Valores Límite: suelo con pH mayor de 7
Cadmio	20	40
Cobre	1000	1750
Níquel	300	400
Plomo	750	1200
Zinc	2500	4000
Mercurio	16	25
Cromo	1000	1500

Fuente: Real decreto 1310/1990, de 29 de octubre, España

6.6.3 Gases generados

Los gases generados (mezcla de gases que contiene en su mayor parte metano) en el proceso anaeróbico, pueden ser recolectados para su utilización como combustible. Esto puede ser utilizado directamente en la planta de tratamiento como fuente de calor, o bien ser distribuido dentro de la misma comunidad para su combustión y utilización en la cocción de alimentos. Otra alternativa viable para la utilización de los gases generados, es la combustión de estos gases para

la generación de energía eléctrica, esto requiere un costo de inversión inicial bastante alto, debido a la adquisición del equipo, el cual sería básicamente un motorreductor.

Debido a que en el proceso anaeróbico no sólo se genera metano, sino también otros gases como el sulfuro de hidrógeno, este al pasar por un proceso de combustión se convierte en SO_2 . Una de las alternativas de eliminar el H_2S , es hacer pasar el gas a través de un filtro de hidróxido férrico. El retrolavado de este filtro, produce Ácido Sulfúrico, el cual puede ser utilizado, dependiendo su grado de pureza. En algunos casos, la cantidad de H_2S presente en la mezcla de gases finales suele ser muy pequeña, por lo que esta alternativa no resulta efectiva ó viable.

Para la eliminación de los olores que producen algunas sustancias en los gases generados, se utilizan filtros que contienen virutas de madera, los cuales forman una película biológica que elimina las sustancias que producen olores desagradables en la mezcla de gases finales.

Sin embargo los equipos utilizados son de alto costo. Por lo general la disposición final de ellos es el quemarlos, para ser liberados directamente a la atmósfera una vez quemados.

6.7 PROPUESTAS ADMINISTRATIVAS Y DE SOSTENIBILIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Una adecuada administración de la PTAROD es indispensable para que el funcionamiento cumpla los propósitos visionados cuando ésta fue diseñada y construida.

Esta propuesta describe las estrategias en que el ente administrador puede apoyarse para que la PTAROD funcione de manera continua y se mantenga durante la vida útil. El liderazgo, la organización, la participación activa y empoderamiento de los funcionarios de la institución administradora, actores sociales locales y los habitantes deben dar permanencia al servicio de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad de vida y proteger el medio ambiente.

Los aspectos de sostenibilidad cubren una serie de acciones que se interrelacionan y se complementan entre si, dentro de los que se pueden mencionar los siguientes:

1. ***Sostenibilidad de la obra física:*** Asegurar la perdurabilidad de la obra a través del mantenimiento y operación efectiva de la planta de tratamiento.
2. ***Sostenibilidad del servicio:*** garantizar la eficiencia de los procesos de tratamiento y los límites de los parámetros de control de calidad, para asegurar que el efluente (descarga) de la planta de tratamiento cumpla con las normas y reglamentos vigentes en el país.

3. ***Sostenibilidad económica y financiera:*** es importante asegurar puntualmente el pago por el servicio y realizar una eficiente y transparente inversión de los fondos recaudados única y exclusivamente de la PTAROD. Además de promover la importancia de asegurar una capacidad de gestión financiera pudiendo ser local, regional o nacional, con énfasis al fortalecimiento del mejoramiento del proyecto o ampliación de los mismos.
4. ***Sostenibilidad de la participación comunitaria:*** debe existir un programa para lograr la fuerte participación comunitaria que permita procesos de sensibilización, información y educación entre la población beneficiaria, así como la colaboración para el cumplimiento de metas propuestas en los proyectos, toma de decisiones y otras acciones comunitarias.
5. ***Sostenibilidad de participación interinstitucional:*** la participación de instituciones y organizaciones deberán tener coordinaciones permanentes con el ente administrador para lograr el apoyo técnico y financiero a dichas gestiones y que contribuyan a mejorar la eficiencia del servicio.
6. ***Sostenibilidad legal:*** es parte fundamental que garantiza la potestad del terreno y la infraestructura de la planta de tratamiento. La existencia de una Ordenanza Municipal o Reglamento, relacionada al manejo de las aguas residuales y Planta de Tratamiento es esencial, donde regule las actitudes de la población para proteger el medio ambiente y garantizar económicamente la sostenibilidad por los usuarios a través del pago por el servicio de alcantarillado sanitario y tratamiento de las aguas residuales. La vigilancia por el ente administrador del cumplimiento de dicho Reglamento es una acción en función de optimizar la planta.

El apoyo institucional y una supervisión efectiva de la PTAROD contribuye a mejorar la eficiencia en la operación y mantenimiento, debido a que se puede dar una pronta respuesta a problemas tales como:

- Suministro de herramientas
- Seguridad y protección al personal operador y verificación de la correcta aplicación de las actividades según lo indicado en el presente estudio de acuerdo al mantenimiento para cada equipo.
- Los costos operativos de la planta de tratamiento deben ser cubiertos por la tarifa, donde se consideran los gastos de salarios del personal operador y administrativo, suministro de

herramientas, papelería, reparaciones varias e imprevistos. Los pagos puntuales y una mora baja se transforma en un servicio eficiente para que la inversión de los fondos recaudados sean al menos igual a los gastos operativos.

Las Propuestas Administrativas y de Sostenibilidad se resumen a continuación:

- Fortalecer y apoyar al ente administrador, el cual debe estar pendiente y vigilante del buen funcionamiento de la PTAROD y de la seguridad ocupacional de los operadores.
- Elaborar un reglamento que regule las actitudes de la población para proteger el medio ambiente y garantizar económicamente la sostenibilidad por los usuarios a través del pago por el servicio del agua potable, drenaje sanitario y el tratamiento de las aguas residuales.
- Mantener informado y concienciar a los pobladores sobre la función de la Planta de Tratamiento, como proyecto que protege la salud y el medio ambiente. Así como diseminar mensajes sobre los cambios de actitudes y cultura de pago para asegurar la vida útil y el buen funcionamiento de la Planta.
- Mantener la coordinación y la comunicación estrecha con representantes de instituciones y organismos locales (Ministerios de Salud y Medio Ambiente, Comités Ambientalistas, Autoridades de Seguridad Pública, etc.), asumiendo los diferentes roles y compromisos que conducen a la misma causa del proyecto.
- Garantizar la sostenibilidad del servicio de la PTAROD, a través de la aplicación de un programa de Monitoreo de Efluentes a la salida de la Planta y en puntos específicos del Sistema de Tratamiento en los que se considere necesario que lo requieran, esto con la finalidad de asegurar que los efluentes de la planta de tratamiento no superen los límites máximos permitidos de los parámetros establecidos por las Normas y Reglamentos correspondientes.
- Establecer un programa continuo de evaluación de riesgos y planes de contingencia; así como también de los planes de monitoreo, y revisión de manuales operativos de la planta a fin de garantizar un buen funcionamiento de las mismas.

7. ELABORACIÓN DE GUÍAS PARA EL DISEÑO DE PLAN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y PLAN DE CONTINGENCIA

Un aspecto fundamental que se ha tenido en cuenta en la elaboración de las guías, es la búsqueda de la mejora continua en la gestión de la PTAROD. De tal modo que al finalizar la aplicación de una guía, se evalúen los resultados y se establezca el inicio de un nuevo ciclo de evaluación.

Dado que no existen Plantas de Tratamiento Perfectas, es importante mantener la búsqueda de herramientas que contribuyan a obtener, cada vez mejores resultados del proceso de Tratamiento, y de esta manera garantizar el cumplimiento de los estándares establecidos por la legislación salvadoreña en esta área.

Las guías que se elaboraron son:

1. Guía para el Diseño de un Plan de Tratamiento de Efluentes Líquidos de Origen Doméstico.(Anexo D)
2. Guía para la Evaluación de Riesgos Ambientales y Planes de Contingencia. (Anexo E)

Para cada guía se tomaron en cuenta los elementos que se consideraron convenientes y necesarios para la realización ó aplicación de las mismas en el caso de una planta de tratamiento en funcionamiento; sin embargo puede aplicarse a una Planta de Tratamiento que va a iniciar funciones ó que está en proceso de construcción.

7.1 GUIA PARA EL DISEÑO DE UN PLAN DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO.

Esta guía fue desarrollada con la finalidad de proporcionar una herramienta para la elaboración de un Plan de Tratamiento de Residuos Líquidos, el cual deberá contemplar todos los aspectos relacionados al funcionamiento de la Planta de Tratamiento y a la disposición final de los residuos generados por la misma.

La guía está compuesta de 11 Tareas; éstas agrupan una serie de acciones para lograr los resultados deseados. Las acciones se presentan a continuación:

1. Formación del Equipo de Trabajo.
2. Datos Generales.

3. Descripción del Proceso de Tratamiento.
4. Descripción de la Situación Actual.
5. Balance de Materiales.
6. Esquematización de Diagramas de Flujo con Entradas y Salidas por Equipo.
7. Análisis del Funcionamiento de la Planta.
8. Propuestas de Mejora.
9. Seguimiento de Propuestas de Mejora.
10. Monitorización de Implementación de Propuestas.
11. Evaluación de Resultados Obtenidos.

7.2 GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y PLANES DE CONTINGENCIA.

La finalidad de realizar una evaluación de Riesgos es la elaboración de los planes de contingencia así como también planes preventivos. De tal forma que se esté preparado para disminuir y afrontar un riesgo ambiental potencial y también para aplicar medidas de mitigación ó contingencia en caso de que el riesgo dejase de ser riesgo y se convirtiera en un incidente ó accidente.

La realización de la evaluación se ha concentrado en cinco pasos fundamentales; que a su vez engloban una serie de factores ó acciones, las cuales son de utilidad para la realización de los objetivos de la guía y de cada punto específico.

Los pasos citados en la guía son:

1. Diseño del Equipo de Evaluación.
2. Datos Generales.
3. Descripción del Proceso.
4. Análisis y Evaluación de Riesgos Ambientales.
5. Medidas de Contingencia.

Ambas guías, fueron desarrolladas siguiendo el objeto de buscar la mejora continua, aplicando el famoso ciclo de Deming (PDCA; Plan, Do, Check, Act).

La primera actividad que debe realizarse, previo a la realización y aplicación de la guía, es la formación de un equipo de trabajo comprometido con los resultados de la investigación, así como también que estén concientes de lo que se va a realizar y, que posean cierto nivel de conocimiento sobre determinadas áreas que afectan al proceso de tratamiento.

Una vez formado el equipo de trabajo se deben definir los roles a desempeñar por cada uno de los miembros, y así planificar las acciones a realizar y definir los responsables en su ejecución.

Se procede a realizar las actividades que se han planificado, basándose en el esquema que las guías ofrecen, lo primero que debe hacerse es recolectar toda la información posible que se considere de utilidad para poder realizar una caracterización del estado inicial, y poder así evidenciar inconsistencias, necesidades, etc.

Definida la situación actual, se realiza el análisis en busca de todas aquellas oportunidades y potenciales de mejora que la Planta de Tratamiento posee y se determina cuales son las acciones que deben tomarse para mejorar la situación actual y optimizar los resultados de los tratamiento.

Al tener definidas las acciones de mejora deberán ejecutarse y para ello se requerirá establecer un monitoreo de las actividades que se están desarrollando, de manera tal, que se asegure la correcta aplicación de las propuestas realizadas y así garantizar un buen resultado.

Una vez terminada la implementación de las propuestas de mejora, es conveniente realizar una evaluación de los resultados obtenidos, para determinar el éxito de los resultados esperados. A partir de estos resultados se decide tomar acciones concretas para mejorar, de esta forma se vuelve al punto de partida del ciclo.

Esta es la metodología que se ha seguido en la elaboración de ambas guías, las cuales se han resumido en pasos lógicos y secuenciales, debido a los niveles de complejidad que éstas requieren, detallando las acciones básicas que el equipo de trabajo debe realizar para la implementación de la guía, y para la obtención de los resultados deseados.

8. CONCLUSIONES

- Los análisis fisicoquímicos realizados en las muestras de los efluentes de las PTAROD evaluadas indican que el incumplimiento de las exigencias de la norma (NSO 13.49.01:06) por parte de las plantas es: del 60% para la DBO₅ y Sólidos Suspendidos Totales, y 40% DQO y Sólidos Sedimentables.
- Las causas más comunes del mal funcionamiento del 70% de las PTAROD analizadas, son: ausencia de Manual Operativo y de Mantenimiento del Sistema de Tratamiento aplicado, una gestión financiera deficiente, ausencia de programas de capacitación técnico-operativa del personal y la falta de monitoreo sobre la calidad de efluentes.
- El 90% de las PTAROD visitadas (según figura 5.33) no aprovechan ninguno de los usos potenciales que los residuos generados (efluentes, lodos, gas) poseen.
- La administración del 100% de las PTAROD evaluadas en este estudio no es la adecuada, puesto que no se aprovechan los potenciales de mejora que estas poseen, ni se realizan evaluaciones periódicas de su funcionamiento. Estas plantas están funcionando de manera empírica, lo que representa un problema para la comunidad a la que están prestando servicio. Entre los potenciales de mejora que se identificaron en las plantas de tratamiento se tienen:
 - ✓ *Evaluación de Riesgos.* No se realizan evaluaciones de los posibles problemas que una planta de tratamiento está expuesta a enfrentar, tanto debido a la naturaleza del proceso, así como también de todos aquellos factores externos al proceso que pueden afectarlo.
 - ✓ *El manejo de contingencias de una planta de tratamiento.* El 100% de las plantas evaluadas no poseen planes de contingencia, ni tampoco existen manuales para manejar situaciones imprevistas que afecten el proceso de tratamiento u otro problema que tenga como resultado que la planta se vea forzada a detener sus funciones (punto de quiebra).
 - ✓ *Componente Ambiental.* En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, no se toma en cuenta el componente ambiental y por ende tampoco el bienestar social, los cuales deben tener relevancia al diseñar e implementar un plan de tratamiento de residuos.
 - ✓ *Planes y Sistemas de Monitoreo.* No existe plan de monitoreo y tampoco se lleva registro de la calidad de los efluentes tanto de la planta de tratamiento o de alguna etapa del proceso que así lo requiera.

9. RECOMENDACIONES

- Ejecutar las guías proporcionadas respecto al diseño y riesgos ambientales, para facilitar la identificación de mejoras en el funcionamiento y mantenimiento de la planta, así como también prevenir riesgos que puedan perjudicar la estabilidad operativa de la misma.
- Proponer, Apoyar y Promover Proyectos de Graduación, pasantías y programas de trabajo social que se orienten a la evaluación y optimización de sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y cualquier otro problema que afecte al Medio Ambiente salvadoreño. Esto implica el motivar e incentivar a la Comunidad Estudiantil Universitaria a la aplicación de los conocimientos adquiridos en la búsqueda de soluciones a las problemáticas medio ambientales, y a la vez despertar el interés y la conciencia Social e Institucional en la acción conjunta de la protección y cuidado de los Recursos Naturales.
- Incrementar y Orientar el interés y el esfuerzo por la aprobación y entrada en Vigencia de Normas y Reglamentos aplicables a la gestión de Aguas Residuales y Medio Ambiente en General, con el objeto de tener los instrumentos legales que impulsen el optimizar la utilización de los recursos naturales y minimizar el consecuente impacto ambiental generado, a través de regular la contaminación que producen las diversas actividades que generan desechos de tipo ordinario o de tipo especial.
- Las comunidades que reciben el servicio de tratamiento de Aguas Residuales, deben organizarse, informarse y concientizarse sobre el sistema de tratamiento aplicado a sus vertidos líquidos y; las implicaciones ambientales y sociales de éstos vertidos, de tal manera que se involucren en el mejoramiento del servicio que actualmente reciben. Además, velar por el cumplimiento de las responsabilidades del ente administrador de la planta de tratamiento, en caso de surgir problemas que afecten el buen funcionamiento de la misma.
- Divulgar los índices de contaminación hídrica y todos aquellos problemas referentes al Tratamiento de Residuos Líquidos, a través de los medios de comunicación respectivos, para lograr una mayor concientización de la población sobre la situación actual del recurso Hídrico en el país. También divulgar las soluciones que se proponen a éstos problemas, los proyectos orientados al mejoramiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales; y a la preservación y protección del Medio Ambiente. Implementar programas educativos que instruyan sobre la gestión del agua y su disposición.

- Establecer sistemas de monitoreo de la Planta de Tratamiento, así mismo como mantener un sistema de registro sobre las diferentes actividades que se realizan en la planta de tratamiento. En el Anexo E se proporcionan algunos formularios que pueden ser de utilidad para el sistema de monitoreo de la Planta de Tratamiento.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- **Administración de Acueductos y alcantarillados (ANDA)**, Acta No 1937 Punto XIV, 15 Octubre 2004, Vigencia de la Norma a partir del 1 de Enero de 2005. *Normativa para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario*. San Salvador, El Salvador.
- **Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, Decreto No 955**. *Código de Salud de El Salvador*. 10a Edición. (2005)
- **Carranza Mejía, Wilfredo y Elías Portillo, Celina**. *Incorporación al Ciclo Ecológico de una Mezcla de Heces y orina Humana y Desechos Vegetales para la Obtención de Biogás y Abono Orgánico Nivel Laboratorio*. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador. (1992)
- **Metclaf & Eddy**. *Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales*. 2ª. Ed. Editorial Labor S.A. Barcelona, España. (1994)
- **Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS); Gerencia de Salud Pública**, 2002. *Programa de Manejo de Aguas Residuales*. San Salvador, El Salvador.
- **Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)**. *Ley del Medio Ambiente de El Salvador*. Diario Oficial República de El Salvador TOMO No339, Número 79, San Salvador. Decreto Legislativo No 233. El Salvador. (4 de mayo, 1998)
- **Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)**. *Reglamento Especial de Aguas Residuales de El Salvador*. Decreto No 39. (2000)
- **Seoáñez Calvo, Mariano**. *AGUAS RESIDUALES: TRATAMIENTO POR HUMEDALES ARTIFICIALES. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona, España. México. (1999).

ANEXO A

FORMULARIO AMBIENTAL

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCION DE GESTIÓN AMBIENTAL

10.1.1.1.1.1.1.1

FORMULARIO

AMBIENTAL

No. de entrada : _____

SANEAMIENTO BÁSICO

No. de salida: _____

ACUEDUCTOS, ALCANTARILLADOS No. de base de

datos: _____

Y/O PLANTAS DE TRATAMIENTO

A.-INFORMACION GENERAL

Información del titular (propietario) que propone la actividad, obra o proyecto, sea persona natural o jurídica, pública o privada (anexar para personas jurídicas, fotocopia de la personería de la empresa y de la representación legal)

I.- DEL TITULAR (propietario)
DATOS PERSONALES

1. NOMBRE DEL TITULAR : _____

2. DOCUMENTO UNICO DE IDENTIDAD (D.U.I.): _____

3. DOMICILIO PRINCIPAL. Calle/Avenida: _____ Número: _____

Colonia/Cantón: _____ Mpio/Dpto: _____

Tel: _____ Fax: _____ Correo Electrónico: _____

4. DIRECCION PARA NOTIFICACIÓN Y/O CITACIÓN: _____

5. REPRESENTANTE LEGAL: _____

II.- IDENTIFICACIÓN, UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD, OBRA O PROYECTO

1. NOMBRE DEL PROYECTO:

2. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN FISICA: actividad, obra o proyecto: **Deberá incluir mapa/ croquis, indicando linderos y colindantes.**

Calle/Avenida/Comunidad : _____ Colonia/Cantón:

Municipio(s): _____ Departamento:

3. INDIQUE SI PARTICIPAN OTROS MUNICIPIOS: [] Sí [] No
Cuáles: _____

4. FORMA PARTE DE UN: (Sólo aplica para el Sector Público) [] Plan [] Programa []
Proyecto aislado
Nombre del Plan/Programa:

5. Realizó Evaluación Ambiental Estratégica: [] Sí [] No

6. AMBITO DE ACCION: [] Urbano [] Rural [] Costero– Marino [] Area protegida

7. TIPO DE PROYECTO: [] Acueductos [] Alcantarillados [] Plantas de Tratamiento

8. NATURALEZA: [] Nuevo [] Ampliación [] Rehabilitación [] Mejoramiento [] Otro _____

9. DERECHOS DE SERVIDUMBRE Y DERECHOS DE PASO: Presentar copias de las certificaciones respectivas

10. REALIZÓ ANÁLISIS COMPARATIVO DE alternativas de rutas y/o sitios de ubicación:

Fuente: [] Sí [] No Sistema de Tratamiento: [] Sí [] No Tuberías: []
Si [] No

11. NECESIDAD DE REUBICAR PERSONAS: [] Sí [] No [] Permanente []
Transitoria

[] < 50 personas [] 50 a 100 personas [] > 100 personas

II. III DE LAS CARACTERISTICAS ESPECÍFICAS DE LA ACTIVIDAD, OBRA O PROYECTO

1. ESTADO DEL PROYECTO: [] Prefactibilidad [] Factibilidad [] Diseño Final

2. ETAPAS DE EJECUCION: [] Construcción [] Operación []
Mantenimiento

3. SI EL PROYECTO ES DE ACUEDUCTO O ALCANTARILLAD. Indique la longitud de la tubería:

menos de 500 m de 500 a 2.000 m más de 2.000 m

4. SI ES DE ABASTECIMIENTO: Indique la fuente a utilizar: Existente Nueva

5. EN CASO DE SER NUEVA, EXPLIQUE _____

6. CAUDAL DIARIO A EXTRAER CALCULADO: _____ época seca época lluviosa: _____

7. SE CONSTRUIRA PLANTA DE TRATAMIENTO: Si No

Si la respuesta es afirmativa. Indique el Tratamiento: Potabilización Aguas Residuales (servidas)

Caudal a tratar (Q): _____ m³/seg Sitio de descarga final:

7. DIAMETRO PROMEDIO DE LA TUBERÍA A INSTALAR (Acueductos y/o Alcantarillado).

menos de 2 pulg. de 2 a 12 pulg. más de 12 pulg.

8. VOLUMEN A TRANSPORTAR POR DIA: menos de 16 m³ de 16 a 160 m³

de 160 a 800 m³ más de 800 m³ De forma: Permanente Transitorio

9. POBLACIÓN SERVIDA: Cuota de abastecimiento calculado por día _____ litros/per/día

10. TIPO DE TERRENO PARA LA UBICACIÓN DE LA TUBERÍA : Por carretera asfaltada _____ km

Por camino de tierra _____ km Otros _____

Requiere apertura de caminos permanente transitorio _____ Km.

11. DESCRIPCION DE LAS ACCIONES TIPICAS EN LAS ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN , OPERACIÓN Y CIERRE

ETAPAS	ACCIONES TIPICAS (actividades)	MÉTODO DESCRIPCIÓN	VOLUMEN/ CANTIDAD
CONSTRUCCIÓN			
OPERACIÓN			
CIERRE			

IV. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE LA ACTIVIDAD, OBRA O PROYECTO

1. EN EL AREA DEL PROYECTO SE ENCUENTRAN: Ríos Manantial Escuelas

Industrias Áreas Protegidas Lugares turísticos Zonas de recreo Sitios valor cultural Centros poblados

Nombre las que han sido marcadas: _____

2. EL AREA DEL PROYECTO SE ENCUENTRA EN UNA ZONA SUSCEPTIBLE A:

Sismos Inundaciones Erosión Hundimiento Deslizamientos Marejadas

3. COBERTURA VEGETAL

VEGETACIÓN PREDOMINANTE: Pastizales Arbustos Bosque Cultivos

En el Trazo de la Tubería; Si No En el sitio de descarga: Si No

En el sitio de planta de tratamiento: Si No

V. ASPECTOS DE LOS MEDIOS FÍSICO, BIOLÓGICO, SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL QUE PODRIAN SER AFECTADOS POR LA EJECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD, OBRA O PROYECTO. Indique los recursos a ser afectados en cada una de las etapas.

11.1 ETAPAS	RECURSOS					CUANTIFICACIÓN EN m, m ² , kms.
	SUELOS	AGUA	VEGETACIÓN	FAUNA	AIRE	
CONSTRUCCIÓN						
OPERACIÓN						
CIERRE						

V.I INDIQUE SI SE AFECTARÁN COMPONENTES DEL MEDIO SOCIOECONOMICO, MONUMENTOS HISTÓRICOS Y VALORES CULTURALES.

V.2 RECURSO HUMANO. Detallar el número de personas que serán requeridas en las diferentes etapas

Mano de obra	CONSTRUCCIÓN		OPERACIÓN		CIERRE
	PERMANENTE	TEMPORAL	PERMANENTE	TEMPORAL	TEMPORAL

VI. IDENTIFICACIÓN Y PRIORITIZACIÓN DE LOS IMPACTOS POTENCIALES GENERADOS EN LA ACTIVIDAD, OBRA O PROYECTO. Indique los impactos causados sobre los recursos por la ejecución de las diferentes actividades

IMPACTOS POTENCIALES	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD (m ³ /semana)	SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL/ MEDIO RECEPTOR
SUELOS			
AGUAS			
VEGETACIÓN			
FAUNA			
AIRE			
MEDIO SOCIO ECONÓMICO			

VI.1 POSIBLES ACCIDENTES, RIESGOS Y CONTINGENCIAS

INDIQUE LOS POSIBLES ACCIDENTES, RIESGOS Y CONTINGENCIAS QUE PUEDAN OCASIONARSE EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROYECTO (construcción, operación o cierre)

VII. MARCO LEGAL APLICABLE (A nivel Nacional, Sectorial y Municipal)

NOTA: En caso de existir en el marco legal (Nacional, Sectorial y Municipal), una norma que prohíba expresamente la ejecución de la actividad, obra o proyecto en el área propuesta, la tramitación realizada ante éste Ministerio quedará sin efecto

DECLARACION JURADA

El suscrito _____ en calidad de titular del proyecto, doy fe de la veracidad de la información detallada en el presente documento, cumpliendo con los requisitos de ley exigidos, razón por la cual asumo la responsabilidad consecuente derivada de esta declaración, que tiene calidad de declaración jurada.

Lugar y fecha: _____

Nombre del titular (propietario)

Firma del titular (propietario)

La presente no tiene validez, sin nombres y firma del propietario o su representante legal debidamente acreditado.

**SOLO PARA USO OFICIAL: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL**

I. ANALISIS AMBIENTAL

- A. LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA EN EL FORMULARIO AMBIENTAL ES:
 A.1 CANTIDAD DE INFORMACIÓN: [] COMPLETA [] INCOMPLETA
 A.2 CALIDAD DE LA INFORMACIÓN: [] BUENA [] REGULAR [] INCOMPLETA
 B. RESULTADO DE LA INSPECCIÓN TÉCNICA AL SITIO DE LA ACTIVIDAD, OBRA O PROYECTO

Se deberán indicar los posibles efectos generados por las actividades de cada etapa, así como las medidas ambientales previsibles para prevenirlos, atenuarlos, corregirlos o compensarLOS.

ETAPAS	ACCIONES TÍPICAS	DESCRIPCIÓN / MÉTODO	EFFECTOS POTENCIALES (Positivos y Negativos)	MEDIDAS AMBIENTALES PREVISIBLES
CONSTRUCCIÓN (INCLUYE PREPARACIÓN DEL SITIO)				
Funcionamiento				

C.DICTÁMEN TÉCNICO

FECHA: / / TÉCNICO RESPONSABLE DE LA DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

ANEXO B

LISTA DE VERIFICACION DE INFORMACION

LISTA DE VERIFICACION DE PTAROD

Planta a Evaluar: _____

Fecha: _____

A Diseño de la Planta de Tratamiento		SI	NO
1	La planta de tratamiento es un diseño propio?		
2	Los Tratamientos fueron diseñados ó adecuados a las condiciones reales a las que serían sometidos?		
3	El espacio destinado para la ubicación de la planta es adecuado?		
4	La planta presenta un margen de seguridad respecto de la población actual y una predicción de incremento de la población?		

B Funcionamiento de la Planta de Tratamiento		SI	NO	ALTO	MEDIO	BAJO
5	Existe un Plan de Monitoreo del proceso? En qué nivel?					
6	Se mantiene monitoreo sobre la calidad del efluente?					
7	Existe homogenización de Caudal de entrada?					
8	Los diferentes equipos de la planta están en condiciones adecuadas de funcionamiento? En qué nivel?					
9	Existen puntos de recirculación dentro de la planta?					
10	Hay desprendimiento de olores?? En qué nivel??					
11	Se ha tenido algún problema en el funcionamiento de la planta?					
12	Si hubo algún problema en algún momento, se ha aprovechado el conocimiento adquirido en esa ocasión?					
13	Se identifican potenciales de mejora en la planta de tratamiento?					
14	Existe un plan de limpieza ? En qué grado de seriedad ?					

C Mantenimiento, Seguridad y Plan de Contingencia		SI	NO
15	Existe un plan de mantenimiento periódico?		
16	El Mantenimiento es realizado por una empresa predeterminada?		
17	Los equipos del proceso de tratamiento tienen protección contra lluvias u otro tipo de contaminación externa (ejemplo hojas de árboles)?		
18	Se ha producido algún tipo de accidente en la planta?		
19	La planta muestra condiciones seguras para los operarios?		
20	Existe un plan de contingencias para emergencias en funcionamiento?		
21	Existen puntos de fugas durante el proceso de tratamiento?		
22	Existen riesgos en la manipulación de químicos?		
23	Se dispone del equipo adecuado para el personal de la planta?		
24	El acceso a la planta está restringido?		
D Personal de la planta de tratamiento		SI	NO
25	Existe vigilancia permanente por el personal que labora en la planta?		
26	Está el personal a cargo de la planta capacitado adecuadamente para garantizar un buen funcionamiento de la planta?		
27	Se invierte en capacitación del Personal que labora en la planta?		
28	Los operarios ó encargados están aptos para llevar a cabo un plan de contingencia en caso de ser requerido?		
29	Se dispone de asistencia técnica oportuna y adecuada?		

30	Existe un plan sobre la disposición final segura de los residuos sólidos?		
31	Existe un plan sobre la disposición final segura de los residuos gaseosos (en caso de haberlos)?		
32	Existe utilización ó comercialización de residuos?		
33	Se da tratamiento a los residuos previo a su utilización ó comercialización?		
34	Existe alguna utilización del agua de la fuente receptora aguas abajo del punto de descarga del efluente de la planta de tratamiento?		

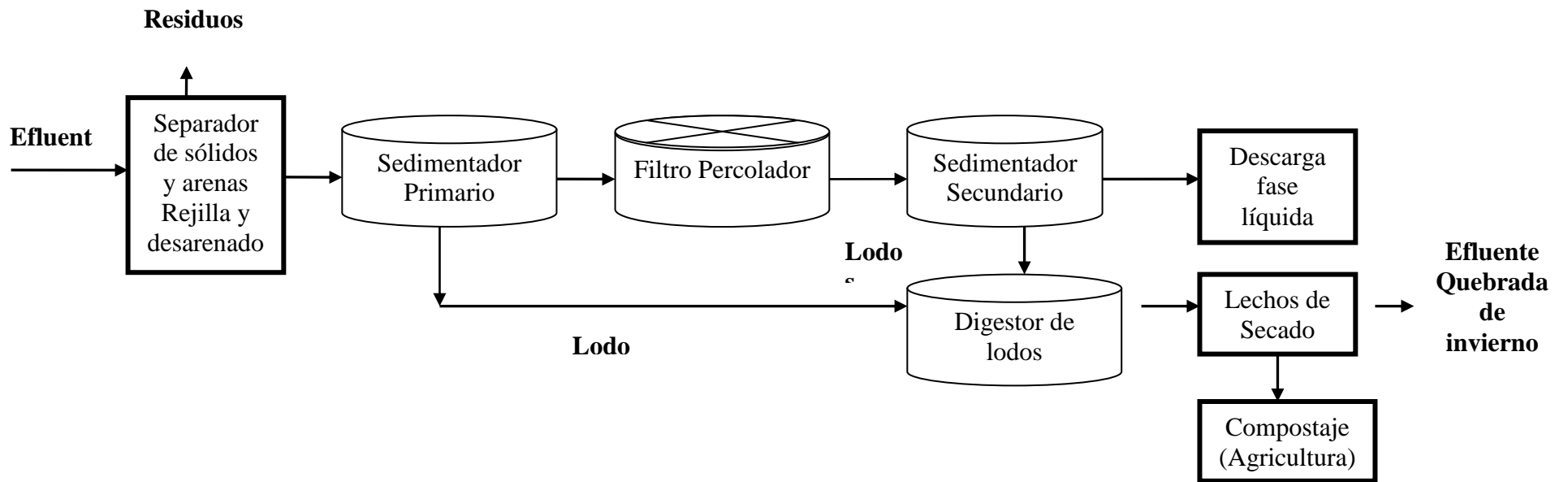
F Factores Externos de Importancia		SI	NO	ALTO	MEDIO	BAJO
35	Las tuberías de aguas domésticas se unen con las de aguas lluvias (Son alcantarillados Unitarios)?					
36	En temporada lluviosa surgen problemas en el proceso de tratamiento y en el caudal de entrada?					
37	En temporada seca surgen inconvenientes respecto al flujo que entra a la planta?					
38	Existe alguna actividad agrícola ó agropecuaria cercana a la planta?					
39	Hay talleres ó algún tipo de actividad industrial ó semi-industrial dentro de la comunidad?					
40	Considera la existencia de un sistema de recolección de Basura Adecuado (en la comunidad)?					
41	Se promueve la generación de promontorios de basura al aire libre?					
42	Las condiciones medioambientales próximas a la localidad de la planta de tratamiento son aceptables?? En qué nivel??					

G Comentarios de Habitantes de la Comunidad		SI	NO
43	Existen quejas de la población referente a la generación de malos olores?		
44	Existen quejas de la población referente a la ubicación de la planta?		
45	Existen quejas sobre la generación de alguna plaga (moscas, mosquitos, insectos, ranas, etc.)?		

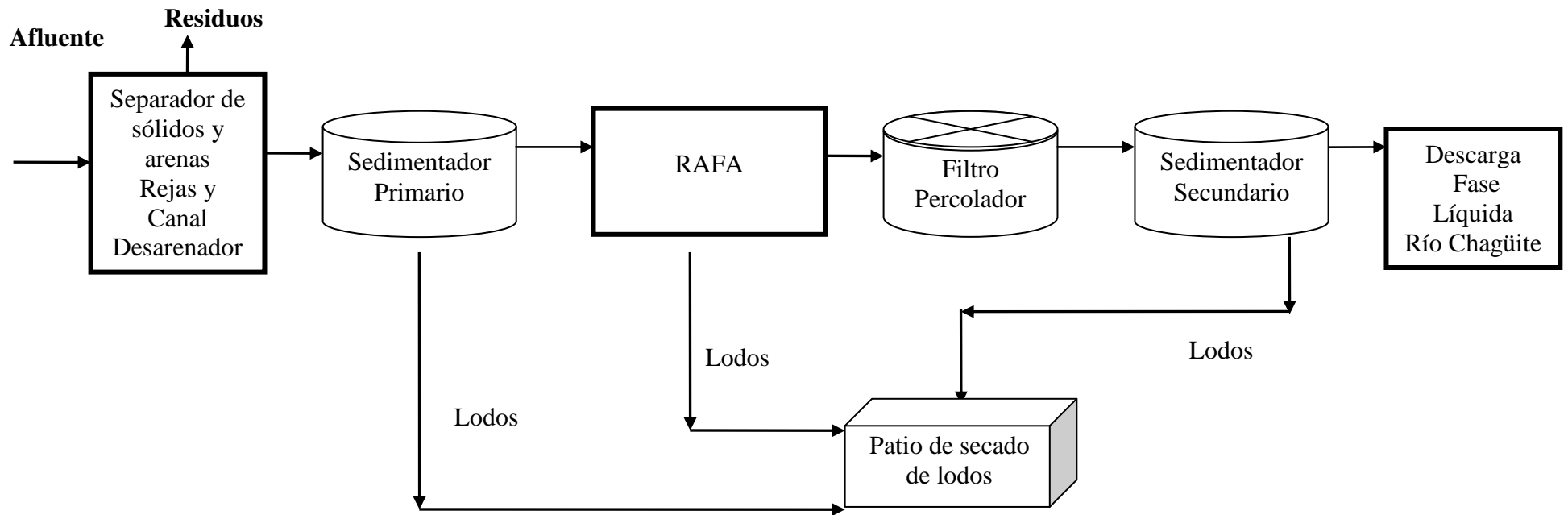
ANEXO C

ESQUEMAS OPERACIONALES DE PTAROD

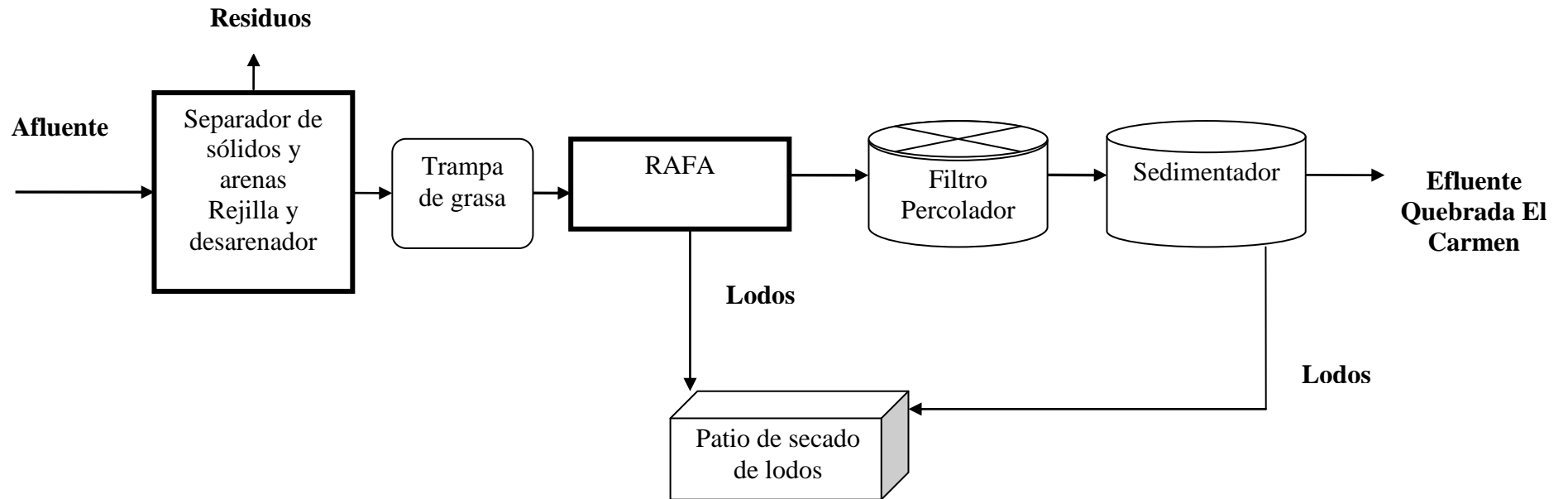
ESQUEMA OPERACIONAL DE LAS PTAROD 1 y 2



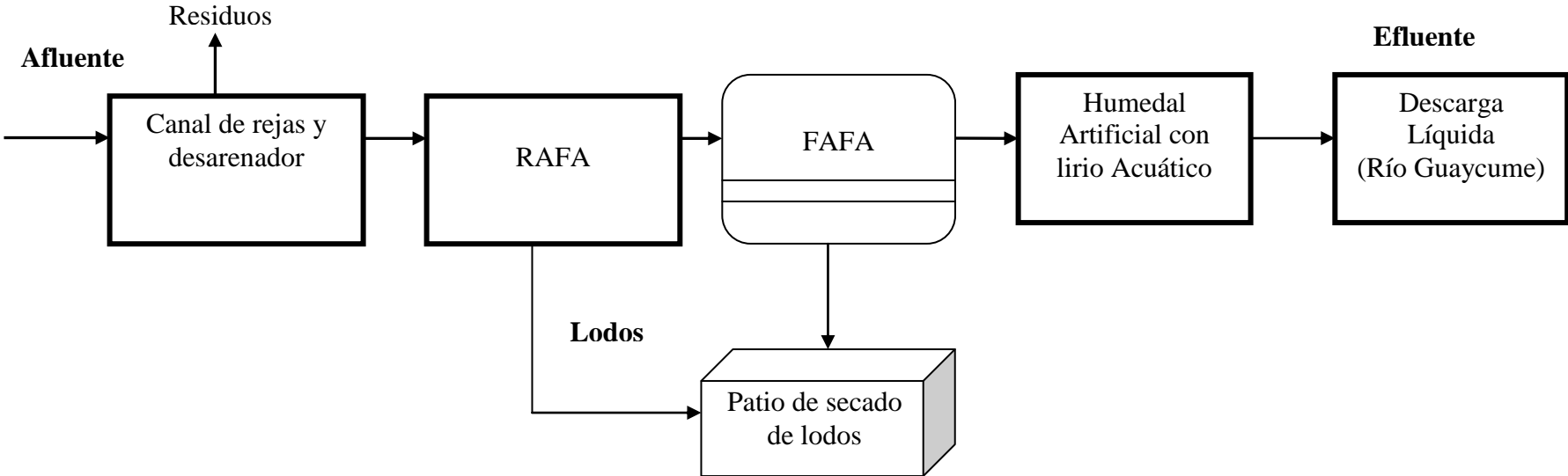
ESQUEMA OPERACIONAL DE LA PTAROD - 4



ESQUEMA OPERACIONAL DE LA PTAROD - 5

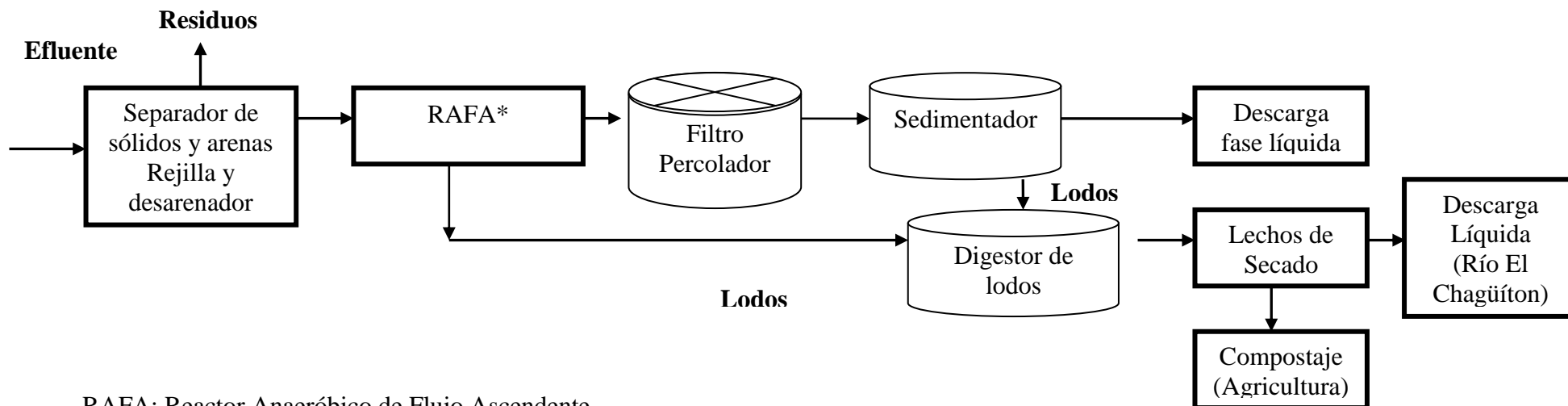


ESQUEMA OPERACIONAL DE LA PTAROD 6



FAFA: Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente
RAFA: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente

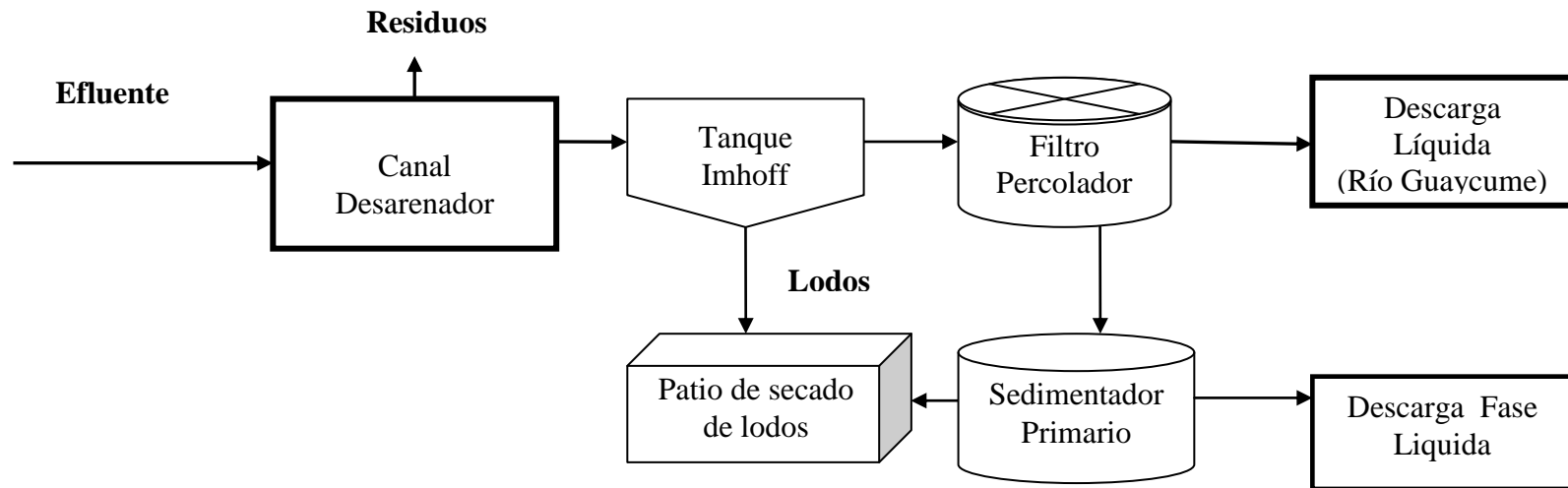
ESQUEMA OPERACIONAL DE LA PTAROD 7



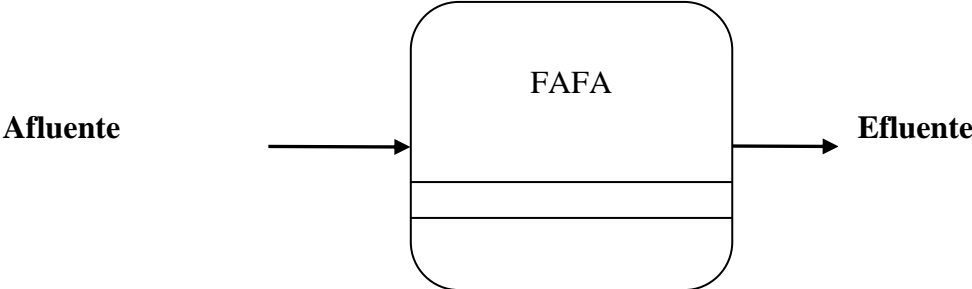
RAFA: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente

Desde el punto de vista operacional, el sistema de Tratamiento ofrece una gran ventaja, debido a que no requiere ningún sistema mecanizado para su funcionamiento, ya que está dispuesto para que funcione hidráulicamente por gravedad.

ESQUEMA OPERACIONAL DE LA PTAROD 8



ESQUEMA OPERACIONAL DE LA PTAROD 9 Y 10



FAFA: Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente

ANEXO D
GUIA DE DISEÑO DE UN PLAN DE
TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS DE ORIGEN DOMESTICO



GUÍA DE DISEÑO DE UN PLAN DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO

Héctor Daniel Barrera Godoy

Dalia Cecilia Ramos López

La importancia de esta guía radica en ofrecer una herramienta que orienta para el diseño de un plan de tratamiento de los residuos líquidos de origen doméstico, abordando la temática de tal manera que busca la gestión integral de dichos efluentes.

Esta guía presenta los componentes necesarios para la elaboración de un plan de tratamiento de residuos líquidos de origen doméstico, en forma de una secuencia lógica, que además lista aspectos fundamentales para la determinación de la viabilidad y sostenibilidad del plan de tratamiento.

Es objetivo de esta guía, la implementación de un sistema de gestión, el cual requiere que se realicen evaluaciones de manera periódica. Es decir, que una vez terminado y realizado este estudio, a fin de ir mejorando cada vez más el proceso de tratamiento, se deberá planificar un nuevo estudio, el período de evaluación dependerá de las necesidades de la planta de tratamiento.

Además, concientizar sobre la importancia de un sistema de registro y monitorización de los efluentes, tanto a la salida de la planta de tratamiento, así como también en las diferentes etapas y/o equipos en que el grupo de trabajo considere conveniente realizar.

Al final de la guía se proporcionan una serie de formularios que son las herramientas diseñadas para la implementación de la misma. En la medida de lo posible, que el equipo evaluador considere necesario la implementación de algún formulario extra ó la ampliación de alguno de los que ya se encuentra, se deberán incluir dentro del registro que se lleve de las evaluaciones realizadas a la planta de tratamiento.

Es recomendable, mantener un registro de las evaluaciones, para realizar análisis del progreso obtenido en el plan de tratamiento y de las propuestas implementadas.

La implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico requiere que exista una educación y motivación de la comunidad, a fin de que se dé prioridad al problema de contaminación hídrica, es importante realizar una intensa labor informativa y de concientización sobre el buen manejo del agua y el tratamiento de aguas residuales, destacando la importancia de cuidar el recurso hídrico de manera que las futuras generaciones puedan disponer de él de manera segura.

Debido a que un programa de educación y concientización es algo que forma parte de una gestión integral del recurso hídrico; y no una parte de la gestión de los residuos líquidos del uso

de dicho recurso, no se considera como parte de la presente guía. Competerá; entonces, a la administración de la planta de tratamiento y al equipo evaluador el considerar la realización de dicho tipo de programa. Aunque, un programa de educación y concientización puede constituir uno de los puntos a considerar dentro de las propuestas de mejora.

El manejo integral de los recursos hídricos persigue:

- El tratamiento de los efluentes de origen doméstico y el uso potencial de los productos generados en dicho tratamiento.
- Considera la evaluación de los impactos ambientales cuenca arriba y cuenca abajo, agua subterránea, y recursos costeros.
- Involucra los sectores interesados en el uso de agua.
- Políticas, reglamentos y arreglos institucionales para promover el uso equitativo y eficiente de agua, y la calidad de agua.

Un Plan de Tratamiento de Efluentes Líquidos de Origen Doméstico, no es el diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales; sino, el diseño de un sistema completo de disposición de residuos y productos generados a partir de la depuración de efluentes de una planta de tratamiento. Si bien es cierto, el diseño de la planta de tratamiento puede constituir parte del plan de tratamiento de efluentes líquidos, en caso que se parta de cero; es decir que no exista una planta de tratamiento.

La presente guía se orienta a la aplicación en plantas de tratamiento que actualmente están funcionando, ó que están por iniciar funciones, dado que no incluye la etapa de diseño de la planta de tratamiento en sí. Ya que, la guía se orienta hacia la realización de una evaluación del funcionamiento de la planta, de las condiciones de funcionamiento y de la disposición de los productos y residuos originados.

Otro de los objetivos que persigue la guía es que previo a la disposición final de los residuos generados por la planta de tratamiento, se busquen alternativas para la utilización de los mismos, a fin de no perder la inversión realizada en ellos y aprovechar las características que algunos de los residuos tienen.

Respecto de los formularios, debe mencionarse que para su utilización, se han designado con diferentes códigos para la identificación de los mismos, así mismo, se podrá observar, que cada

formulario tiene a la par del código un espacio que será el utilizado para indicar el número de página o numero de formulario, dado que puede ser necesario la utilización de más de una página de formulario, y con motivo de llevar un mejor control de todos los formularios llenos, se ha dejado este espacio para colocar tal información, con la finalidad de que pueda identificarse la ausencia de información en caso de que se extravíe uno o varios de los formularios.

GUÍA DE DISEÑO DE UN PLAN DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO

1. Formación de Equipo de Trabajo.

- *Integrar Equipo de Expertos en diferentes Áreas.*

Se debe integrar un equipo de personas que tengan conocimientos en diferentes áreas que influyen sobre el funcionamiento de una planta de tratamiento. Se debe buscar la formación de un equipo interdisciplinario, para poder lograr mejores resultados en la evaluación, ésta es la finalidad que debe perseguirse en el momento de formar un equipo de trabajo.

- *Definir Roles a desempeñar por cada participante.*

Se deberá definir los roles que cada participante debe desempeñar, los cuales deben corresponder a un área determinada; referida al campo de conocimiento del participante.

- *Concientizar y Capacitar al equipo de trabajo.*

Se debe informar al equipo participante sobre los objetivos del estudio a realizarse. Se debe capacitar a los participantes sobre el contenido de esta guía y sobre la utilización de los respectivos formularios que se usarán en el presente diseño.

- *Definir Necesidades y Recursos Disponibles.*

Establecer necesidades que se tendrán a lo largo del diseño del plan de tratamiento de residuos líquidos de origen doméstico, y definir los recursos con los que se cuenta para la realización de dicho plan.

- *Planificación de Actividades.*

Se deberá elaborar las actividades que serán ejecutadas y su período de ejecución, se utilizará el formulario GD-PA presentado en la página 19 de esta guía. En base al listado de actividades se elaborarán los respectivos cronogramas de actividades que orientarán el accionar del equipo durante el período de trabajo, estos cronogramas deberán ser anexados al registro de actividades y formularios que se lleva.

2. Datos Generales.

Los siguientes datos deberán ser colocados en el formulario GD-DG proporcionado en la página 18 de esta guía:

- Nombre de la Planta de Tratamiento.
- Ubicación de la Planta de Tratamiento.
- Periodicidad de realización de análisis de riesgos (Será determinado por el equipo evaluador).
- Responsable de la realización de la evaluación.
- Participantes en la evaluación (Nombre, profesión, área de participación y firma).

3. Descripción del Proceso de Tratamiento.

Se debe realizar una descripción del flujo y los equipos del proceso de tratamiento. Para ello se requiere la siguiente información:

- Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento.
- Descripción de Equipos de la Planta. La información requerida es la que se solicita en el formulario GD-DE que se proporciona en la página 24 de la presente guía. Los datos solicitados son: dimensiones, descripción de la función, parámetros de diseño.
- Sustancias Utilizadas; en caso de haberlas. Se deberán anexar todas las hojas técnicas y hojas de datos de seguridad (MSDS) de cada sustancia. Deberá llenarse el formulario GD-DS que se proporciona en la página 20 de esta guía, en el cual se colocará un cheque en caso de tener la MSDS y las hojas técnicas, se deberá alimentar dicho formulario con las cantidades que se dosifican de cada reactivo, así como también todo dato adicional que se considere conveniente colocar, un ejemplo podría ser la cantidad máxima para almacenar en las bodegas de la Planta de Tratamiento ó el uso del reactivo en el proceso.

4. Descripción de Situación Actual.

Para la descripción de la situación actual de la planta de tratamiento, se utilizará una lista de verificación, la cual indicará el estado en el que se encuentra la planta de tratamiento al iniciar el

estudio. La lista de verificación se encuentra en la página 12 de la presente guía. Es objetivo de la lista de verificación, realizar una caracterización cualitativa del estado de funcionamiento de la planta de tratamiento, razón por la cual no está ponderada, y deberá ser analizada por el equipo de trabajo una vez la lista haya sido completada.

Se requerirá además, la siguiente información, la cual será recolectada por medio de los respectivos formularios:

- *Parámetros de Diseño y de Funcionamiento de la Planta.*

Se recolectará la información de diseño y funcionamiento de la planta de tratamiento en el formulario GD-FP. Este formulario se proporciona en la página 21 de la presente guía.

- *Parámetros de Diseño y de Funcionamiento de Equipos.*

Se recolectará la información de diseño y funcionamiento del equipo de la planta de tratamiento en el formulario GD-FE. Este formulario se proporciona en la página 22 de la presente guía.

- *Análisis Físicoquímicos de los Efluentes.*

Se tomarán muestras en todos aquellos puntos de muestreo que sean determinados por el equipo de trabajo. Se enviarán las muestras a un laboratorio previamente seleccionado por el equipo de trabajo. Los resultados de los análisis se registrarán en el formulario GD-AF proporcionado en la página 23 de la presente guía.

- *Identificación de Problemas de Funcionamiento.*

En esta sección se deberá identificar todos aquellos problemas evidentes en la planta de tratamiento, así como también los encontrados en base a los resultados de los análisis físicoquímicos. Estos problemas deberán ser anotados en el formulario GD-PF proporcionado en la página 25 de esta guía.

5. Balance de Materiales.

Se requiere la realización de balances de materiales en la planta de tratamiento y en cada uno de los equipos, para ello se requieren los siguientes datos:

- Especificación de Entradas y Salidas; y datos adicionales por equipo. Esta información se recolectará en el formulario GD-BME proporcionado en la página 26 de este documento.

- Especificación de Entradas y Salidas de la Planta. Esta información se recolectará en el formulario GD-BMP proporcionado en la página 27.

Debe tenerse en cuenta que la sumatoria de las entradas y salidas acumuladas de los equipos debe ser igual a las entradas y salidas totales de la planta de tratamiento.

6. Esquematación de Diagrama de Flujo con Entradas y Salidas por Equipo.

Con la información de Entradas y Salidas de cada equipo de la planta de tratamiento, la cual se encuentra en el formulario GD-BME, se deberá elaborar el diagrama de flujo en el cual se esquematicen las entradas y las salidas de cada equipo o etapa de la planta de tratamiento, con detalle, a fin de que el equipo identifique puntos de generación de residuos y el tipo de residuos que en dichos puntos se están generando.

7. Análisis del Funcionamiento de la Planta

Se deberá realizar la presentación de los diagramas de flujo, los balances de materiales y en general la situación actual de la planta; incluidos los análisis fisicoquímicos de los puntos de muestreo y la información contenida en el formulario GD-PF, así como también realizar un análisis de los resultados obtenidos en la lista de verificación. Posterior a esto se realizará una sesión de lluvia de ideas, donde se identificarán las fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas y potenciales de la planta de tratamiento. Se deberá destinar un tiempo de lluvia de ideas por ítem. Se deben considerar los potenciales y factibilidad de reutilización de los residuos y productos generados por la planta de tratamiento, así como también el establecimiento de puntos de monitorización.

Al finalizar la etapa de lluvia de ideas se tendrá que realizar una jerarquización y marginación de ideas, hasta concretar un resultado. Los resultados concretados se colocarán en los formularios GD-AG1 y GD-AG2, presentados en las páginas 28 y 29 de la presente guía, en base del cual se formularán las propuestas de mejora.

En esta etapa, y con la información que se ha recolectado, pueden identificarse diferentes puntos potenciales para la monitorización del funcionamiento a lo largo de la línea de flujo que los residuos líquidos siguen en la planta de tratamiento.

Estos puntos de monitoreo pueden ser utilizados para la evaluación de etapas simples (compuestas por un único equipo de tratamiento), etapas complejas (compuestas por varios equipos de tratamiento, como puede ser un reactor anaerobio seguido de un filtro percolador; esto a manera de ejemplo) y también para la evaluación del proceso de tratamiento, visto como un todo global; en otras palabras para analizar el funcionamiento de la planta de tratamiento conjunto.

8. Propuestas de Mejora.

En base a los resultados obtenidos en la lluvia de ideas, se elaboraran propuestas concretas y consolidadas sobre acciones a tomar para mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento, como podría ser el establecimiento de un sistema completo de monitorización de la planta. Estas propuestas deberán ser registradas en el formulario GD-PM proporcionado en la página 30 de la presente guía. La información que se deberá alimentar al formulario GD-PM es: Descripción de la Propuesta, Responsable de Implementación de la Propuesta, Recursos Disponibles y finalmente el Tiempo de Ejecución Respectivo de cada Propuesta.

Si se busca una gestión de los residuos líquidos, debe tenerse muy en cuenta la disposición final de todos los residuos generados por la planta de tratamiento, y deben establecerse las metodologías y planes de disposición final de cada uno de esos residuos, de tal forma, debe considerarse dentro de las propuestas de mejora los usos potenciales que tienen los residuos y productos generados por la planta de tratamiento y realizar un estudio de factibilidad de dicha implementación. En caso de no existir una alternativa viable de reutilización de los mismos, deberá considerarse entonces el análisis de los tratamientos previos a su disposición final ó tratamientos previos por medio de los cuales logren alcanzarse las características necesarias para que los residuos puedan ser reutilizados y de la factibilidad de aplicación de los mismos.

9. Seguimiento de Propuestas de Planes de Mejora.

El dar seguimiento a los planes de mejora constituye una herramienta que garantiza; hasta cierto punto, la buena ejecución e implementación de las propuestas de mejora. Para ello, se deberá establecer un período de evaluación del progreso de actividades durante el período de ejecución de las propuestas de mejora.

10. Monitorización de Implementación de Propuestas.

Se deberá llevar el registro de la implementación de las propuestas a través del formulario GD-PI proporcionado en la página 31 de esta guía. La información que se alimentará será: Propuesta de Mejora, Responsable, Observaciones de evaluación.

En el campo de observaciones para evaluación deberán incluirse todos aquellos comentarios que reflejen la forma en que se están implementando las propuestas, fallas, aspectos por mejorar, y todo comentario que oriente hacia la mejora continua.

11. Evaluación de Resultados Obtenidos.

En una sesión del equipo de trabajo, se deberá realizar el análisis de los resultados obtenidos al final del período de ejecución de las propuestas de mejora, y determinar el éxito o fracaso en la implementación de la propuesta, así como también aspectos por mejorar del proceso de implementación. Se deberá registrar la información requerida por el formulario GD-RP presentado al final de esta guía en la página 32.

12. Consideraciones Finales

El objetivo de que este tipo de estudio sea realizado o aplicado en forma periódica es la implementación de la mejora continua en el funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico, con la finalidad de mejorar los resultados de dicha planta y a nivel general, mejorar las condiciones actuales por las que el país está pasando en el Área de Aguas Residuales.

Es al final de esta guía, donde inicia el ciclo de evaluación del Plan de Tratamiento de Efluentes Líquidos de Origen Doméstico. Si se considera conveniente, la presente guía puede ser adaptada de tal forma que funcione como una guía para la evaluación del Plan de Tratamiento Implementado.

Pueden utilizarse todos los formularios y herramientas proporcionadas en la presente guía que se considere conveniente, así como también realizar la adaptación de cada una de estas herramientas para cumplir de manera más acertada a las exigencias que cada proceso de tratamiento tiene, ya que esta guía se consideró para ser llevada a un nivel general en cuanto a

Planta de Tratamiento se refiere. Será responsabilidad de cada equipo de trabajo realizar la adaptación a cada proceso en específico. Aunque la guía contiene lo necesario para la evaluación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico en forma general.

Con la información generada en este estudio, podrá elaborarse ó reformarse un Manual ó Guía que contenga el desarrollo del Plan de Tratamiento de Efluentes Líquidos de Origen Doméstico, y que sirva de herramienta en la Planta de Tratamiento en la que se aplicará orientando sobre la manera en que debe funcionar la Planta.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que:

“La Medida en que Cuidamos el Medio Ambiente, es la Medida en la que Garantizamos y Cuidamos el Futuro de Nuestra Descendencia. Si el Ser Humano se Acaba el Mundo, Acaba con su Flora, con su Fauna, con sus Recursos... Acaba con Él Mismo y Finalmente Acaba con sus Hijos”

LISTA DE CHEQUEO DE STATUS INICIAL DE UN PTAROD

A continuación se presenta un listado de items, relacionados con el funcionamiento de una PTAROD. Los items están adaptados para responder afirmativa (si), negativamente (no) ó neutralmente (No sé), información adicional debe ser anotado en el campo de observaciones, por ejemplo: el porqué se respondió afirmativamente, en caso de requerirse cuales son las alternativas de alguna pregunta, anotar en el campo observaciones dichas alternativas.

No.	Item	Si	No	No sé	Observaciones
DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
1	¿La planta de tratamiento funciona con un margen de seguridad en cuanto al caudal tratado?				
2	¿La planta fue diseñada en base a valores punta o en base a valores promedio?				
3	¿Se consideraron puntos de by-pass en el diseño inicial de la planta?				
4	¿Se encuentra la planta de tratamiento cercana a la población a la cual presta servicio? Indique la distancia.				
5	¿Se consideraron las condiciones a las que los equipos serían sometidos (en la práctica) durante la etapa de diseño de la planta de tratamiento?				
6	¿Se consideró en el diseño la posibilidad de agregar nuevas etapas y se posee terreno para realizarlo? Indicar en m ² el terreno disponible.				
7	¿La planta fue diseñada para que pudieran realizarse monitorizaciones de alguno de los equipos del sistema de tratamiento, incluyendo el efluente de la planta en si?				
DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS					
8	¿Los lodos generados por la planta reciben tratamiento antes de ser descartados? Indicar cual es el tratamiento que reciben dichos lodos previos a su disposición final.				
9	¿Conoce cual es la disposición final de los lodos generados en la planta de tratamiento? Indicar cuál es la disposición final de los lodos.				
10	¿Conoce la disposición final de los residuos sólidos (Sólidos gruesos, arenas, grasas y otros) de la planta de tratamiento? Indicar cual es la disposición final de cada uno.				
11	¿Existe generación de gas en la planta de tratamiento?				
12	¿Conoce la disposición final de los gases generados en la planta de tratamiento? Indicar cual es la disposición final.				
13	¿Conoce las cantidades de residuos generados por la Planta de Tratamiento? Indicar las cantidades por desecho generado.				
14	¿Se clora el efluente antes de ser descargado?				

LISTA DE CHEQUEO DE STATUS INICIAL DE UN PTAROD					
No.	Item	Si	No	No sé	Observaciones
EQUIPO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
15	¿Existe equipo que se encuentre fuera de la planta y que esté expuesto a algún riesgo como ser desmantelado, robado, dañado, etc.? Por ejemplo: una bomba.				
16	En caso de existir equipo fuera de las instalaciones de la planta de tratamiento, ¿Existe alguien encargado de la vigilancia de dicho equipo?				
17	¿Existe alguna medida que garantice la seguridad de dicho equipo fuera de la planta?				
18	¿Se considera adecuada la distribución del equipo en la planta de tratamiento?				
19	¿Considera el estado de los equipos el adecuado como para garantizar un buen funcionamiento de la planta?				
FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
20	¿La planta desprende malos olores a un nivel muy elevado?				
21	¿Alguna vez se ha quejado la comunidad a la cual sirve la planta de tratamiento, respecto del funcionamiento de la misma? Anotar cuales son las quejas más comunes.				
22	¿Considera que el equipo de la planta de tratamiento funciona adecuadamente? Indicar el porqué de su respuesta. En caso de ser positiva, en qué se basa para realizar tal afirmación.				
23	¿Se posee un manual operativo de la planta de tratamiento?				
24	En caso de existir un manual operativo de la planta de tratamiento, ¿Está a disposición de los empleados de la planta de tratamiento?				
25	¿Considera que el manual operativo de la planta de tratamiento contiene toda información necesaria respecto del proceso en la planta?				
26	¿Se realizan revisiones y correcciones de dicho manual operativo? Indicar quien ó quienes las realizan y la frecuencia en que se hace.				
27	¿Se realizan evaluaciones sobre el funcionamiento de la planta? Indicar la frecuencia con la que se realizan dichos análisis.				
28	En caso de realizarse evaluaciones, ¿Se posee algún formato que defina los puntos esenciales a evaluar?				
29	¿Se lleva un registro de resultado de análisis realizados a los efluentes, tanto a la salida del efluente como en puntos que se considere necesario monitorear?				
30	¿Se realizan análisis del registro de los análisis realizados a la planta de tratamiento a fin de aprender del comportamiento de los mismos?				

LISTA DE CHEQUEO DE STATUS INICIAL DE UN PTAROD

No.	Item	Si	No	No sé	Observaciones
MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
31	¿Existe una entidad encargada del mantenimiento de la planta de tratamiento? En caso de ser positivo, Indicar el nombre de la empresa que realiza dicho mantenimiento. Indicar la cantidad de personas que realizan esta actividad.				
32	¿Se posee el equipo adecuado para realizar esta actividad? Aun cuando es otra empresa la encargada de dar el mantenimiento de la planta de tratamiento?				
33	¿Se posee de un lugar específico para la realización del mantenimiento de cada equipo?				
34	¿Existe una frecuencia periódica del mantenimiento de los equipos de la planta?				
35	¿Esta frecuencia de mantenimiento fue determinada por cada equipo? Es decir, cada equipo de la planta tiene programado un período de mantenimiento individual a los otros equipos?				
36	El mantenimiento es realizado a toda la planta en general o se realiza de acuerdo a la frecuencia de mantenimiento individual por cada equipo del proceso de tratamiento?				
37	¿Presenta algún riesgo la infraestructura de la planta en el momento de realizarse el mantenimiento del equipo de la planta?				
38	¿Existe una entidad encargada de la limpieza de la planta de tratamiento? En caso de ser positivo, Indicar el nombre de la empresa que realiza la operación de limpieza de la planta. Indicar el numero de personas que realizan esta actividad, sin importar si la limpieza la realiza una empresa o es realizado por personas de la planta.				
39	En caso de que la limpieza sea propia, ¿Se posee el equipo adecuado para realizar esta actividad?				
40	¿Existe una frecuencia periódica establecida para la realización de la limpieza?				
41	¿La frecuencia de limpieza se determina por equipo? Es decir, cada equipo tiene su período de limpieza que es individual al de los otros equipos?				
42	¿Presenta algún riesgo la infraestructura de la planta en el momento de realizarse la limpieza del equipo de la planta?				
43	¿Existen Manuales de Mantenimiento y Limpieza de la Planta de Tratamiento?				

LISTA DE CHEQUEO DE STATUS INICIAL DE UN PTAROD

No.	Item	Si	No	No sé	Observaciones
MARCO LEGAL APLICABLE A LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
44	¿Se tiene conocimiento del marco legal aplicado a los efluentes de origen doméstico para una planta de tratamiento? Indicar las normas que se aplican.				
45	¿Las mediciones realizadas en el monitoreo son de los parámetros que la norma exige? Indique cuales son los parámetros a los que se realizan mediciones.				
46	¿Se utilizan los límites impuestos de manera legal para regular el funcionamiento de la planta de tratamiento?				
47	¿Se realizan mediciones en parámetros que las normas en las que se basan para cumplimiento legal no comtemplé? Indicar cuales y el porqué de la realización de dicha medición.				
MONITORIZACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
48	¿Existe un plan de monitoreo periódico del efluente de la planta? Indique la frecuencia de dicho monitoreo.				
49	¿Además de la salida del efluente, existe otro punto en el que el agua se está muestreando?				
50	¿Considera necesario tomar muestra a la salida del efluente? Justifique su respuesta.				
51	¿Considera necesario tomar muestras en puntos diferentes a la salida del efluente? Justifique su respuesta.				
PERSONAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
52	¿Existen en la planta de Tratamiento equipos a los cuales no entienda cómo funcionan? Indicar los equipos de los que no posee información.				
53	¿Sabe cual es la función principal de cada etapa y/o equipo de la planta de tratamiento?				
54	¿Tiene conocimiento de cual es el promedio de caudal diario tratado (la cantidad de agua que se trata por día)? Indicar el caudal tratado.				
55	¿Existen puntos de recirculación en alguna etapa o punto de tratamiento? Indicar en qué etapa o punto de tratamiento se encuentra dicha recirculación.				
56	¿Entiende cuál es la finalidad del punto de recirculación?				
57	¿Cuántas personas trabajan en la planta de tratamiento?				
58	¿Se imparten capacitaciones a los empleados de la planta de tratamiento sobre el funcionamiento de la misma?				

LISTA DE CHEQUEO DE STATUS INICIAL DE UN PTAROD

No.	Item	Si	No	No sé	Observaciones
PERSONAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
59	¿Se imparten capacitaciones sobre manejo de emergencias en la planta?				
60	¿Considera que las personas que laboran en la planta de tratamiento son aptas para el manejo de alguna medida de mitigación ó contingencia en caso de presentarse un problema en el funcionamiento de la planta de tratamiento?				
61	El nivel de educación de los empleados de la planta es adecuado. Indicar cual es el nivel más bajo de educación que se tenga dentro de todos los empleados.				
SALUD Y MEDIO AMBIENTE					
62	¿Se considera el componente ambiental dentro de la evaluación realizada a la planta? Indicar en qué forma se considera.				
63	¿Se manipula algún químico en la planta de tratamiento?				
64	A su criterio, ¿Presentan estos químicos algún riesgo para la salud y/o el medio ambiente? Indicar dichos riesgos.				
65	¿Se poseen las hojas técnicas y msds de los químicos utilizados?				
66	¿Se dispone del equipo adecuado para la manipulación de dichos químicos?				
PLAN DE SEGURIDAD Y CONTINGENCIA					
67	¿Tiene conocimiento de algún incidente ó accidente que ocurriera en la planta de tratamiento en el pasado?				
68	En caso de haberse presentado un incidente o accidente, considera que se manejó adecuadamente el incidente? (Colocar en observaciones cuál fue la medida que se tomó)				
69	Dentro de la infraestructura de la planta, ¿Considera que existen puntos o lugares en los que existan condiciones inseguras y que sean puntos potenciales de ocurrencia de algún accidente para los empleados de la planta? Indicar cuales y porqué los considera de esta manera.				
70	¿Existe vigilancia permanente en la planta de tratamiento que garantice la seguridad de los equipos? (Seguridad física de la planta ante robos)				
71	¿Existe un manual ó guía de manejo de contingencias actualmente?				
72	¿Considera adecuado el manual de manejo de contingencias, que responde a las necesidades de la planta de tratamiento y que se contemplan todos las contingencias posibles?				

LISTA DE CHEQUEO DE STATUS INICIAL DE UN PTAROD

No.	Item	Si	No	No sé	Observaciones
PLAN DE SEGURIDAD Y CONTINGENCIA					
73	¿Se realizan revisiones y correcciones en el manual de contingencias? Indicar quien o quienes las realizan y la frecuencia en que se hace.				
74	¿El acceso a la planta de tratamiento es restringido para el público en general?				
GENERALIDADES					
75	¿Se tiene acceso a agua potable en las instalaciones de la planta de tratamiento?				
76	¿Se encuentra la planta de tratamiento cercano a un punto crítico como puede ser un hospital, un mercado, etc?				
77	¿Se posee un sistema adecuado de cobro del servicio de tratamiento de aguas residuales que garantice tener los insumos para la planta de tratamiento, su mantenimiento, limpieza, vigilancia, etc.? Indicar la forma en que se realiza el cobro por este servicio.				

GD-DG-____.
FECHA: __/__/__.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

UBICACIÓN DE PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

EQUIPO DE TRABAJO

NOMBRE	PROFESION	AREA DE PARTICIPACION	FIRMA

GD-PA-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

PLANIFICACION DE ACTIVIDADES DEL EQUIPO DE TRABAJO

ACTIVIDAD	RESPONSABLE	FECHA

GD-DS-____.
FECHA: ____/____/____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

REACTIVOS UTILIZADOS EN LA PTAROD

NOMBRE DEL REACTIVO	HOJA TECNICA	MSDS	DOSIFICACION	DATOS ADICIONALES
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

GD-FP-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

PARAMETROS DE DISEÑO Y DE FUNCIONAMIENTO DE LA PTAROD

PARAMETRO	VALOR DE DISEÑO	VALOR MAXIMO	VALOR DE FUNCIONAMIENTO

GD-FE-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

PARAMETROS DE DISEÑO Y DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE LA PTAROD

EQUIPO	PARAMETROS	VALOR DE DISEÑO	VALOR MAXIMO	VALOR DE FUNCIONAMIENTO

GD-AF-____.
FECHA: ____/____/____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA PTAROD

PUNTO DE TOMA DE MUESTRA	PARAMETROS ANALIZADOS	RESULTADOS	OBSERVACION

GD-DE-____.
FECHA: __/__/__.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE LA PTAROD

NOMBRE DEL EQUIPO	PARAMETROS DE DISEÑO	UNIDAD	VALOR MAXIMO

GD-PF-____.
FECHA: __/__/__.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

IDENTIFICACION DE PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO EN LA PTAROD

PROBLEMA DE FUNCIONAMIENTO IDENTIFICADO	DESCRIPCIÓN/OBSERVACIONES

GD-BME-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

BALANCE DE MATERIALES DEL EQUIPO DE LA PTAROD

EQUIPO	DIMENSIONES	FUNCION	ENTRADA			SALIDAS			DATOS ADICIONALES / OBSERVACIONES
			NOMBRE	CANTIDAD	ESTADO ¹	NOMBRE	CANTIDAD	ESTADO ¹	

¹ ESTADOS: Sólido (S), Líquidos (L) y Gaseoso (G).

GD-BMP-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

BALANCE DE MATERIALES DE LA PTAROD

ENTRADA			SALIDAS			DATOS
NOMBRE	CANTIDAD	ESTADO ¹	NOMBRE	CANTIDAD	ESTADO ¹	ADICIONALES/OBSERVACIONES

¹ ESTADOS: Sólido (S), Líquido (L) y Gaseoso (G).

GD-AG1-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAROD

FORTALEZAS

Empty space for recording strengths.

DEBILIDADES

Empty space for recording weaknesses.

GD-AG2-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAROD

OPORTUNIDADES

--

AMENAZAS

--

POTENCIALES

--

GD-PM-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

PROPUESTAS DE MEJORA EN EL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAROD

PROPUESTA DE MEJORA IDENTIFICADA	DESCRIPCION	RESPONSABLE	RECURSOS DISPONIBLES	TIEMPO DE EJECUCION

GD-PI-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

PLAN DE IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA DE MEJORA EN LA PTAROD

PROPUESTA DE MEJORA	RESPONSABLE	OBSERVACION PERIODO: [] FECHA: []	OBSERVACION PERIODO: [] FECHA: []	OBSERVACION PERIODO: [] FECHA: []

GD-RP-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

REPORTE DE RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA EN LA PTAROD

PROPUESTA DE MEJORA	RESULTADOS OBTENIDOS	OBSERVACION

ANEXO E
GUIA PARA LA EVALUACION
DE RIESGOS AMBIENTALES Y PLANES DE CONTINGENCIA



GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y PLANES DE CONTINGENCIA

Héctor Daniel Barrera Godoy

Dalia Cecilia Ramos López

La presente guía contiene los lineamientos que se deben cumplir al momento de realizar una evaluación de riesgo ambiental en una planta de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico. Es de destacar que tan sólo se proporcionan los aspectos básicos que una evaluación debe tener y no se profundiza en cuanto a la complejidad de la evaluación misma. Tampoco es objeto de la guía realizar evaluaciones de riesgo de otra índole que no sea la técnica en cuanto al funcionamiento de la planta y sus implicaciones ambientales y sociales. Aunque si se evalúa conveniente, puede realizarse aplicando los procedimientos descritos en esta guía.

Una recomendación general antes de iniciar con el proceso de evaluación de riesgos ambientales, es la selección de un equipo interdisciplinario (entiéndase como un conjunto experto en diferentes ramas que complementan conocimientos en cuanto al abordaje de problemas en las Plantas de Tratamiento), esto permite tener una mejor apreciación de los problemas y da mejores resultados en cuanto a las acciones concretas a tomar. El conjunto interdisciplinario debe estar compuesto como mínimo por personas que tengan conocimiento en las siguientes ramas:

- Medio Ambiente y Salud Ocupacional.
- Operativo y Técnico (de la planta en sí).
- Diseño y Funcionamiento del Equipo.
- Administrativo.
- Financiero (Opcional).
- Representante de la Junta de Vecinos de la Comunidad que Recibe el Servicio.
- Legal.

Un aspecto importante de tener en cuenta es que los formularios están identificados con un código principal el cual corresponde al siguiente: GR-XX-##. El campo XX identifica la etapa de evaluación que se está cubriendo, y el doble numeral (##) identifica el número de página utilizada en caso de que el usuario requiera más de un formulario en la realización de la presente evaluación. Será el usuario quien deberá definir ó ubicar el número de página que se está utilizando a fin de mantener continuidad y facilitar la identificación de la ausencia de algún formulario en caso de extravío de alguno de los mismos.

La importancia de esta guía es el hecho de proporcionar una forma viable de realizar una evaluación de riesgo, aplicada a una planta de tratamiento de aguas residuales. Los formularios que se proporcionan, constituyen a su vez, una forma adecuada de llevar el registro de las evaluaciones de Riesgos realizadas en la Planta de Tratamiento. Así como también, pueden orientar en cuanto al estado del manejo de los riesgos en la Planta de Tratamiento objeto de evaluación.

Se considera objeto de esta guía, la identificación de los Riesgos existentes en una Planta de Tratamiento, y a su vez la generación ó creación de un manual ó plan, que contenga tanto las medidas de contingencia que deben tomarse en un determinado caso, así como también las medidas preventivas respectivas, que minimicen la probabilidad de la ocurrencia de algún incidente y accidentes dentro de la Planta.

1. DISEÑO DEL EQUIPO DE EVALUACIÓN.

a. Integrar un equipo de expertos en diferentes áreas.

Siempre que se desee realizar una evaluación completa del funcionamiento de un sistema de tratamiento ó de una planta, deberá seleccionar a un grupo de personas que manejen un determinado tipo de área que sea de utilidad en la evaluación de los riesgos ambientales en el rubro deseado, para este caso son los Riesgos Ambientales en una Planta de Tratamiento.

b. Definir roles que cada participante debe desempeñar.

Se deberán definir los roles de cada participante, estos roles deben corresponder a una determinada área de evaluación. Dicha área debe estar dentro del marco de conocimientos que el participante maneja o en el cual se desenvuelve, a fin de optimizar los resultados y aprovechar de la mejor forma los conocimientos que cada participante tiene en su área respectiva.

c. Concientizar y capacitar al equipo de trabajo.

Se debe informar al equipo participante sobre los objetivos del estudio a realizarse, los resultados esperados, el tiempo de ejecución total esperado de la evaluación, y demás información que se considere relevante que los participantes deben saber. Se deberá capacitar a los participantes sobre el contenido de esta guía y sobre la utilización de los respectivos formularios que se utilizarán durante el desarrollo de la evaluación.

d. Definir necesidades y recursos.

Establecer las necesidades que se tendrán a lo largo de todo el estudio de evaluación y definir claramente los recursos con los que se cuenta para la realización de dicho estudio, como ejemplo de necesidades se cita el hecho de realizar un análisis fisicoquímico al agua residual a fin de determinar el contenido de material nocivo que éste posea; en cuanto al recurso disponible; se puede considerar el fondo disponible para la realización de los análisis de caracterización del efluente.

e. Planificar las Actividades.

Una vez se conocen las necesidades y recursos, se deberán planificar las actividades que serán ejecutadas a lo largo de la evaluación y su período de ejecución, se utilizará el formulario GR-

PA presentado en la página 25. En base al listado de actividades se elaborarán los respectivos cronogramas de actividades que orientarán el accionar del equipo a lo largo del tiempo designado para el estudio. Dichos cronogramas tendrán que anexarse al formulario GR-PA.

2. DATOS GENERALES.

Los siguientes datos deberán ser colocados en el formulario GR-DG proporcionado en la página 11 de esta guía:

- Nombre de la Planta de Tratamiento.
- Ubicación de la Planta de Tratamiento.
- Periodicidad de realización de análisis de riesgos (Será determinado por el equipo evaluador).
- Responsable de la realización de la evaluación.
- Participantes en la evaluación (Nombre, profesión, área de participación y firma).

Las personas que están incluidas en el formulario GR-DG, deberán estar concientes que el que sus nombres figuren en esa lista, es porque han contraído un compromiso con los resultados de la evaluación del riesgo ambiental de la Planta de Tratamiento en estudio.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

Se necesita, inicialmente antes de realizar el análisis, tener cierto nivel de conocimiento sobre el proceso de Tratamiento del Agua en la Planta, para ello se requerirán tener cierta información, con dicha información se tendrá que establecer el flujo y las etapas del proceso de depuración del agua residual. Es en esto que se realizará la identificación y jerarquización de riesgos de cada uno de los procesos, sustancias y equipo utilizados en la planta de tratamiento. El principal objetivo de esta etapa es la caracterización del estado actual de funcionamiento de la planta de tratamiento. La información que se requerirá en esta etapa es la siguiente:

a. Diseño de la Planta.

Se debe recolectar la información de diseño de la planta de tratamiento, de acuerdo a los parámetros solicitados en el formulario GR-DP proporcionado en la página 12 de esta guía. Los

parámetros que dicho formulario solicita son: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendedos Totales; y, Aceites y Grasas. En caso de requerirse agregar información adicional en cuanto a los parámetros de diseño de la Planta, el formulario GR-DP posee el campo Otros, donde se especificarán o colocará la información respectiva a dichos parámetros. Posteriormente se deberá proporcionar información sobre los parámetros de diseño de cada equipo, los cuales deberán ser colocados en el formulario GR-DE, proporcionado en la página 13.

b. Descripción del Proceso de Tratamiento.

Describir de forma detallada el proceso de depuración de efluentes. Se deberá proporcionar; para este fin, un Diagrama de Flujo Técnico de la Planta de Tratamiento; en dicho Diagrama se debe colocar la línea de flujo del efluente a lo largo de todo el proceso, así como también las líneas de flujo de los Residuos generados (incluido el estado de agregación de los materiales residuales).

También debe proporcionarse el listado de Reactivos Utilizados; en caso de haberlos. Este listado deberá ser colocado en el formulario GR-LR, proporcionado en la página 14 de esta guía. La información requerida en este formulario por reactivo es: Existencia de hoja técnica y hoja de datos de seguridad del reactivo (MSDS); para ello se deberá colocar un cheque en caso de poseer dicha información, Dosificación de Reactivos y Datos Adicionales (como cantidades de material máxima que se permite en almacenamiento, utilización de los reactivos en los procesos de tratamiento de la Planta y cualquier otro comentario pertinente a los mismos que se considere de relevancia).

c. Almacenamiento.

Se debe proporcionar un listado con todos los lugares de almacenamiento de materiales (reactivos, lodos residuales, gases generados, efluentes, etc). De cada uno de estos lugares se deberá proporcionar la siguiente información: dimensiones, cantidades máximas de almacenamiento, localización dentro de la planta y características generales. Esta información deberá ser colocada en el formulario GR-LA proporcionado en la página 18 de esta guía.

d. Disposición de Residuos y Productos Generados.

Proporcionar información referente de la disposición final de los residuos generados en la Planta de Tratamiento, de ser posible proporcionar el Diagrama de Flujo de los Procedimientos de Disposición Final de los Residuos. La información deberá ser colocada en los formularios GR-DR1, GR-DR2 y GR-DR3; los cuales son proporcionados en las páginas 19 - 21 de la presente guía. Los diagramas de flujo generados, deberán ser anexados a estos formularios.

e. Equipos y Accesorios.

Realizar una descripción de los equipos y accesorios de la planta de tratamiento, utilizando el formulario GR-EA, el cual es proporcionado en la página 16 de la presente guía. La información que se debe suministrar al formulario GR-EA es: Nombre del equipo, dimensiones, función, Especificación de entradas y salidas, y datos adicionales que se consideren de importancia para la finalidad de la Evaluación de Riesgos Ambientales en el proceso.

f. Condiciones de Operación.

Describir las condiciones de operación de cada equipo y accesorios de la planta, por ejemplo: flujo, temperaturas, presiones de diseño y operación, etc. Esto deberá ser colocado en el formulario GR-CO proporcionado en la página 17 de la presente guía. Además se deberá anexar los diagramas de flujo y Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) de la planta de tratamiento, los cuales deben estar en condiciones legibles y con la nomenclatura y simbología correspondiente a cada equipo.

g. Sistema de Seguridad.

Realizar una descripción del sistema de seguridad, para ello se requiere listar las situaciones consideradas como peligros y riesgos en la actualidad, se debe incluir información sobre: medidas a tomar, equipos y dispositivos a disposición para llevar a cabo las medidas correctivas. Esta información será ubicada en el formulario GR-SS proporcionado en la página 23 de la presente guía.

4. ANALISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES.

En esta parte del estudio de Riesgos Ambientales se debe incluir la información necesaria para poder determinar los radios de afectación que se derivarán de un accidente en la planta de

tratamiento de aguas residuales, será necesario; según el equipo de trabajo considere si es o no necesario, la Simulación de Riesgos, para la determinación de los radios de afectación de una determinada situación.

Es importante hacer ver al equipo que es imposible que exista Riesgo Cero en un proceso, razón por la cual no se puede erradicar un riesgo por completo, ni tampoco puede existir una planta de tratamiento que no tenga riesgos (no existen las plantas perfectas, sólo plantas mejor preparadas para disminuir los riesgos y manejar contingencias).

a. Antecedentes de accidentes e incidentes.

En una cesión de grupo, se deberán exponer accidentes e incidentes pasados que se han dado en la Planta de Tratamiento; que es objeto de estudio, en otras Plantas de Tratamiento o en alguna planta que posea un proceso similar a los aplicados en la planta en evaluación. La información que se necesitará recopilar en este caso es: descripción del evento, causas, sustancias involucradas, nivel de afectación y las acciones que se tomaron para su atención. Esta información será colocada en el formulario GR-AA presentado en la página 15 de la presente guía. Deberá además, realizarse un contraste entre la información del formulario GR-AA y el formulario GR-SS, para determinar inconsistencias en el sistema de seguridad, y servir de base para la determinación de Puntos Críticos de Interés, en los cuales se debe prestar mayor atención. Además, esto también servirá en la identificación y jerarquización de los Riesgos en Planta.

b. Metodologías de identificación y jerarquización.

Los factores que se deben considerar para la realización de esta etapa del proceso evaluativo son: línea y diagrama de flujo del proceso, Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI), ubicación de las instalaciones, equipos, factores humanos y Medio Ambientales. Podrán adicionarse cualquier factor que el equipo de trabajo considere conveniente. Las acciones concretas a seguir en esta parte son:

- En base a los DTI's, se seguirá la línea de flujo y se realizarán análisis sobre qué puede salir mal en cada una de las etapas del proceso (identificar riesgos) y las consecuencias o efectos de cada una de ellas. Una vez se halla terminado el análisis completo del DTI, se Jerarquizará los riesgos en base al nivel de afectación.

Para esta parte, se utilizará el formulario GR-FC presentado en la página 22 de la presente guía. Se colocará la siguiente información: Etapa del proceso, Falla Potencial y Consecuencias.

- En cuanto a la jerarquización de los riesgos se pueden utilizar las siguientes herramientas para lograr una jerarquización ó estratificación de los Riesgos: Matriz de Riesgos, metodologías cuantitativas de identificación de riesgos, condiciones de operación y/o características ó algún otro método que justifique técnicamente dicha jerarquización. Siempre es recomendable considerar los radios de afectación. Una vez determinadas la jerarquía de niveles de riesgos, se deberá categorizar los riesgos y colocar la categoría en el formulario GR-FC, en la columna “Nivel de Riesgo”.

Se deberán incluir; además, todos aquellos riesgos que fueron identificados a raíz de los antecedentes de incidentes y accidentes, dentro del formulario GR-FC.

5. MEDIDAS DE CONTINGENCIA

a. Determinación de Acciones Preventivas y Correctivas.

Realizar una sesión de equipo, con la finalidad de determinar las acciones preventivas y correctivas necesarias por cada riesgo identificado y registrado en el formulario GR-FC. La determinación de estos dos tipos de Acciones, puede ser llevada a cabo, exponiendo cada uno de los riesgos y realizando una lluvia de Ideas primeramente, respecto de medidas preventivas, y posteriormente seguir con las medidas de contingencia, y así sucesivamente hasta completar todas las situaciones contempladas en el formulario GR-FC.

Una vez determinada las acciones preventivas y correctivas de cada riesgo, se deberá designar responsable de llevar a cabo la acción preventiva y el responsable de ejecutar la acción correctiva. Esta información tendrá que ser colocada en el Formulario GR-FC.

b. Presentación de Informe de Medidas Preventivas y Correctivas.

El formulario GR-RF constituirá el reporte de las medidas preventivas y de contingencia. Este formulario se encuentra en la página 24 de la presente guía. La información que se deberá colocar en el formulario es: Riesgo Identificado, Medidas Preventivas , Medidas Correctivas, y los Responsables respectivos

Los resultados de la presente guía, deberían servir para elaborar o reformar un manual o Plan de Contingencia y de Prevención de Accidentes. Las medidas Preventivas hacen referencia al Sistema de Seguridad y Mitigación que se posee en la planta para la prevención de accidentes o para hacer que un accidente no provoque consecuencias graves, lo cual puede incluir desde señalización, colocación de extinguidores, etc.

Una vez se tengan los resultados y se haya elaborado el manual de manejo de contingencias o reformado el ya existente, se deberá estar consciente de que se tiene que continuar con el ciclo en busca de la excelencia, para disminuir al máximo los riesgos potenciales que se encuentran en una Planta de este tipo.

Las Evaluaciones de Riesgos deben ser estudios que se realicen periódicamente, cada cierto tiempo, de acuerdo a como el equipo de trabajo lo amerite conveniente en busca de la mejora continua en la seguridad y manejo de contingencias en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico.

GR-DG-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

UBICACIÓN DE PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

EQUIPO DE TRABAJO – EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN PTAROD

NOMBRE	PROFESION	AREA DE PARTICIPACION	FIRMA

GR-DP-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

PARAMETRO DE DISEÑO DE LA PTAROD

PARAMETRO DE DISEÑO	UNIDAD	VALOR	VALOR MAXIMO
CAUDAL			
DBO			
DQO			
SSED.			
SST			
A & G			
Otros:			

GR-DE-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE LA PTAROD

NOMBRE DEL EQUIPO	PARAMETROS DE DISEÑO	UNIDAD	VALOR MAXIMO

GR-LR-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

REACTIVOS UTILIZADOS EN LA PTAROD

NOMBRE DEL REACTIVO	HOJA TECNICA	MSDS	DOSIFICACION	DATOS ADICIONALES
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

GR-AA-____.
FECHA: ____/____/____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

ANTECEDENTES DE ACCIDENTES E INCIDENTES IDENTIFICADOS EN LA PTAROD

EVENTO	UBICACIÓN EN LA PTAROD	EQUIPO/SUSTANCIAS INVOLUCRADAS	CAUSAS	NIVEL DE AFECTACION	ACCION CORRECTIVA EJECUTADA

GR-EA-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

EQUIPOS Y ACCESORIOS DE LA PTAROD

NOMBRE DEL EQUIPO	DIMENSIONES	FUNCION	ENTRADA			SALIDAS			DATOS ADICIONALES/ OBSERVACIONES
			NOMBRE	CANTIDAD	ESTADO ¹	NOMBRE	CANTIDAD	ESTADO ¹	

¹ ESTADOS: Sólido (S), Líquidos (L) y Gaseoso (G).

GR-CO-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PTAROD

EQUIPO / ACCESORIOS	CONDICION DE OPERACION	OBSERVACIONES

GR-LA-____.
FECHA: ____/____/____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

ALMACENAMIENTO DE INSUMOS, RESIDUOS Y PRODUCTOS DE LA PTAROD

LUGAR DE ALMACENAMIENTO	DIMENSION	MATERIALES ALMACENADOS	CANTIDAD MAXIMA A ALMACENAR	UBICACIÓN DENTRO DE LA PLANTA

GR-DR1-____.
FECHA: ____/____/____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

DISPOSICION DE RESIDUOS Y PRODUCTOS GENERADOS EN LA PTAROD

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO PREVIO A DP	DISPOSICIÓN FINAL (DP)
LODOS		
GASES		

GR-DR2-____.
FECHA: ____/____/____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

DISPOSICION DE RESIDUOS Y PRODUCTOS GENERADOS EN LA PTAROD

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO PREVIO A DP	DISPOSICIÓN FINAL (DP)
SÓLIDOS GRUESOS		
GRASAS		

GR-DR3-____.
FECHA: ____/____/____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

DISPOSICION DE RESIDUOS Y PRODUCTOS GENERADOS EN LA PTAROD

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO PREVIO A DP	DISPOSICIÓN FINAL (DP)
EFLUENTES		
OTROS		

GR-FC-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

IDENTIFICACION DE FALLAS Y CONSECUENCIAS EN LA PTAROD

ETAPAS DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	CONSECUENCIA	NIVEL DE RIESGO	ACCION CORRECTIVA	RESPONSABLE

GR-SS-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

SISTEMA DE SEGURIDAD EN LA PTAROD

DESCRIPCION DE LA SITUACION	MEDIDAS CORRECTIVAS	EQUIPOS Y DISPOSITIVOS DISPONIBLES

GR-RF-____.
FECHA: ____ / ____ / ____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

PRESENTACION DE INFORME DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS A IMPLEMENTAR EN LA PTAROD

RIESGO IDENTIFICADO	MEDIDA PREVENTIVA	RESPONSABLE	ACCION CORRECTIVA	RESPONSABLE

GR-PA-____.
FECHA: ____/____/____.

NOMBRE DE LA PTAROD : _____

NOMBRE DE RESPONSABLE : _____ FIRMA: _____

PLANIFICACION DE ACTIVIDADES DEL EQUIPO DE TRABAJO

ACTIVIDAD	RESPONSABLE	FECHA

ANEXO F

SISTEMA DE REGISTRO

CODIGO DE FORMATO

HOJA DE CONTROL DE VISITAS A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

FECHA	NOMBRE Y FIRMA	INSTITUCION	TELEFONO	OBJETIVOS Y/O COMENTARIOS DE LAS VISITAS

F: _____
NOMBRE Y FIRMA DEL RESPONSABLE

**FORMATO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
LISTADO DE EQUIPO**

NOMBRE DEL EQUIPO	OBSERVACIONES	FECHA	FIRMA DEL RESPONSABLE

LISTA DE EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

MES : _____

EQUIPO	CONDICIONES		OBSERVACIONES
	BUENAS	MALAS	
GABACHA			
GUANTES			
BOTAS DE HULE			
MASCARILLA			
LENTES			

F: _____
SUPERVISOR

F: _____
OPERARIO

LISTA DE EQUIPO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS DE ORIGEN DOMESTICO

FECHA: _____

X: LIMPIEZA REALIZADA

/: LIMPIEZA NO REALIZADA

EQUIPO	LIMPIEZA	OBSERVACIONES
REJAS		
DESARENADOR TRAMPA DE GRASA		
SEDIMENTADOR PRIMARIO		
REACTOR UASB		
FILTRO PERCOLADOR		
SEDIMENTADOR SECUNDARIO		

F: _____
SUPERVISOR

F: _____
OPERARIO