

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA
DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE
LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ
POR MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL
COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO
LIBRE”.

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Colombo Xavier Zambrano Pérez

Xavier Enrique Saltos Arteaga

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

A Dios por habernos dado la fortaleza y sabiduría para concluir este proyecto, a nuestros padres por el apoyo incondicional que nos han brindado y a las personas que colaboraron para llevar a cabo este trabajo. Sería injusto dar nombres porque se podría pasar alguno pero no podemos dejar de mencionar al Ing. Franklin Villamar B. que supo guiarnos para cumplir con este tan anhelado objetivo de convertirnos en profesionales. Muchas Gracias.

DEDICATORIA

A NUESTROS PADRES

A NUESTROS HERMANOS

A NUESTROS AMIGOS

A TODA LA FAMILIA.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Edison Navarrete C.
SUB-DECANO FICT
PRESIDENTE

Ing. Franklin Villamar B.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. David Matamoros C.
VOCAL PRINCIPAL

Ing. Alby Aguilar.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Xavier Zambrano Pérez

Xavier Saltos Arteaga

RESUMEN

OBJETIVOS

- Elaborar un proyecto en el que se aclaren conceptos básicos antes de escoger un sistema para el tratamiento de las aguas residuales, ya sean estas de tipo: doméstico, industrial, agrícola, etc.
- Aplicar el diseño propuesto para la construcción de un sistema de humedal artificial de flujo libre en la población de San Eloy.

METODOLOGIA

- Definir conceptos y términos básicos a utilizar en este proyecto de tesis.
- Comparar criterios de diseño entre los tipos de humedales artificiales que existen.
- Utilizar con criterio ingenieril las ecuaciones correspondientes y escoger los parámetros de diseño para el funcionamiento y dimensionamiento del sistema.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

- Dimensionamiento de acuerdo a las ecuaciones propuestas en la bibliografía.
- Escoger el tipo de tratamiento primario y dimensionarlo de acuerdo a las normas correspondientes.
- Dimensionar el humedal en base a la remoción de contaminantes requerido.

RESULTADOS

- Los valores obtenidos en los cálculos fueron los esperados. Esto no significa que éste es el único sistema de tratamiento que puede emplearse, pero es el objetivo de este estudio diseñar este tipo de humedal artificial que corresponde al de flujo libre.

CONCLUSIÓN

- Se alcanzaron los objetivos y se buscó realizar un diseño práctico para que el proceso constructivo, en caso que se lo lleve a cabo, se facilite y pueda cumplirse a cabalidad.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	II
INDICE DE PLANOS.....	III
INDICE DE TABLAS.....	IV
SIMBOLOGÍAS Y ABREVIATURAS.....	V
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	4
2. AGUAS RESIDUALES: CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN.....	6
2.1. Clasificación.....	6
2.2. Características y Composición.....	22

3. PRINCIPALES TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	55
3.1. Introducción.....	55
3.2. Recolección de las Aguas Residuales.....	56
3.3. Tratamiento Preliminar.....	63
3.4. Tratamiento Primario.....	87
3.5. Tratamiento Secundario.....	94
3.6. Tratamiento Terciario o Avanzado.....	124
4. SISTEMAS DE HUMEDALES ARTIFICIALES.....	136
4.1. Introducción.....	136
4.2. Componentes del Humedal.....	139
4.2.1. Agua.....	139
4.2.2. Substratos.....	140
4.2.3. Tipo de Vegetación.....	141
4.2.4. Microorganismos.....	148
4.2.5. Animales.....	150
4.3. Tipos de humedales.....	150
4.3.1. Humedales de flujo libre.....	151
4.3.2. Humedales de flujo subsuperficial.....	168

5. MODELO GENERAL DE DISEÑO PARA HUMEDALES DE FLUJO LIBRE	188
5.1. Diseño Hidráulico y Dimensionamiento.....	188
5.2. Diseño para la remoción de DBO.....	197
5.3. Diseño para la remoción de Sólidos Suspendedos Totales (SST).....	201
5.4. Diseño para la remoción de Nitrógeno.....	203
5.5. Diseño para la remoción de Fósforo.....	208
5.6. Aspectos Térmicos.....	212
6. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY.....	213
6.1. Características generales de la zona de estudio.....	213
6.1.1. Ubicación.....	213
6.1.2. Características Físicas.....	214
6.1.3. Características Sociales.....	215
6.2. Diseño Hidráulico y Dimensionamiento del tratamiento primario (tanque séptico y filtro anaerobio).....	217
6.3. Diseño Hidráulico y Dimensionamiento del Humedal.....	223
6.4. Diseño para la remoción de DBO.....	223

6.5. Diseño para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	225
6.6. Diseño para la remoción de Nitrógeno.....	225
6.7. Diseño para la remoción de Fósforo.....	226
7. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.....	229
7.1. Impermeabilización.....	229
7.2. Vegetación.....	231
7.3. Especificaciones Técnicas Constructivas.....	232
7.3.1. Tanque Séptico y Filtro Anaerobio.....	232
7.3.2. Humedal Artificial de Flujo Libre.....	234
7.4. Operación y Mantenimiento.....	238
8. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO.....	243
8.1. Introducción.....	243
8.2. Objetivos.....	244
8.3. Metodología.....	245
8.4. Marco legal.....	246
8.5. Caracterización y diagnóstico de las componentes ambientales y sociales.....	249
8.6. Comparación ambiental de las alternativas.....	260
8.7. Plan de manejo Ambiental.....	266

8.8. Costos Ambientales.....	270
8.9. Conclusiones y Recomendaciones.....	271
9. PRESUPUESTO.....	276
9.1. Presupuesto Referencial.....	277
9.2. Análisis de Precios Unitarios.....	279
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	300
11. BIBLIOGRAFÍA.	
12. ANEXOS.	

ÍNDICE DE PLANOS

LÁMINA 1/3

TANQUE SÉPTICO Y FILTRO ANAEROBIO – DETALES GENERALES

LÁMINA 2/3

HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE – IMPLANTACIÓN GENERAL

LÁMINA 3/3

HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE – CORTES Y DETALLES

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 2.1. Producción media estimada de microorganismos indicadores.....	9
Tabla 2.2. Composición típica de las aguas residuales domésticas.....	10
Tabla 2.3. Carga de contaminantes de los residuos animales.....	13
Tabla 2.4. Características de la contaminación de aguas de escorrentía.....	21
Tabla 2.5. Agentes infecciosos potenciales en el agua doméstica residual.....	49
Tabla 2.6. Organismos indicadores empleados para la determinación de criterios de rendimiento para diferentes usos del agua.....	50
Tabla 2.7. Características del líquido séptico.....	53

Tabla 3.1. Opciones típicas de tratamiento de aguas residuales.....	56
Tabla 3.2. Comparación entre sistemas por gravedad y sistemas a presión con tanque séptico.....	59
Tabla 3.3. Características relativas de sistemas alternos de recolección.....	63
Tabla 3.4. Descripción de equipos de tamizados usados en el tratamiento de agua residual.....	65
Tabla 3.5. Información usual sobre las características y cantidades de residuos del tamizado grueso removidos con ayuda de rejillas.....	70
Tabla 3.6. Información usual sobre las características y cantidades de residuos sólidos generados en el tamizado de agua residual con rejillas finas y tamices de plato perforado.	71
Tabla 3.7. Datos usuales sobre la remoción de DOB y SST con tamices finos empleados como reemplazo de sedimentadores primarios.....	75

Tabla 3.8. Información habitual para el diseño de desarenadores de vórtice.....	83
Tabla 3.9. Resumen del desempeño de filtros de turba en el tratamiento de aguas residuales de viviendas individuales.....	113
Tabla 3.10. Clasificación de las lagunas con base en la presencia y fuente de oxígeno.....	114
Tabla 4.1. Parámetros medioambientales de las plantas típicas usadas en los humedales.....	148
Tabla 4.2. Remociones típicas de SST en Humedales de Flujo Libre.....	161
Tabla 4.3. Remociones típicas de N en Humedales de Flujo Libre en EE.UU.....	163
Tabla 4.4. Remoción de coliformes fecales en Humedales Artificiales de Flujo Libre.....	165
Tabla 4.5. Tasas de carga superficial en Humedales de Flujo Subsuperficial.....	174
Tabla 4.6. Concentraciones naturales en Humedales de Flujo Subsuperficial.....	176
Tabla 4.7. Características típicas del medio en Humedales de Flujo Subsuperficial.....	177

Tabla 4.8. Remoción de DBO para Humedales de Flujo Subsuperficial.....	179
Tabla 6.1 Contribuciones unitarias o de lodo fresco según el tipo de predio.....	219
Tabla 6.2 Tiempo de retención.....	219
Tabla 8.1. Niveles máximos de ruido permisibles según uso de suelo.....	247
Tabla 8.2. Cuadro de la precipitación del Recinto San Eloy.....	251
Tabla 8.3. Cuadro de la temperatura y humedad de la zona del proyecto.....	252
Tabla 8.4. Cuadro de población.....	255
Tabla 8.5. Matriz de Leopold.....	263
Tabla 8.6. Medidas esperadas en la etapa de construcción.....	268
Tabla 8.7. Medidas esperadas en la etapa de operación y mantenimiento	269

Tabla 8.8. Presupuesto Referencial del Plan de Manejo Ambiental-Fase de Construcción270

Tabla 8.9. Presupuesto Referencial del Plan de Manejo Ambiental-Fase Operación y Mantenimiento.....270

Tabla 8.10. Presupuesto Referencial del Plan de Manejo Ambiental-Resumen General.....271

SIMBOLOGÍAS Y ABREVIATURAS

AASS	Agua Servidas
HAFL	Humedal de Flujo Libre
CF	Coliformes Fecales
EF	Estreptococos Fecales
MO	Materia Orgánica
SST	Sólidos Suspendidos Totales
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
COT	Carbono Orgánico Total
DteO	Demanda teórica de oxígeno
Kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
g/m ³	gramo por metro cúbico
lb/pie ³	libra por pie cúbico
pH	Potencial hidrógeno
Km	Kilómetro
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
°C.	Grados centígrados
d	días
m ³	Metro cúbico

gal.	Galones
m ²	Metro cuadrado
Km/h	Kilómetro por hora
m/s	Metro por segundo
mg/l	Miligramos por litro
ppm	Partes por millón
φ	Diámetro
D/N	Desagüe normal

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

El agua junto con el aire, la tierra y la energía constituyen los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo de todos los seres vivos.

La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas.

El agua es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza y cubre aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie de la tierra. Sin embargo, en contra de lo que pudiera parecer, diversos factores limitan la disponibilidad de agua para uso humano. Más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras

masas salinas, y no están disponibles para casi ningún propósito. Del 3% restante, por encima del 2% se encuentra en estado sólido, hielo, resultando prácticamente inaccesible.

Por tanto, podemos decir que para el hombre y sus actividades industriales y agrícolas, sólo resta un 0,62 % que se encuentra en lagos, ríos y agua subterránea. La cantidad de agua disponible es ciertamente escasa, aunque mayor problema es aún su distribución irregular en el planeta. El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en los ecosistemas en donde se utilizan.

El caso del agua es uno de los ejemplos más claro; un mayor suministro de agua significa una mayor descarga de aguas residuales. Hay que considerar también que el hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas, bien directamente mediante extracción de la misma y posterior vertido de aguas contaminadas como se ha dicho, o bien indirectamente alterando la vegetación y la calidad de las aguas. Nuestro mundo por muchos años ha sido descuidado y maltratado por los seres humanos.

La industrialización y el modernismo son algunos factores que contribuyen a la contaminación de nuestro ambiente.

El presente trabajo trata de alguna manera ayudar a reducir la contaminación de los cuerpos de agua depurando las aguas residuales que pasarán por el sistema de una manera más económica pero no menos eficiente que los sistemas convencionales, sin consumir las grandes cantidades de energía de los sistemas aeróbicos modernos y por ende colaborando con la preservación del medio ambiente y sin afectar el calentamiento global. Sin embargo se considera un tratamiento primario compuesto por un tanque séptico y filtro anaerobio, previo al diseño propuesto, con el fin de optimizar la remoción de contaminantes.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivos Generales.

- Proporcionar una guía para los consultores y constructores que van a desarrollar un proyecto de este tipo y así facilitar la labor de los mismos.
- Contribuir al cuidado del medio ambiente con la depuración o tratamiento de las aguas residuales para evitar la contaminación de cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas, etc.
- Emplear métodos y criterios establecidos por los estudios e investigaciones que se han desarrollado a lo largo de los años tanto en el diseño como en el conocimiento de la composición y proveniencia de los caudales de las aguas residuales, ya sean estas de tipo doméstico, industrial o agrícolas, y así utilizarlos de la manera correcta y saber elegir el tipo de tratamiento adecuado al que deben someterse las aguas contaminadas.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Proponer un tratamiento natural para las aguas residuales domésticas del recinto San Eloy de la Provincia de Manabí, mediante un humedal artificial de flujo libre.
- Mejorar las condiciones Sanitarias y ambientales de la población de San Eloy, con lo cual se aportará al desarrollo social y económico del sector.

CAPÍTULO 2

2. AGUAS RESIDUALES: CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN.

2.1. Clasificación.

La contaminación de las aguas naturales puede ser considerada como una impurificación artificial, ya sea directa o indirecta, producida por el hombre y/o sus actividades. Así, es normal estudiar la contaminación atendiendo a las causas o actividades que la originaron, a continuación mencionaremos los tipos de aguas residuales más comunes:

- Aguas residuales domésticas.
- Aguas residuales pecuarias.
- Aguas residuales de origen agrícola.
- Aguas residuales industriales.
- Aguas de escorrentía urbana.

Se puede hablar también de aguas contaminadas en función del tipo de “impureza” concreta que aparece en valores anormales y que es secuencia de alguna actividad humana.

Aguas Residuales Domésticas: Son las aguas originadas en las viviendas o instalaciones comerciales privadas y/o públicas. Están compuestas por aguas fecales y aguas de lavado y limpieza. Los principales contaminantes que contienen son gérmenes patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno y fósforo, además de otros en menor proporción.

Desde un punto de vista sanitario, interesan los gérmenes de origen fecal que se eliminan con el agua porque producen enfermedades (enfermedades hídricas). De todos los gérmenes que son evacuados, una parte son producidos por el aparato digestivo, y de estos una parte pueden ser patógenos. La medida directa de los gérmenes patógenos en un agua residual es impracticable debido al gran número o familias que puede haber. Sería necesario realizar una amplia batería de análisis, lo cual resultaría poco práctico y antieconómico. La técnica que se emplea es una medida indirecta. Son técnicas presuntivas, lo que se busca en el agua son microorganismos indicadores de la contaminación. Estos

microorganismos deben ser fecales exclusivamente aunque no deben ser necesariamente patógenos, y no deben desarrollarse en ambientes naturales. La presencia del indicador nos dice que hay contaminación fecal, y por lo tanto puede ser posible que haya gérmenes fecales.⁸

Como indicadores de contaminación fecal se usan gérmenes fáciles de detectar, de medir y que aparezcan en grandes cantidades. Además estos gérmenes deben tener en el medio natural un comportamiento similar o de evolución más favorable que el de los patógenos.

En calidad de agua se utilizan sobre todo tres tipos de indicadores:

Coliformes: Los coliformes también aparecen en el medio natural, se habla de coliformes totales. Para tener un indicador exclusivamente entérico, se estableció un indicador biológico denominado **coliformes fecales CF**. Para detectarlos en laboratorios se realizan siembras en medios nutritivos específicos y al cabo de un tiempo determinado se cuenta el número determinado de colonias formadas (técnica del filtro de membrana) o se observa el efecto de gas consecuencia del

proceso de fermentación de la lactosa (técnica de flujo múltiple). Si no hay coliformes se tiene la seguridad que no hay gérmenes o contaminación de origen fecal.

Streptococos Fecales (EF): Son microorganismos estrictamente fecales, los que le convierte en un indicador bastante claro. Procede de animales de sangre caliente. Se ha demostrado que las aguas que tienen un mayor número de coliformes fecales que estreptococos fecales tienen mayor probabilidad de ser de origen humano. Si la relación CF/EF es del orden 4.4, es prácticamente seguro que la relación es de origen humano. Si es menor de 0.4 o 0.6 es seguro que es de origen animal.

La contaminación por estreptococos fecales acompaña y correlaciona bien con enfermedades relacionadas con las mucosas y por contacto en general.

ANIMAL	Densidad media de indicador / g heces		Producción media/ individuo.día		CF/EF
	CF*10EXP6	EF*10EXP6	CF*10EXP6	EF*10EXP6	
Hombre	13	3	2000	450	4,4
Pollo	1,3	3,4	250	620	0,4
Vaca	0,23	1,3	5400	31000	0,2

Tabla 2.1. Producción media estimada de microorganismos indicadores

Fuente: Iñaqui Tejero Monzón, Joaquín Suárez Lopez, Alfredo Jácome Burgos, Javier Temprano Gonzales, Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2001.

Clostridium sulfito-reductores: son microorganismos anaerobios que en situaciones difíciles crean esporas, lo que les permite resistir durante largo tiempo en ambientes hostiles. Es un indicador de contaminación lejana (en el tiempo), ya que todos los organismos fecales en el organismo podrían haber desaparecido.

Todas las unidades en mg/L menos los sólidos sedimentales.

CONSTITUYENTE	CONCENTRACION		
	FUERTE	MEDIA	DEBIL
SÓLIDOS TOTALES	1200	720	350
Disueltos SD	850	500	250
SD fijos SDF	525	300	145
SD volátiles SDV	325	200	105
En suspensión SS	350	220	100
SS fijos SSF	75	55	20
SS volátiles SSV	275	165	80
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/L	20	10	5
DBO5	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
NITROGENO (Total como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
FOSFORO (Total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
CLORUROS	100	50	30
ALCALINIDAD (como Co3Ca)	200	100	50
GRASA	150	100	50

Tabla 2.2. Composición típica de las aguas residuales domésticas

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Redes de Alcantarillado y Bombeo, 1995.

Aguas Residuales Pecuarias: Las aguas residuales pecuarias son las que proceden de la actividad ganadera. Si la actividad se desarrolla de forma intensiva, se generan normalmente vertidos directos a los cauces. Son vertidos localizados, constantes y concentrados. Si la actividad es de forma no establecida; el ganado deambula libre la contaminación de los cauces, y es de tipo difuso.

Cuando la contaminación es difusa el transporte de la misma está asociado a los fenómenos hidrológicos (escorrentía superficial, subsuperficial, etc.) y su control es difícil. En algunas regiones es común el uso de estiércol como abono natural, de forma que los compuestos de las aguas residuales de los establos pasan a ser contaminantes difusos en las cuencas. Lo normal en la cuenca es que tenga tanto vertidos localizados como difusos de contaminación ganadera.

Las aguas residuales pecuarias son en principio, de características similares a las aguas residuales domésticas ya que proceden de animales de sangre caliente. Como indicadores de contaminación bacteriológica se utilizan los mismos que para los humanos, el volumen de agua que transporta los residuos fecales de los animales es menor que en caso de las aguas residuales domésticas. Esto

determina que las concentraciones que nos encontremos de materia orgánica MO o de sólidos en suspensión SS sean muy altas. Las elevadas concentraciones condicionan los sistemas de conducción y transporte, y el tratamiento, de las aguas residuales pecuarias. Generalmente no hay detergentes en esta agua residuales.

Un problema especial puede suponer la existencia de gran cantidad de flotantes en el caso de ganado herbívoro. Habrá que disponer los sistemas de evacuación y tratamiento. Se suelen utilizar diferentes términos para describir la consistencia de estos vertidos: sólidos, semisólidos (lisier) y líquidos (purines). El lisier es habitualmente de las granjas de cerdos.

La cantidad de heces que elimina cada animal y sus características específicas depende de muchas variables: especie, raza, edad, estación climática, alimentación, etc. En condiciones normales de explotación se aceptan cifras como las que se presentan en la tabla siguiente:

ANIMAL	PESO MEDIO DEL ANIMAL (Kilos)	RESIDUOS TOTALES(Kg/cab.dia)	DBO5
Ganado bobino	363	18-27	0,45-0,68
Vacas	590	44	0,91
Pollos	-	0,050	0,0044**
Gallinas	-	0,059	0,0044**
Cabras y ovejas	-	7	0,160
Pavos	6,8	0,41	0,023
Patos	1,6	-	0,005-0,029
Caballos		37	0,0360

Tabla 2.3. Carga de contaminantes de los residuos animales

Fuente: Iñaqui Tejero Monzón, Joaquín Suárez Lopez, Alfredo Jácome Burgos, Javier Temprano Gonzales, Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2001.

Las cargas se refieren a los residuos totales, incluyendo heces y orina.

**Las unidades de DBO5 están en libra/libra de ave/día.*

Aguas Residuales de Origen Agrícola: El origen de la contaminación agrícola está en el arrastre, por las aguas de lluvia y el agua de riego, de los productos usados en la agricultura. El agua residual se incorpora a las fases del ciclo hidrológico (escorrentía superficial, subsuperficial, subterránea, etc.) llevando consigo los contaminantes. Los acuíferos, ríos y embalses serán las masas de agua receptoras que sufrirán los problemas de este tipo de contaminación.

Las actividades agrícolas pueden generar dos tipos muy diferentes de contaminación en función de si los compuestos son utilizados como abono o lo son como pesticidas.

Por uso de abonos la contaminación de origen agrario se caracteriza por contener compuestos orgánicos e inorgánicos.

Orgánicos: Proceden de la aplicación al terreno de abonos, fertilizantes o acondicionadores: compost (procedente de los residuos sólidos urbanos), estiércol, fangos de estación depuradora de aguas residuales urbanas (E.D.A.R.U). Los contaminantes que los acompañan son variados (materia orgánica, gérmenes patógenos, nitrógenos, fósforo), pero los principales y de mas interés son el nitrógeno y el fósforo.

Inorgánicos: Proceden de la incorporación al terreno de fertilizantes (N. P, K, etc.). De nuevo los que van a ser considerados contaminantes principales van a ser el nitrógeno y el fósforo, ciertos elementos limitan el crecimiento de las algas, pero de mayor importancia son el N y el P, los que habitualmente se presentan como nutrientes limitantes. La presencia en abundancia, y en proporciones mínimas, pueden aumentar la productividad de las algas y desequilibrar la cadena trófica.

Por uso de pesticidas (insecticidas, rodenticidas, plaguicidas, herbicidas, fungicidas, etc) la contaminación de origen agrario se caracteriza por contener compuestos:

Órgano-clorados: DDT, aldrín.

Órgano-fosforados, malatión.

Órganos-metálicos.

El uso de este tipo de compuestos permite aumentar la producción agrícola, pero tiene efectos muy negativos en las cadenas tróficas y son muy persistentes en el medio natural. Algunos, como el DDT, son bioacumulables. La tendencia es la búsqueda de nuevos compuestos alternativos.

Aguas Residuales Industriales: Las aguas residuales industriales proceden de la variada actividad industrial. Aparecen tantos tipos de aguas residuales industriales como tipos de industrias. Dentro de cada industria, el agua de abastecimiento, que luego se transformara en una gran proporción en agua residual, se utiliza fundamentalmente como:

Aguas de proceso.

Aguas de limpieza.

Aguas asimilables a domésticas.

Aguas de refrigeración y calefacción.

Cada una de estas aguas vas a generar las correspondientes aguas residuales, que reciben los mismos nombres. A estas hay que añadir las *aguas de escorrentía* que se producen en la zona industrial, que puede llegar a incorporar gran cantidad de materiales (arrastres en los parques de almacenamiento de carbón.)

Cada uno de los tipos de aguas residuales citadas va a incorporar una contaminación diferente. De forma general se puede decir que las aguas residuales industriales se caracterizan por su variedad y por su variabilidad.

Alta variedad porque cada tipo de industria va a construir un caso especial. Incluso dentro de cada sector, es tal la variedad de procesos, que es casi imposible tratar de hacer una caracterización por sectores.

Estudiando caso a caso se va adquiriendo experiencia en el análisis y en el desarrollo de estrategias para mitigar la generación, y conseguir tratamientos eficaces, de cada tipo de agua residual industrial.

En cada proceso industrial los vertidos de agua residual pueden ser continuos o periódicos (una vez al día, una a la semana, una al mes, anuales, etc.).

El control de la contaminación por agua residual industrial es muy difícil. Si estos vertidos se realizan a redes de alcantarillado municipales los problemas pueden llegar a ser muy graves.

Para poder atacar de forma correcta la contaminación por aguas residuales industriales hay que conocer el tipo de industria, sus procesos y sus costumbres.

Hay manuales especializados para cada tipo de industria. Se puede hacer una pequeña revisión de los principales contaminantes que aparecen en este tipo de agua.

En aguas residuales industriales es normal que la materia orgánica aparezca en forma disuelta en mayores proporciones (aproximadamente 80%) que en las aguas residuales domésticas (aproximadamente 20-40%). Las concentraciones de materia orgánica suelen ser muy elevadas, oscilando entre 1.000 y 100.000 mg/L de DBO_5 (mientras que en aguas residuales domésticas los valores

oscilan entre 100 y 400 mg/L). Por el contrario, el N y el P se presentan, proporcionalmente con la materia orgánica, en menor cantidad que en las aguas residuales domésticas. Este hecho va a condicionar los posibles tratamientos biológicos de las aguas residuales industriales.

Además, es bastante normal que la materia orgánica existente sea no biodegradable. Si la relación DQO/DBO₅ es mayor que 2.5 es posible que aparezcan problemas con los tratamientos biológicos. Si además las aguas residuales incorporan sustancias tóxicas la DBO₅ es muy posible que se anule o sea muy baja con lo que de nuevo tendremos problemas con los tratamientos biológicos tradicionales.⁸

Las papeleras, azucareras, mataderos, fábricas de curtidos, de conservas, lecherías y sus subproductos, fábricas de alcoholes, levaduras, de aceites, de bebidas, lavanderías, etc. tienen vertidos fundamentalmente orgánicos.

La temperatura en un agua residual doméstica suele tener del orden de 2 °C por encima del agua de abastecimiento. Si el agua residual industrial procede de una central térmica, por ejemplo, la temperatura

va a ser muy elevada. En general los problemas de temperaturas proceden de aguas residuales de refrigeración. La industria alimenticia también suele tener aguas residuales de proceso caliente.

En cuanto a productos químicos inorgánicos en las aguas residuales industriales se pueden encontrar tóxicos, como metales pesados (Hg, Cd, Cr, Ni, Cu, Pb) procedentes en general de la industria metalúrgica o cianuros (CN⁻). Algunos de los citados son tóxicos bioacumulables. Los ácidos y bases también aparecen con frecuencia en los vertidos industriales, en mayor proporción en la industria química.

También es normal la aparición de vertidos con elevadas concentraciones de sales, que pueden proceder de calderas o sistemas de refrigeración.

Los aceites e hidrocarburos proceden en general de las maquinarias y los talleres, la contaminación radiactiva también puede aparecer como consecuencia de problemas graves de la explotación de las centrales nucleares o de la industria nuclear en general.

Las explotaciones mineras y salinas tienen vertido con elevada carga inorgánica. La industria de la limpieza y recubrimiento de metales, en

las refinerías y petroquímicas, coquerías y fábricas de textiles, las aguas residuales incorporan tanto materia orgánica como inorgánica en elevadas concentraciones.

Lavaderos de carbón y mineral, instalaciones de corte y pulido de mármoles e instalaciones de laminación en caliente y colada continua, aportan en sus aguas residuales una gran cantidad de sólidos en suspensión.

Aguas de escorrentía urbana: Son aquellas que provienen de las precipitaciones de aguas lluvias o nieves sobre una cuenca urbana. Son aportaciones de carácter intermitente. Los caudales en un agua urbanizada suelen ser del orden de 50 a 200 veces superiores en volumen a los vertidos domésticos, comerciales e industriales. La superficie de una ciudad que recibe la lluvia es de dos tipos: impermeable y permeable. Las que predominan son las impermeables de edificios, pavimentos, calzadas, azoteas, aceras, etc.; mientras que las superficies permeables las constituyen los jardines, algunos patios interiores, solares sin edificar, etc. El alto porcentaje de superficies impermeables es una característica de la zona urbana.

Es erróneo pensar que las aguas de escorrentía son esencialmente limpias. De la lluvia caída, una fracción se emplea en mojar las

superficies; otra se evapora y otras se quedan atrapadas en huecos y depresiones del suelo. Si sigue lloviendo el agua se moviliza hacia los puntos de recogida, drenando por superficies impermeables, y a su vez, limpiando y transportando en suspensión y disolución, los contaminantes acumulados sobre el suelo. La tabla 2.4 muestra las características típicas de este tipo de agua:

PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA	ALEMANIA Varios autores [1]	ALEMANIA Varios autores [1]	ONTARIO MARSALEK [2]	GRAN BRETAÑA ELLIS (1989) [3]	USA - NURP (1983) [4]	NOVOTNY (1994) [5]	METCALF- EDDY (1991) [6]	ELLIS (1986) [7]
	ZONA RESIDENCIAL	AUTOPISTAS	USO MIXTO DEL SUELO	USO MIXTO DEL SUELO	USO MIXTO DEL SUELO			
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN SS (mg/L)	134	140 - 250	----	21 - 2582 (190)	100 *(1.0 - 2.0)	3 - 11000 (650)	67 - 101	3 - 11000
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO - DBO (mg/L)	7 - 18	----	----	7 - 22 (11)	9 *(0.5 - 1.0)	10 - 250 (30)	8 - 10	60 - 200
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO - DQO (mg/L)	47 - 115	86 - 119	----	20 - 365 (85)	65 *(0.5 - 1.0)	----	40 - 73	----
NITRÓGENO AMONIACAL (NH ₄ -N) (mg/L)	0.8	0.5 - 0.9	0.5	(0.2 - 4.6) 1.45	----	----	----	----
NITRÓGENO TOTAL (mg/L)	----	----	----	0.4 - 20.0 (3.2)	1.5 *(0.5 - 1.0)	3 - 10	----	3 - 10
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	----	----	0.28	0.02 - 4.30 (0.34)	0.33 *(0.5 - 1.0)	0.2 - 1.7 (0.6)	0.67 - 1.66	0.2 - 1.7
PLOMO (mg/L)	0.27	0.16 - 0.62	0.146	0.01 - 3.1 (0.21)	0.14 *(0.5 - 1.0)	0.03 - 3.1 (0.3)	0.27 - 0.33	0.4
ZINC (mg/L)	----	0.36 - 0.62	0.490	0.01 - 3.68 (0.30)	0.16 *(0.5 - 1.0)	----	0.135 - 0.226	----
ACEITES (mg/L)	----	2.0 - 7.0	3.3	0.09 - 2.8 (0.40)	----	----	----	----
COLIFORMES TOTALES (UFC/100 ml)	----	----	----	----	----	----	10 ³ - 10 ⁸	10 ³ - 10 ⁸
COLIFORMES FECALES (E. Coli) (UFC/100 ml)	----	----	2100	400 - 5.10 ⁵ (6430)	----	----	----	----

Los valores entre paréntesis representan valores medios excepto los de [4], que representan coeficientes de variación.

[1] ALEMANIA, VARIAS FUENTES: Goettle (1978), Paulsen (1984), Klein (1982), Grottker (1987), Durchschlag (1987), Grottker (1989), citados por Marsalek, J. et al (1993), "Urban drainage systems: design and operation", Wat. Sci. Tech., Vol. 27, N° 12, pp 31-70.

[2] MARSALEK, J.; SCHROETER, H.O.; (1989), "Annual loadings of toxic contaminants in urban runoff from the Canadian Great Lakes Basin", J. Water Poll. Res. Canada 23, pp 360-378.

[3] ELLIS, J.B. (1989), "Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts (Adv. Wat. Poll. Control N° 7)", Pergamon Press, Oxford.

[4] NURP, (1983), "Final Report of the Nationwide Urban Runoff Program, vol. 1, Water Planning Division, US-EPA, Washington D.C., USA.

[5] NOVOTNY, V.; OLEM, H. (1994), "Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution", Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-00559-8.

[6] METCALF & EDDY, (1991), "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse", Tercera Edición; McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, ISBN 0-07-100824-1.

[7] ELLIS, J.B. (1986), "Pollutional aspects of urban runoff", in Urban Runoff Pollution, Torno, H., J. Marsalek, y M. Desbordes, Eds., NATO ASI Series, Series G: Ecological Sciences, Vol 10, Springer-Verlag, Berlín.

Tabla 2.4. Características de la contaminación de aguas de escorrentía

Fuente: Iñaqui Tejero Monzón, Joaquín Suárez Lopez, Alfredo Jácome Burgos, Javier Temprano Gonzales, Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2001.

2.2. Características y Composición.

Antes de mencionar los procesos y tipos de tratamiento que reciben las aguas residuales es importante conocer las características de las mismas ya que de acuerdo a esto se escogerá el tipo de tratamiento acorde a los componentes de estas aguas residuales.

Cabe señalar que no todas las aguas residuales son iguales, los componentes de las mismas son diferentes de acuerdo al uso que estas hayan tenido, los diferentes tipos fueron abordados anteriormente.

Así, existen tres características fundamentales que nos ayudarán en el estudio para la depuración de aguas residuales, estas son:

- Físicas.
- Químicas.
- Biológicas.

Para el análisis de las aguas residuales existen métodos cuantitativos, los que sirven para determinar la composición química de este tipo de agua, entre estos métodos cuantitativos se puede citar el físico-químico, gravimétrico y volumétrico, así mismo existen métodos

cualitativos los mismos que sirven para conocer las características físicas y biológicas.

El agua residual en general consta de diversos contaminantes, los cuales tienen sus respectivas características, a continuación se citarán los mismos con su explicación:

Sólidos suspendidos: Son los responsables del desarrollo de depósitos de fango y condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno).

Patógenos: Por medio de los organismos patógenos se pueden transmitir enfermedades.

Nutrientes: Se refiere al vertido de elementos como el fósforo, nitrógeno y carbono al agua, ya que esto produciría una vida acuática no deseada o la contaminación de aguas subterráneas en el caso de ser vertidos directamente en el suelo.

Contaminantes prioritarios: Pueden ser compuestos orgánicos o inorgánicos con ciertos parámetros de carcinogenicidad,

mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad y que podrían estar presentes en las aguas residuales.

Materia orgánica biodegradable: Está compuesta de proteínas, grasas animales, esta materia orgánica biodegradable por lo general se la mide en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno).

Materia orgánica refractaria: Este tipo de materia puede hacer resistencia a los tipos de tratamiento convencionales, como es el caso de los pesticidas en el uso agrícola por citar un ejemplo.

Sólidos inorgánicos disueltos: Para que el agua residual pueda ser reutilizada, el cual es uno de los objetivos fundamentales para que estas sean depuradas se deberán remover constituyentes inorgánicos tales como los sulfatos, sodio y calcio.

Metales pesados: Es necesario para que el agua residual pueda ser reutilizada remover ciertos metales pesados especialmente aquellos que se descargan durante procesos industriales.

Características Físicas.

Entre las principales características físicas presentes en el agua residual están la cantidad de sólidos presentes (suspendidos, sedimentables, disueltos), olor, temperatura, color, turbidez y densidad.

Sólidos Totales: Se conoce como sólidos totales a la materia que se obtiene luego de que el agua ha sido sometida a evaporación (103°C – 105°C), descartando a la materia perdida durante este proceso, los sólidos sedimentables son aquellos que se sedimentan luego de que la muestra de agua residual ha estado en el cono de Imhoff (recipiente cónico)(Figura. 2.1) por el lapso de una hora, esta medida expresada en mililitros sobre litro (ml/l) se aproxima a la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

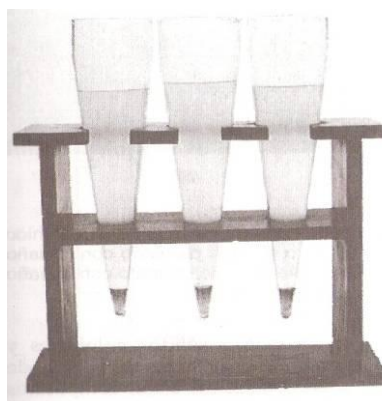


Figura.2.1. (Conos de Imhoff)

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización, 1995

Los sólidos pueden clasificarse en filtrables o no filtrables que serían los sólidos en suspensión, para el proceso de separación se emplea por lo general un filtro Whatman con un tamaño nominal de poro de $1,2\mu\text{m}$, sin embargo se puede utilizar también un filtro de membrana de policarbonato.¹

Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas, inorgánicas e iones en disolución en el agua. No se puede eliminar la fracción coloidal por sedimentación. Así mismo, los sólidos ya mencionados pueden dividirse en función de su volatilidad ($550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), a estas temperaturas la fracción orgánica se oxidará y se convertirá en gas dando como resultado una fracción inorgánica en forma de ceniza. El análisis de sólidos volátiles usualmente se emplea para determinar la estabilidad biológica de fangos de aguas residuales.

A continuación se muestra una clasificación aproximada de los contenidos de un agua residual de concentración media (Fig. 2.2).

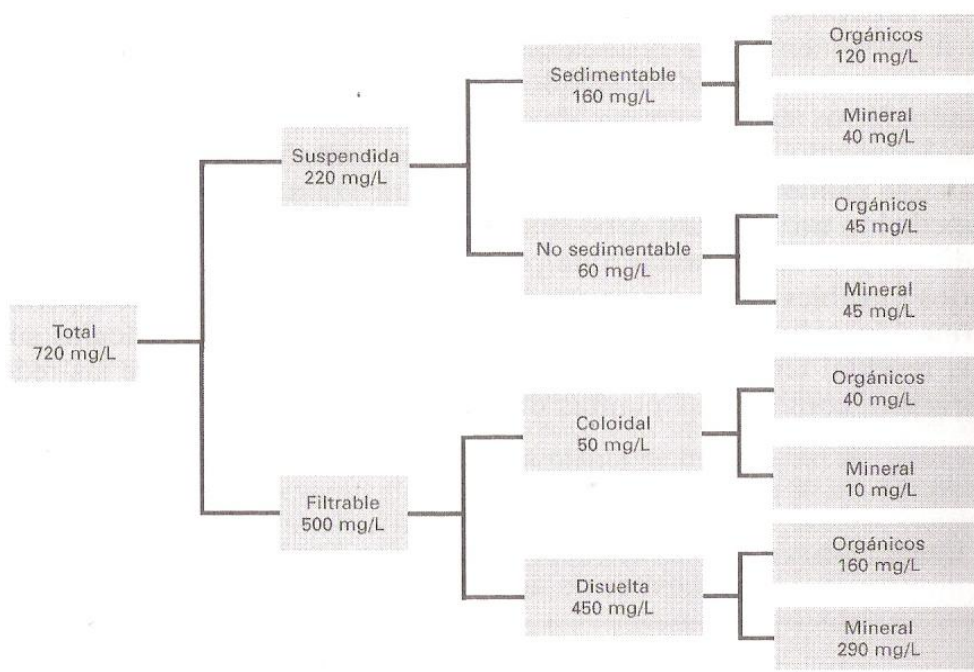


Figura 2.2. Concentraciones aproximadas para una agua residual de concentración media

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización, 1995

Olor: Por lo general los olores presentes en las aguas residuales son producto de los gases que se liberan en el proceso en el cual se descompone la materia orgánica, este olor producido es muy desagradable, el cual se debe principalmente a la presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S) el cual se genera al convertirse los sulfatos en sulfitos por acción de microorganismos anaeróbios, en las aguas residuales de origen industrial pueden existir otras características.

Este aspecto que concierne a los olores es muy importante de tener en consideración al momento de diseñar y construir sistemas de

alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento debido a que las personas pueden ser afectadas en su calidad de vida por este problema. Los olores pueden detectarse en primer lugar por el sentido del olfato, el cual nos da aviso de cuando un olor es desagradable y también se lo puede hacer de manera instrumental con un medidor de sulfuro de hidrógeno portátil. También existen otros aparatos como el Olfatómetro triangular dinámico o el medidor de aromas para estudios de campo, entre los componentes que pueden ser detectados puede estar los aminoácidos, amoníaco y compuestos orgánicos volátiles.¹

Temperatura: La temperatura en las aguas residuales es un factor muy importante, por lo general la temperatura de esta agua son mayores que las del agua potable, esto se debe principalmente a que el calor específico del agua es significativamente mayor que el del aire, con excepción en las épocas en donde hay mucho calor, dependiendo de la geografía del sitio, la temperatura de las aguas residuales varía entre 10°C a 20°C, por lo que 15° que es el valor intermedio sería un valor representativo.

La importancia de la temperatura en las aguas residuales se debe a la influencia que tiene sobre la vida acuática que se podría desarrollar en determinadas zonas, reacciones químicas y velocidades de reacción.

1

Una variación significativa en la temperatura del agua puede desencadenar la desaparición de la vida acuática así como aguas con temperaturas muy elevadas pueden dar como consecuencia aparición de hongos y plantas acuáticas.

Cabe señalar que entre 25°C y 30°C son temperaturas en las cuales el desarrollo de la actividad bacteriana estaría en su mejor momento.

Color: El color es un parámetro mediante el cual se pueden calificar las aguas residuales, lo que específicamente se refiere a la edad de la misma. En primera instancia el agua residual toma un color gris, sin embargo cuando las condiciones hacen que la presencia de oxígeno desaparezca esta agua va adquiriendo un color más oscuro hasta finalmente llegar a negra. Este color gris o negro por lo general se debe a la formación de sulfuros metálicos.

Turbidez: La turbidez de un agua se debe a la presencia de materias en suspensión, finamente divididas; arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas, entre otras. La determinación de la turbidez tiene un gran interés como parámetro de control en aguas

contaminadas y residuales. Se puede evaluar en el campo o en el laboratorio.

La turbidez en las aguas residuales es un parámetro indicador de la calidad de esta agua respecto a la materia residual y coloidal en suspensión. La medición de la turbiedad se realiza por medio de la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones, la materia coloidal dispersa absorbe la luz lo cual impide su transmisión.

Densidad: La densidad es un parámetro definido por la relación entre la masa y el volumen, se puede expresar en diversas unidades, teniendo como las más usuales kg/m^3 y g/cm^3 . De acuerdo a la densidad del agua residual se puede determinar la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y demás instalaciones de tratamiento.

Características Químicas.

Básicamente las características químicas de las aguas residuales se las puede estudiar en tres partes que son: materia orgánica, materia

inorgánica y los gases que se encuentran presentes en este tipo de aguas.

Materia Orgánica

De acuerdo a los sólidos presentes en una agua residual de concentración media se puede decir que aproximadamente el 75% de los sólidos suspendidos y el 40% de los sólidos filtrables son orgánicos, los cuales provienen en gran parte de plantas y animales, estos compuestos orgánicos están formados por la combinación de carbono, oxígeno e hidrógeno y en algunas ocasiones de nitrógeno. Así mismo, se puede detectar la presencia de otros elementos como el fósforo, azufre y el hierro, las sustancias orgánicas que se encuentran en mayor proporción son las proteínas con un porcentaje entre el 40 al 60%, los hidratos de carbono que se encuentran en un 25 al 50% y las grasas con un 10% aproximadamente, la úrea es un constituyente principal en las aguas residuales debido a que es un elemento que se encuentra en gran proporción en la orina.¹

Además de los constituyentes orgánicos mencionados anteriormente, existen otros que están presentes pero en menor cantidad como las moléculas orgánicas sintéticas.

1

Los *Hidratos de carbono* están presentes en los azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, los mismos que forman parte de la composición de las aguas residuales, estos hidratos de carbono están formados por oxígeno, carbono e hidrógeno, los hidratos de carbono son algunos solubles en agua como es el caso de los azúcares al contrario de lo que sucede con los almidones. Los azúcares tienden a descomponerse dando como resultado un efecto de fermentación produciendo alcohol y CO₂, los almidones en cambio son más estables pero terminan convirtiéndose en azúcares debido a la acción de las bacterias presentes y los ácidos minerales disueltos.¹

La celulosa es el hidrato de carbono más importante en la composición de un agua residual, ya que su destrucción es un proceso que se desarrolla fácilmente en el terreno por la acción de hongos en condiciones donde el pH es bajo.

Las *proteínas*, son los componentes primarios dentro del organismo animal, siendo secundaria en los organismos vegetales, la composición química de las proteínas es compleja ya que se puede descomponer de diversas formas, unas son solubles en el agua y

otras son insolubles, los procesos químicos utilizados para la formación de proteínas son en combinación o cadena de aminoácidos.

El carbono es un elemento fundamental en las proteínas, común en todas las sustancias orgánicas, hidrógeno y oxígeno así como también una gran cantidad de nitrógeno, pueden tener también elementos como el azufre, hierro y fósforo, junto con la úrea, las proteínas son las responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales, así se concluye que grandes cantidades de proteínas son las generadoras de olores fuertes y desagradables en las aguas residuales.

Las *grasas*, que contemplan grasas animales y aceites es otro de los componentes de gran importancia en los alimentos y por ende lo será en las aguas residuales. El contenido de grasa es determinado por extracción de la muestra con triclorotrifluoretano, ya que la grasa es soluble en el mismo.

Los aceites y las grasas animales son compuestos de alcohol o glicerol y ácidos grasos. Las grasas en general alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, aceite vegetal, etc.

Las grasas son compuestos orgánicos de gran estabilidad, así que su descomposición por acción de bacterias no es nada fácil, sin embargo son atacadas por ácidos minerales, lo que hace que se forme glicerina y ácidos grasos. Cuando están presentes sustancias con pH elevado como es el caso del Hidróxido de Sodio (NaOH), la glicerina es liberada y se forman sales alcalinas junto con ácidos grasos.

Existen otros componentes como es el caso del keroseno, aceites lubricantes y derivados del petróleo, los cuales pueden ser vertidos al alcantarillado público provenientes de lugares como tiendas, restaurantes o talleres los cuales flotan en el agua residual en gran parte lo cual puede dar como resultado que exista materia flotante desagradable. Es por eso que actualmente se están usando sistemas como son las trampas de grasa (Figua. 2.3) para que estas aguas no sean vertidas directamente a la red de alcantarillado sino que tengan un tratamiento previo para que no existan problemas en el futuro.

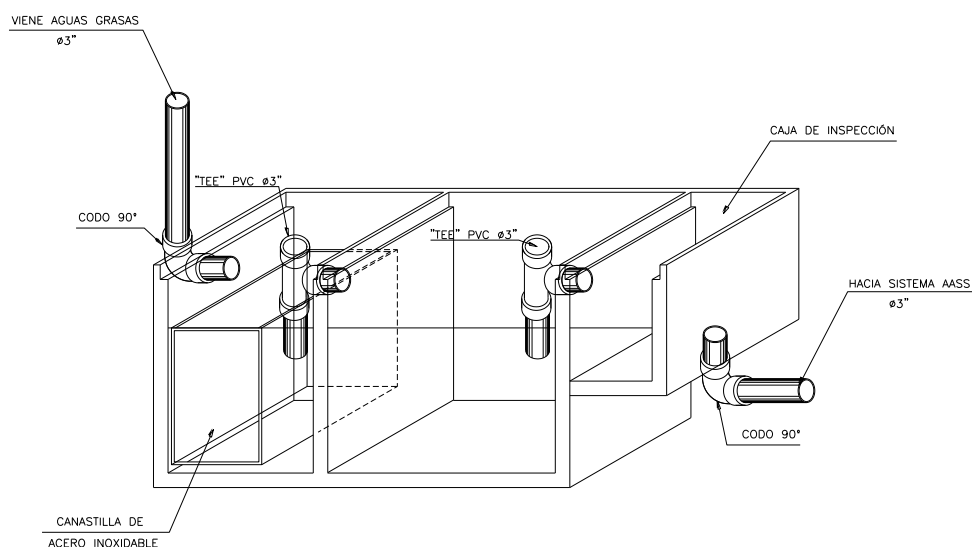


Figura. 2.3. Trampa de grasas

Es importante conocer acerca de los *agentes tensoactivos*, que son aquellos que están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en el agua y los responsables de la aparición de espuma en las plantas de tratamiento y en cuerpos de agua donde se descargan aguas residuales.

La agencia de protección del medio ambiente (EPA, Environmental Protection Agency) ha limitado el vertido de los aproximadamente 129 *contaminantes prioritarios*. La elección de que contaminantes deben ser clasificados como prioritarios se la ha realizado en función de su relación con procesos carcinógenos, mutaciones, teratomas o su alta toxicidad.

Los contaminantes de origen orgánico se pueden transformar, generar o transportar en las plantas de tratamiento y redes de alcantarillado, en estos procesos intervienen 5 parámetros que son: la volatilización, degradación, adsorción, circulación y generación¹.

Entre los principales contaminantes prioritarios se tienen los siguientes: En los no metales están el Selenio y Arsénico, en los metales están el Cadmio, Bario, Mercurio, Plomo, Cromo y Plata, dentro de los compuestos orgánicos se puede citar al Benceno, Etilbenceno y Tolueno, dentro de los compuestos halógenos están el Clorobenceno, Cloroetano, Diclorometano y Tetraclorometano, en lo que respecta a pesticidas e insecticidas se tiene la Endrina, Lindano, Metoxicloro, Toxafeno y Silvex.

Los *compuestos orgánicos volátiles* son aquellos en los que su punto de ebullición está debajo de los 100°C y una presión de vapor de 1mm Hg a 25°C, estos compuestos tienen la propiedad de que cuando se encuentran en estado gaseoso su movilidad es mayor y pueden ser liberados al medio ambiente, sin embargo la presencia de estos compuestos en la atmósfera puede ser nociva para la salud, además, los compuestos orgánicos volátiles (COV's) contribuyen al aumento de

1

hidrocarburos reactivos en la atmósfera. Hay que tener mucho cuidado con el vertido de estos compuestos ya que sus efectos son dañinos en la salud de las personas.

En cuanto a lo que respecta a *pesticidas y productos químicos de uso agrícola*, se puede decir que son tóxicos por lo que las aguas superficiales se pueden ver afectadas por esta toxicidad, las aguas residuales no están compuestas originalmente por estos elementos, sino que se incorporan a estas por medio de escorrentías lo cual puede dar como resultado la muerte de distintas formas de vida acuática y contaminación del agua.

Un factor muy importante a tomar en consideración es la *medida del contenido orgánico*, los métodos para llevar a cabo esta medición pueden ser los que sirven para determinar las concentraciones a nivel de traza, con concentraciones de entre 0,001mg/l a 1 mg/l, los primeros ensayos de laboratorio deben ser para determinar la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), la DQO (Demanda Química de Oxígeno) y COT (Carbono Orgánico Total), además se complementa el análisis con la DTeO (Demanda Teórica de Oxígeno)¹.

Como ensayos secundarios están los que se utilizan para determinar concentraciones a nivel de traza, por debajo de 1mg/l, en donde se aplican métodos instrumentales como la cromatografía de gases y la espectroscopía de masa. La determinación de las concentraciones de pesticidas se llevan a cabo mediante el método de extracción con carbono-cloroformo, que consisten en la separación de los contaminantes del agua haciendo pasar una muestra de agua por una columna de carbón activado.

A continuación se definirán los conceptos básicos de los elementos primordiales para la medición de materia orgánica:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es el parámetro que mas se emplea en lo que a contaminación se refiere, tanto para aguas superficiales como residuales es la DBO₅ que es la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, su determinación se relaciona con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados que se obtienen a partir de los ensayos de la DBO son empleados para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar la materia orgánica presente, diseñar las plantas de tratamiento, medir eficacia de procesos y controlar el

cumplimiento de las limitaciones a las que están sujetos los vertidos, sin embargo el ensayo que se usa actualmente para determinar la DBO tiene sus limitantes y se están haciendo estudios para mejorar el análisis de este importante parámetro, mientras tanto se debe seguir de la manera tradicional.

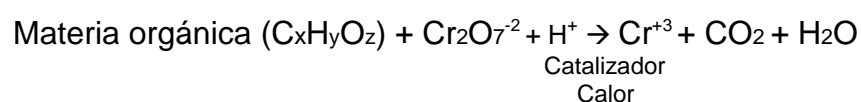
Se debe diluir convenientemente la muestra con una solución preparada de manera tal que se asegure la disponibilidad de nutrientes y oxígeno durante el periodo de incubación, por lo general se suele preparar algunas disoluciones para cubrir todo el intervalo de posibles valores de la DBO.

Cuando existen muestras con gran número de microorganismos, tal como sucede con las aguas residuales no se debe inocular las muestras, si es necesario se debe inocular el agua de dilución con un cultivo de bacterias aclimatado a la materia orgánica y demás compuestos que se encuentran en el agua residual. El periodo de incubación es por lo general de 5 días a una temperatura de 20°C sin descartar hacer este periodo de incubación con diferentes tiempos de acuerdo a la conveniencia de las personas encargadas de llevar a cabo el análisis, pero procurando que la temperatura sea la misma¹.

1

Como se mencionó anteriormente, el ensayo para determinar la DBO tiene sus limitaciones, en la que se incluye la necesidad de disponer de una elevada concentración de bacterias activas y aclimatadas que hagan las funciones de inóculo, un pretratamiento cuando existan residuos con niveles de toxicidad y la reducción de los organismos nitrificantes, así como el tiempo requerido para la obtención de resultados. La gran limitación del ensayo es el hecho de que en el tiempo de 5 días puede que no se haya usado toda la materia orgánica soluble.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Este ensayo se lo utiliza para efectuar la medición de materia orgánica de aguas superficiales como de las residuales, en este ensayo se usa un agente químico oxidante en medio ácido que sirve para determinar el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que pueda oxidarse. Un buen agente es el dicromato potásico que proporciona excelentes resultados, este ensayo debe hacerse a temperaturas elevadas. Es necesario utilizar un catalizador como el sulfato de plata que facilita la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos. Así con el agente nombrado anteriormente la reacción química correspondiente sería:



Cuando se requiere medir la materia orgánica presente en las aguas residuales es necesario el ensayo de DQO tanto para aguas industriales como domésticas que contengan compuestos tóxicos, por lo general la DQO de una agua residual es mayor que su DBO, esto se debe al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

Carbono Orgánico Total (COT): Es un método que sirve también para determinar la materia orgánica que se encuentra presente en el agua, se lo usa para concentraciones pequeñas de materia orgánica. El ensayo usado para determinar el COT se lo realiza inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a temperatura elevada o en un medio de oxidación, por medio de un catalizador el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico. La aireación y acidificación de la muestra antes del análisis elimina los posibles errores por presencia de carbono inorgánico, si se encuentran presentes en la muestra compuestos orgánicos volátiles (COV) se deja a un lado el proceso de aireación para evitar su separación, sin embargo algunos compuestos orgánicos puede que no se oxiden por lo que los valores de los compuestos orgánicos totales sean un poco inferiores en la práctica.

Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO): Por lo general la materia orgánica que componen las aguas residuales, proviene de combinaciones de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, los principales componentes de este tipo son los hidratos de carbono, proteínas y grasas, así como los productos que resultan de la descomposición de los mismos.

Materia Inorgánica.

Tanto aguas residuales como naturales constan de componentes inorgánicos, los cuales determinan la calidad de las mismas, las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan debido al proceso de evaporación que elimina un porcentaje del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua, existen algunos parámetros importantes que son necesarios analizar para entender mejor lo descrito anteriormente.

pH: Este parámetro es de gran importancia que determina la calidad ya sea de aguas residuales como de aguas naturales, cuando un agua residual tiene una concentración inadecuada del ión hidrógeno presentará problemas con procesos biológicos y modificar la concentración de este ión hidrógeno en el sitio de descarga. La escala indicadora del pH varía de 0 a 14 en donde los valores menores a 7

representan sustancias ácidas, las sustancias que tienen un pH igual a 7 se las conoce como neutras y las que tienen un valor mayor a 7 son conocidas como alcalinas o básicas.

El pH de los sistemas acuosos puede ser medidos con un pH-metro, también existen soluciones indicadoras y papeles que cambian de color de acuerdo al pH de la solución en donde se los aplica.

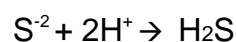
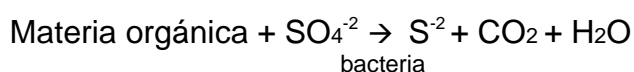
Cloruros: Las aguas residuales ya sean de proveniencia doméstica o industrial poseen cloruros, de la misma forma las aguas naturales tienen cloruros provenientes de la disolución de suelos y rocas.

Una principal fuente de cloruros son las heces humanas, el problema radica en que los métodos convencionales en el tratamiento de las aguas residuales no han tenido en cuenta la eliminación significativa de estos cloruros.

Nitrógeno: El nitrógeno es un elemento esencial que sirve para el crecimiento de protistas y plantas, por lo que se le denomina también como nutriente, es así que cuando el contenido del mismo no es suficiente debe añadirse para que el agua residual sea tratable. El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.

Fósforo: Este elemento es fundamental para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos, por motivo de que en aguas superficiales existen grandes proliferaciones de algas es necesario encontrar una manera de limitar la cantidad de fósforo que alcanzan estas aguas, por medio de vertidos de aguas, así como de la escorrentía natural. El fósforo puede presentarse en soluciones acuosas como ortofosfato, polifosfato y fosfatos orgánicos.

Azufre: El azufre está presente tanto en el agua potable como en las aguas residuales, es necesario contar con él, para la síntesis de proteínas, el mismo que será liberado en la degradación de estas. Los sulfatos se reducen a sulfuros y a sulfuros de hidrógenos bajo la acción de bacterias en ausencia de oxígeno. Se muestra a continuación las reacciones típicas de estos procesos:



Compuestos Tóxicos Inorgánicos: Existen cationes que son fundamentales en el tratamiento de las aguas residuales, entre estos compuestos, considerados algunos como contaminantes prioritarios se pueden citar al plomo, cobre, plata, arsénico, cromo y boro. También

están presentes algunos aniones tóxicos como los cianuros y cromatos que provienen de los vertidos industriales, el ión fluoruro también puede aparecer con frecuencia en las aguas residuales de industrias dedicadas a la fabricación de componentes electrónicos.

Metales Pesados: Entre los metales que se encuentran con mayor frecuencia en las aguas residuales están el Manganeseo, Plomo, Níquel, Cadmio, Zinc, Cromo, Hierro y Mercurio, algunos de estos metales se los considera como contaminantes prioritarios. Muchos de estos metales pesados son necesarios para el desarrollo de la vida biológica, cantidades excesivas de estos metales puede limitar los usos del agua.

Gases

Dentro de los gases que están presentes en mayor proporción en las aguas residuales están el oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano. Existen otros gases que se encuentran en menor proporción pero que de igual forma son necesarios tener en cuenta como es el caso del cloro, ozono los óxidos de azufre y nitrógeno.

Oxígeno disuelto: Este parámetro es muy importante para la respiración de los microorganismos aerobios y otras formas de vida, la cantidad de oxígeno y demás gases que puedan estar presentes en la solución está limitada a los siguientes factores: solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura y pureza del agua.

Metano: Este gas resulta de la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en el agua residual, es un hidrocarburo combustible de gran valor energético, inodoro e incoloro. Por lo general no está presente en gran proporción en el agua residual, ya que pequeñas cantidades de oxígeno pueden resultar tóxicas y afectar a los organismos responsables de producir metano.

El metano es altamente combustible y por ende tiene el riesgo de que haya una explosión, es por eso que las cámaras de inspección y empalmes de alcantarillas en donde exista la posibilidad de acumulación de gas deberán ser aireados. En las plantas de tratamiento el metano se crea en los procesos anaeróbicos que se utilizan para la estabilización de los fangos de aguas residuales.

Sulfuro de hidrógeno: Este gas posee las propiedades de ser incoloro, inflamable, con un olor bastante desagradable, el oscurecimiento del agua residual se debe por lo general a la formación de Sulfuro de Hidrógeno el cual se combina con el hierro presente para formar Sulfuro Ferroso y otros sulfuros metálicos.

Características Biológicas.

Los principales parámetros biológicos de las aguas residuales son los siguientes: microorganismos biológicos, organismos patógenos presentes y ensayos de toxicidad.

Microorganismos: Los principales grupos de microorganismos presentes en aguas, ya sean residuales o superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, la mayor parte de los organismos pertenecen a las eubacterias.

La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas incluye algas, protozoos y hongos, los animales vertebrados e invertebrados se los conoce como eucariotas multicelulares. Los virus presentes en el agua residual se clasifican en función del sujeto infectado.

Organismos Patógenos: Estos organismos están presentes en las aguas residuales y pueden proceder de desechos humanos infectados o que tengan cierta enfermedad.

En la tabla 2.5 se muestran las principales clases de organismos patógenos presentes en el agua residual doméstica. Entre las enfermedades típicas que causan los organismos patógenos están la tifoidea, diarrea y cólera.

Los organismos patógenos están presentes en las aguas residuales en cantidades pequeñas y resultan difíciles de identificar, razón por la cual se emplea el *organismo coliforme* como indicador ya que su presencia es mayor y de fácil comprobación.

Los seres humanos evacuan entre 100000 y 400000 millones de organismos coliformes diariamente, es por eso que la presencia de coliformes puede dar como resultado la presencia de patógenos¹.

1

Organismo	Enfermedad	Comentario
Bacteria		
Escherichia coli (enteropatógena)	Gastroenteritis	Diarrea
Legionella pneumophila	Legionelosis	Enfermedades respiratorias agudas
Leptospira (150 esp.)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre (enfermedad de Weil)
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado
Salmonella (1700 esp.)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos
Shigella (4 esp.)	Shigelosis	Disentería bacilar
Vibrio cholerae	Cólera	Diarreas fuertes, deshidratación
Yersinia enterocolitica	Yersinosis	Diarrea
Virus		
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias	
Enterovirus (67 tipos)	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosas	Leptospirosis, fiebre
Agente Norwalk	Gastroenteritis	Vómitos
Reovirus	Gastroenteritis	
Rotavirus	Gastroenteritis	
Protozoos		
Balantidium coli	Balantidiasis	Diarrea, disentería
Cryptosporidium	Criptosporidiosis	Diarrea
Entamoeba histolytica	Amebiasis	Diarreas prolongadas con sangre
Giardia lamblia	Giardiasis	Diarreas, náuseas, indigestión
Helminthos		
Ascaris lumbricoides	Ascariasis	Infestación de gusanos
Enterobius vericularis	Enterobiasis	Gusanos
Fasciola hepática	Fasciolosis	Gusanos
Hymenolepis nana	Hymenlepiasis	Tenia enana
Taenia saginata	Teniasis	Tenia (buey)
T. solium	Taniasis	Tenia (cerdo)
Trichuris trichiura	Trichuriasis	Gusanos

Tabla 2.5. Agentes infecciosos potenciales en el agua doméstica residual bruta

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización, 1995

Así mismo, existen otros tipos de organismos que pueden ser considerados como indicadores de la contaminación del agua, se han desarrollado ensayos que sean capaces de diferenciar entre coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales. En la

tabla 2.6 se muestran los organismos que se emplean para establecer criterios de calidad de las aguas y sus usos.

Usos del agua	Organismo indicador
Agua potable	Coliformes totales
Actividades lúdicas en agua dulce	Coliformes fecales E.coli Enterococos
Actividades lúdicas en agua salada	Coliformes fecales Coliformes totales Enterococos
Zonas de crecimiento de moluscos	Coliformes totales Coliformes fecales
Irrigación agrícola	Coliformes totales (agua reutilizada)
Desinfección de efluentes de aguas residuales	Coliformes totales Coliformes fecales

Tabla 2.6. Organismos indicadores empleados para la determinación de criterios de rendimiento para diferentes usos del agua

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización, 1995

Ensayos de Toxicidad.

Estos ensayos tienen como objetivo la constatación de la aptitud de las condiciones ambientales para el desarrollo de las determinadas formas de vida acuática, establecimiento de concentraciones aceptables de los diferentes parámetros convencionales en las aguas receptoras, estudio de la influencia de los parámetros de calidad del agua sobre la toxicidad de esta, constatación de la toxicidad de las aguas residuales para múltiples variedades de especies de peces, establecimiento de la sensibilidad relativa de un conjunto de

organismos acuáticos determinado a los efluentes y contaminantes habituales, determinación del nivel de tratamiento de las aguas residuales para alcanzar los límites permitidos, determinación de la efectividad de los procesos de tratamiento de aguas residuales, establecimiento de los límites autorizados de descargas de efluentes y la determinación del cumplimiento de la legislación relativa a la conservación de la calidad del agua.

En la actualidad aparte de determinar los contaminantes habituales de las aguas residuales se ha dado una gran importancia a la determinación de sustancias tóxicas en este tipo de aguas, los primeros análisis que se efectúan son aquellos de criterio químico-específico. Si se analizarán las miles de sustancias tóxicas que podrían estar presentes en una agua esto resultaría muy costoso, es por eso que se hace un ensayo del efluente global en el que intervienen organismos acuáticos, el cual es un ensayo directo y económico para determinar la toxicidad.

Composición de las aguas residuales.

Las aguas residuales se componen de constituyentes físicos, químicos y biológicos, los mismos que fueron analizados anteriormente. Existen constituyentes típicos encontrados en el agua residual doméstica, así,

de acuerdo a la concentración de estos constituyentes se pueden clasificar como agua residual concentrada, media o débil. El líquido séptico es el fango producido en los sistemas de evacuación de aguas residuales individuales, como es el caso de las fosas sépticas, en la Tabla 2.7 se pueden observar ciertas características del líquido séptico.

Los datos sobre el incremento en el contenido en minerales de las aguas residuales como consecuencia de los usos del agua y las variaciones de los incrementos dentro de la red de alcantarillado, son especialmente importantes a la hora de evaluar la posibilidad de reutilizar las aguas residuales. El aumento de la cantidad de minerales presentes son consecuencia del uso doméstico del agua, de la adición de agua con gran contenido de minerales procedentes de pozos privados y aguas subterráneas, así como el uso industrial. Los ablandadores de aguas domésticas e industriales contribuyen también a aumentar el contenido mineral del agua residual y en algunas zonas, pueden representar la mayor parte del mismo.

Las técnicas de muestreo utilizadas en el estudio de aguas residuales deben asegurar la obtención de muestras representativas debido a que los datos que se deriven de los análisis de estas muestras serán

la base para el proyecto de las instalaciones del tratamiento de las mismas. El muestreo debe ser de acuerdo a la situación presente, no existe un método único, así, si el agua residual es de una composición compleja se deberá proceder de una manera especial. Es decir, hay que seleccionar de manera correcta los puntos de muestreo y determinar el tipo y frecuencia de muestra.

Constituyente	Intervalo	Valor típico
Sólidos totales (ST)	5000-100000	40000
Sólidos en suspensión (SS)	4000-10000	15000
Sólidos en suspensión volátiles (SSV)	1200-14000	7000
DBO ₅ a 20°C	2000-30000	6000
DQO	5000-80000	30000
Nitrógeno Kjeldhal total (NKT como N)	100-1600	700
Amoníaco, NH ₃ como N	100-800	400
Fósforo total, como P	50-800	250
Metales Pesados (Fe, Zn, Al)	100-1000	300

Tabla 2.7. Características del líquido séptico

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización, 1995,

Comentario.

El diseño que se propone en nuestro tema de tesis es un humedal artificial de flujo libre, que se encargaría de depurar las aguas residuales provenientes generalmente de las viviendas del recinto San Eloy (aguas residuales domésticas). Estas aguas contienen contaminantes principalmente gérmenes patógenos, materia orgánica, detergentes, grasas, etc., producto de las necesidades biológicas de los habitantes del sitio (heces, orina, limpieza en general, etc).

CAPÍTULO 3

3. PRINCIPALES TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

3.1. Introducción.

Para diseñar un tratamiento de aguas residuales se debe seleccionar la combinación más apropiada de procesos a fin de transformar las características iniciales del agua residual a niveles aceptables para cumplir con las normas de vertimiento y reutilización del agua residual tratada.

La elección de los métodos y procesos de tratamiento depende de los constituyentes a remover y del grado de remoción de los mismos. Existen diversos tipos, divisiones y sub divisiones para el tratamiento de aguas residuales, que dependen para la selección de dichos tipos desde el punto de vista del diseñador y de la bibliografía que se escoja para el diseño.

A continuación en la siguiente tabla 3.1 se mostrará la selección tomada en esta tesis.

CLASE DE TRATAMIENTO	EJEMPLOS
Recolección de las aguas residuales	Sistema convencional por gravedad Sistema por gravedad para efluente de tanque séptico
	Sistema por bombeo para efluente de tanque séptico Sistemas a presión con bombas trituradoras Sistema por vacío Utilización de sistemas alternativos
Preliminar	Tamiz grueso Tamiz fino Remoción de arenas Remoción de grasas y aceites
	Tanques Sépticos Tanques Imhof
Primario	Tanque séptico con reactor de película bacteriana adherida
	Lodos activados Filtro percolador y biotorres Biodiscos Filtro de arena de flujo intermitente Filtro de grava con recirculación Filtro de turba Lagunas Humedales artificiales Tratamiento acuático
Secundario	Tratamiento en el suelo
	Filtración rápida Humedales artificiales Desinfección de aguas residuales
Avanzado	Remoción de sólidos residuales con filtración por membrana Sistemas de tratamiento con reutilización

Tabla 3.1. Opciones típicas de tratamiento de aguas residuales

3.2. Recolección de las aguas residuales.

Los sistemas de recolección de aguas residuales van desde aquellos convencionales por gravedad hasta los que operan a presión o a vacío. Estos sistemas transportan los residuos líquidos desde la zona en que se genera hasta el punto donde se realiza su tratamiento. Actualmente

existen varias metodologías para el diseño de estos sistemas y diferentes materiales para su construcción. La elección del sistema más apropiado dependerá únicamente de las propiedades y características propias de la comunidad servida.

Clases de sistemas de recolección de aguas residuales.

Se describirán las principales clases de sistemas alternos de recolección, clasificados de acuerdo con sus componentes básicos, dichos componentes se pueden observar en los diagramas de la figura 3.1.

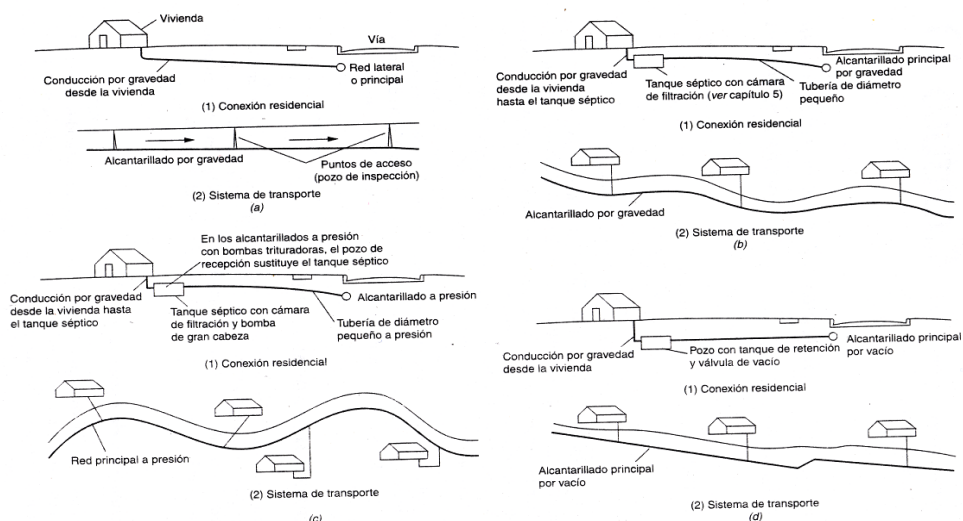


Figura 3.1. Diagramas de sistemas de alcantarillados: a) convencional por gravedad, b) sistemas por gravedad para efluente de tanques séptico (SGETS), c) sistema por bombeo para efluentes de tanque séptico (SBETS) sistemas a presión con bomba trituradora y d) sistema por vacío.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.2.1. Sistema convencional por gravedad.

La utilización de alcantarillado por gravedad (ver figura 3.1a) se basa en observaciones empíricas sobre la forma como escurre el agua por una pendiente. En sitios donde se utilizan tales sistemas, las edificaciones servidas se conectan directamente a la red sin ningún tratamiento preliminar para los residuos líquidos. El diámetro mínimo de las tuberías utilizadas en dichos sistemas varía entre 6 y 8 pulg (de 150 a 200mm), para así facilitar las labores de limpieza y remoción de grasas y sólidos acumulados. Debido a la presencia de sólidos se requiere una pendiente mínima constante para mantener velocidades de por lo menos 2 pie/s (0.6m/s) para impedir la deposición de sólidos. Los alcantarillados por gravedad cuentan con puntos de acceso que oscilan entre 300 y 500 pies (90 y 150 m), dependiendo de los equipos y métodos empleados en la limpieza y mantenimiento de la red de alcantarillado. Los principales problemas asociados con este tipo de alcantarillado son la infiltración por ingreso de agua a la red debido a la prolongación de elevados niveles freáticos en el tiempo, y las fugas, es decir el escape de agua desde la red durante periodos de tiempo seco. En la tabla 3.2 se realiza una

comparación entre los sistemas de recolección convencionales por gravedad y los sistemas a presión.³

Característica	Sistema por gravedad	Sistema a presión
Infiltración y fugas	Presentes con frecuencia	No se presentan
Velocidad mínima	Requiere de un valor mínimo de velocidad para evitar la acumulación de sólidos	No requiere
Diámetro mínimo	6-8 pulg (150-200 mm)	2 pulg (50 mm)
Pendiente	Debe existir siempre para mantener un flujo correcto	No requiere, sigue la topografía
Acceso para limpiar tuberías principales	Puertas de acceso espaciadas regularmente	Puntos de limpieza y puntos de purga
Profundidad de zanja	Profundidad mínima entre 2 y 3 pies, dependiendo de la pendiente usada	Mantiene una profundidad mínima con respecto a las conducciones de agua
Estaciones de bombeo	Se requieren en áreas bajas donde la pendiente no se puede mantener	Incorporadas a cada servicio o conjunto de servicios
Problemas con otras instalaciones enterradas	Puede requerir un rediseño para evitar problemas con otras instalaciones	Los problemas se evitan en forma fácil
Facilidad en la construcción	La profundidad y el ancho de las zanjas ocasionan restricción en el flujo vehicular	Las zanjas estrechas y poco profundas ocasionan una mínima restricción en el flujo vehicular

Tabla 3.2. Comparación entre sistemas por gravedad y sistemas a presión con tanque séptico.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.2.2. Sistema por gravedad para efluente de tanque séptico.

En los sistemas por gravedad para efluente de tanque séptico (SGETS) se emplean diámetros pequeños (1 a 2 pulg (0.25 a 0.50 mm)) en las tuberías de plástico que conducen el efluente del tanque hasta los sistemas de recolección que también son de diámetro pequeño; estos tanques sépticos cuentan con cámara para filtración del efluente (ver figura 3.1b). Dado que en tales sistemas no se presenta sedimentación de sólidos, la red de alcantarillado se puede tender con pendiente variable a una

profundidad cercana al nivel del suelo (ejemplo 3 pie (0.90m)). Por ello, los sistemas SGETS se conocen también con el nombre de ***alcantarillado de diámetro pequeño y pendiente variable***. En ello no se presentan problemas relacionados con infiltración, ya que la red principal es impermeable. Con el fin de aprovechar las condiciones topográficas, muchos alcantarillados se construyen combinando sistemas por gravedad y sistemas por bombeo para efluentes de tanques sépticos.

3.2.3. Sistema por bombeo para efluente de tanques sépticos.

En los modernos sistemas por bombeo para efluente de tanque séptico (SBETS) se emplean bombas de turbina de gran cabeza para extraer el efluente filtrado del tanque séptico y enviarlo a la red de alcantarillado a presión (ver figura 3.1c), el diámetro de la tubería que transporta el efluente de los tanques sépticos es por lo general de 1 a 1½ pulg (25-38mm), y el diámetro mínimo usado en la red principal es de 2 pulg. (50 mm). Al igual que en los sistemas SGETS, la infiltración no es un problema ya que las condiciones son impermeables. Los sistemas SGETS se ubican a una profundidad justo debajo de la capa del suelo que alcanza a

congelarse en invierno; la poca profundidad de estas líneas de conducción reduce los problemas asociados con niveles freáticos elevados y suelos rocosos, ya que al transportar el fluido a presión pueden seguir la topografía del terreno..

3.2.4. Sistema a presión con bombas trituradoras.

En una red de alcantarillado a presión con bombas trituradoras no se acostumbra la utilización de tanques sépticos; en su reemplazo se ubica una pequeña estación de bombeo que emplea bombas equipadas con cuchillos para cortar los sólidos gruesos presentes en el agua residual cruda, de manera que puedan ser más transportados a presión dentro de una tubería de diámetro pequeño (ver figura 3.1c).

Como consecuencia de esta práctica, las concentraciones de sólidos, grasas y aceites encontrados en el interior de estos sistemas son elevadas. Al igual que en los sistemas SBETS, la infiltración no es un problema. La profundidad a la cual se entierran las líneas de los sistemas a presión con bombas trituradoras es similar a la utilización en los sistemas SBETS.

3.2.5. Sistema por vacío.

Las redes de alcantarillado que operan por vacío cuentan con una fuente que mantiene el interior de la red principal a una presión de vacío entre 15 y 20 pulg (380 y 500mm) de mercurio; la red principal está constituida de diámetro pequeño y se emplea para transportar el agua residual desde las viviendas hasta un punto central de acopio (ver figura 3.1d). Al igual que en los otros sistemas expuestos, la infiltración no es un problema.

3.2.6. Utilización de sistemas alternativos

Los sistemas alternos de recolección tienen un buen número de características comunes como la utilización de tuberías livianas de plástico enterrado a poca profundidad. Las primeras instalaciones de estos sistemas presentaron algunos problemas, como ocurre con todas las tecnologías recientes. En la tabla 3.3 se presenta una comparación entre las principales características de diferentes sistemas alternos y sus combinaciones.

Tipo de sistema	Topografía deseada	Costos de construcción en sitios con suelo rocoso y elevado nivel freático	Formación potencial de sulfuros	Requerimientos de pendiente o velocidad mínimos
Convencional por gravedad	Cuesta abajo	Elevados	Moderada	Sí
SBETS	Cuesta arriba, ondulada	Bajos	Elevada	No
SGETS	Cuesta abajo	Moderados	Elevada	No
Con bombas trituradoras (BT)	Cuesta arriba	Bajos	Moderada-elevada	Sí
Por vacío	Plana	Bajos	Baja	Sí
SGETS-SBETS	Ondulada	Bajos-moderados	Elevada	No
Convencional-BT	Ondulada	Moderados-elevados	Moderada	Sí
Convencional-vacío	Ondulada	Moderados-elevados	Baja-moderada	Sí

Tabla 3.3 Características relativas de sistemas alternos de recolección.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.3. Tratamiento preliminar o pretratamiento.

El objetivo principal del tratamiento preliminar es eliminar todos los sólidos gruesos y/o visibles que lleva el agua residual. El residuo de éstos al cuerpo receptor produce además un impacto estético. Si pasan a etapas posteriores de la línea de depuración se generan problemas y un deficiente funcionamiento de los procesos. En este paso se trata de eliminar: residuos sólidos, partículas discretas sedimentables o arenas, grasas flotantes o espumas.

3.3.1. Tamizado grueso.

El tamizado es por lo general la primera operación unitaria encontrada en una planta de tratamiento de aguas residuales. Los equipos actualmente en el uso para el tamizado de agua residual

se resumen en la figura 3.2. En el tamizado grueso se emplean equipos para interceptar y retener sólidos gruesos presentes en el agua residual cruda; estos equipos constan generalmente de barras o varillas paralelas, o alambres de tamaño uniforme. El tamiz compuesto por barras o varillas paralelas se lo conoce como “REJILLA” o también tamiz de barras. El término **tamiz** se emplea también para describir equipos de tamizado conformados por platos perforados, mallas en sección de cuña y telas metálicas. Detalles adicionales sobre clases de equipos empleados se presentan en la tabla 3.4. Los materiales sólidos removidos por estos equipos se conocen como **residuos del tamizado**.

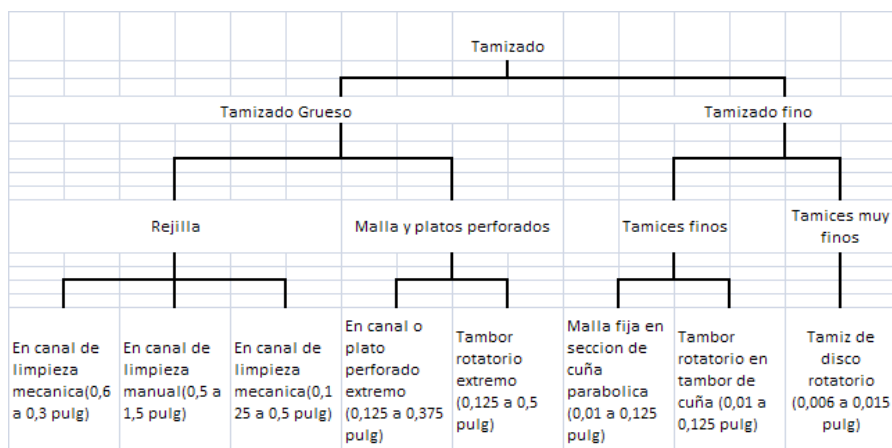


Figura 3.2. Clases de tamices usados en el tratamiento de agua residual

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

CLASE DE EQUIPO POR TAMAÑO	CLASIFICACION	ABERTURA DEL TAMIZ		MATERIAL	APLICACIÓN
		pulg	mm		
Rejillas (limpieza manual y mecanica)					Remocion de solidos suspendidos gruesos y como tratamieto preliminar en la remocion de solidos finos
Limpieza manual	Grueso	1,0-2,0	25-50	Barrotes	
Limpieza mecanica	Grueso	0,6-3,0	15-75	Barrotes	Ver la aplicaci3n anterior
Rejillas finas o tamiz perforado (limpieza mecanica)					
Rejilla fina	Fino-Grueso	0,125-0,50	3-12,5	Barrotes delgados	Tratamiento preliminar
Plato perforado	Fino-Grueso	0,125-0,375	3-9,5	Plato perforado	Tratamiento preliminar
Tambor rotatorio	Fino-Grueso	0,125-0,50	3-12,5	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento preliminar
Tamiz fino (limpieza mecanica)					
Parabolico fijo	Fino	0,01-0,125	0,25-3,2	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento preliminar
Tambor rotatorio	Fino	0,01-0,125	0,25-3,2	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento preliminar
Disco rotatorio	Muy fino (micro)	0,006-0,015	0,15-0,38	Tela de acero inoxidable	Tratamiento primario

Tabla 3.4. Descripción de equipos de tamizados usados en el tratamiento de agua residual

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Rejillas.- Generalmente tienen aberturas (separación entre barras) superior a ½ pulg. (12.5mm). en los procesos de tratamiento del agua residual, las rejillas se utilizan para proteger bombas, válvulas, tuberías y otros elementos contra posibles daños y obturaciones ocasionados por objetos como trapos y palos. De acuerdo con el método de limpieza las rejillas y tamices se

clasifican como de limpieza manual o de limpieza mecánica. Las rejilla de limpieza manual se usan con bastante frecuencia en plantas de tratamientos pequeñas; los sólidos removidos por las rejillas se colocan sobre una bandeja perforada para su deshidratación.

Las rejillas de limpieza mecánica emplean cadenas sin fin, cables o mecanismos con ruedas dentadas reciprocantes, que mueven un rastrillo empleado para remover los residuos acumulados por la rejilla.

En la figura 3.3 se pueden apreciar ejemplos de rejillas usadas en el pretratamiento del agua residual; en la figura 3.3a se observa un ejemplo de las primeras rejillas citadas anteriormente. Es interesante anotar que los tamices modernos (ver figura 3.3) son esencialmente iguales a los primeros tamices de rejillas presentados en la figura 3.4a.

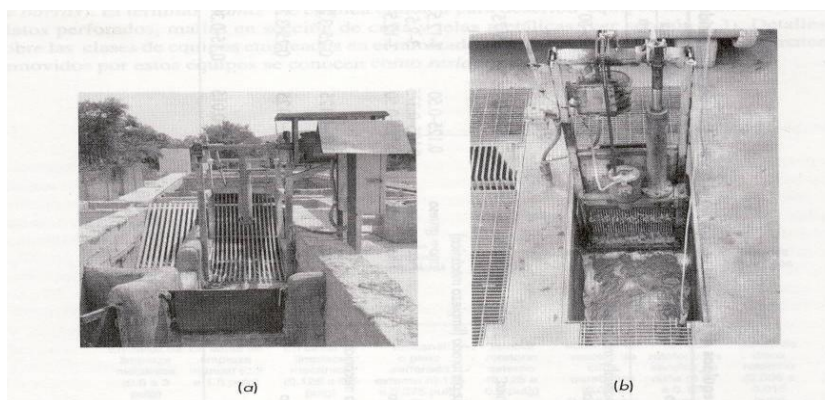


Figura 3.3. Ejemplos de rejillas usadas en plantas de tratamiento de agua residual: a) reja de limpieza mecánica con una reja de limpieza manual ubicado en el canal de bypass y b) reja de limpieza mecánica

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000

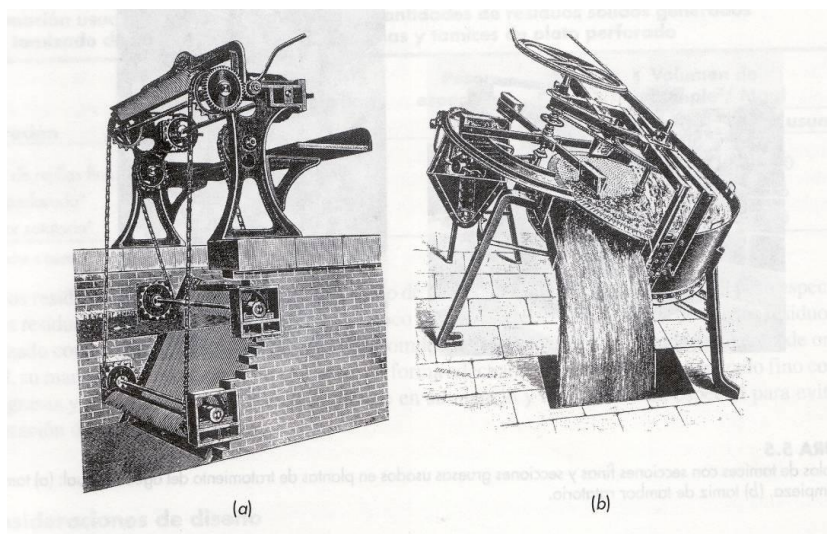


Figura 3.4. Tamices empleados a principios de 1900: a) tamiz de rejilla, b) tamiz fino inclinado.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000

Tamices de rejilla fina y plato perforado.- El uso de tamices con secciones finas y secciones gruesas es ventajoso en sistemas de tratamiento donde los lodos generados se estabilizan por compostaje, ya que la remoción de partículas sólidas pequeñas del agua residual cruda, trae como resultado la producción de un compost de alta calidad.

La abertura en los tamices con secciones finas y secciones gruesas puede variar de 0.125 a 0.5 pulg (3.2 a 12.5 mm). Los tamices se han diseñado para operar en línea dentro del canal transportador del agua residual o como unidad externa. Los tamices con secciones finas y secciones gruesas que operan en el canal se someten a limpieza mecánica mediante rastrillos reciprocantes o tornillos hélicos. Los tamices de plato perforado y de tambor rotatorio son dos ejemplos de tamices externos. Las aberturas de los tamices de placas perforadas y de tambores rotatorios varían de 0.125 a 0.375 mm pulg (3.2 a 9.5 mm). En la figura 3.5 se presentan ejemplos usuales de tamices con secciones finas y secciones gruesas.

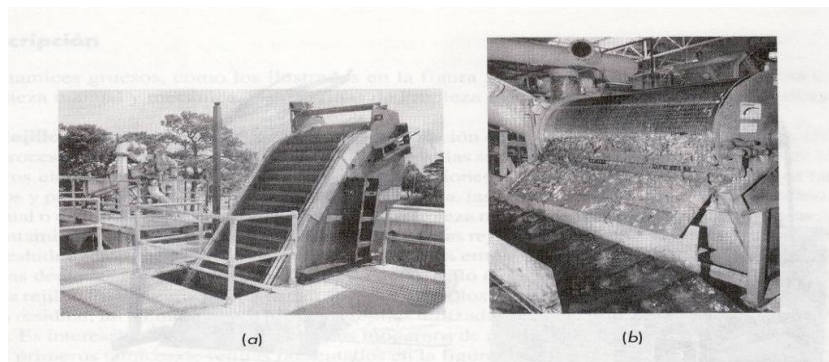


Figura 3.5. Ejemplos de tamices con secciones finas y secciones gruesas usadas en plantas de tratamiento de agua residual: a) tamiz de auto limpieza y b) tamiz de tambor rotatorio

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000

Los residuos sólidos generados en el tamizado grueso, los cuales son recolectados sobre rejillas con separaciones de $\frac{1}{2}$ pulg (12.5 mm) o más están compuestos básicamente de residuos sólidos como rocas, ramas, pedazos de madera, hojas de árboles, papel, raíces de árboles, plásticos y trapos; también se puede retener algo de materia orgánica. La acumulación de grasas y aceites en estos sistemas se puede convertir en serio problema, sobre todo en zonas de clima frío. La cantidad y características de los residuos recolectados por el tamizado, para su posterior disposición varían dependiendo del tipo de rejilla usada, tamaño de la separación entre barrotes, clase del sistema de recolección de agua residual y ubicación geográfica.

En la tabla 3.5. se presentan datos típicos sobre cantidades esperadas de residuos gruesos, servidas por alcantarillado convencional por gravedad; también se incluyen los datos sobre porcentaje de humedad y peso específico de residuos generados en el tamizado.

ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS	CONTENIDO DE HUMEDAD	PESO ESPECÍFICO	VOLUMEN DE RESIDUOS DEL TAMIZADO	
Pulg.	%	lb/pie ³	pie ³ /Mgal	
			Intervalo	Valor usual
0,5	60-90	40-68		7
1	50-80	40-68		3
1,5	50-80	40-68		1,5
2	50-80	40-68		0,75

Tabla 3.5. Información usual sobre las características y cantidades de residuos del tamizado grueso removidos con ayuda de rejillas

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Los residuos del tamizado fino están conformado por materiales sobre tamices con orificios menores a 0.5 pulg (12.5 mm). Estos materiales básicamente son pequeños trozos de tela, papel, materiales plásticos de diferente clase, cuchillas de afeitarse, arenas, residuos de comida, heces, etc.

En comparación con los residuos del tamizado grueso, el contenido de humedad es ligeramente mayor y el peso específico de los residuos del tamizado fino es también un poco menor (ver tabla 3.6). En vista de que los residuos del tamizado contienen material susceptible de descomposición, junto con organismos patógenos de origen fecal, su manejo y disposición debe realizarse en forma adecuada, los residuos del tamizado fino contienen grasas y natas, las cuales necesitan cuidado en su manejo y disposición en especial para evitar la generación de malos olores.

OPERACIÓN	ABERTURA	CONTENIDO DE HUMEDAD	PESO ESPECÍFICO	VOLUMEN DE RESIDUOS DEL TAMIZADO	
				Intervalo	Valor usual
	Pulg.	%	lb/pie ³	pie ³ /Mgal	
Tamiz de rejillas finas	0,5	80-90	40-60		10
Plato perforado	0,25	80-90	40-60		6
Tambor rotatorio	0,25	80-90	40-60		6

Tabla 3.6 Información usual sobre las características y cantidades de residuos sólidos generados en el tamizado de agua residual con rejillas finas y tamices de plato perforado.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.3.2. Tamizado fino.

Las aplicaciones de los tamices finos van desde la remoción de sólidos gruesos y finos, en aguas residuales crudas, hasta la remoción de sólidos suspendidos en efluentes de procesos biológicos de tratamiento.

Los tamices finos como el que observa en la figura 3.2 poseen orificios que van desde 0.010 a 0.125 pulg (0.25 a 0.38 mm). con el desarrollo de mejores materiales y equipos (lo cual implica también mayor eficiencia de remoción), se ha presentado un aumento en la utilización de tamices finos para remover arenas, e incluso se han utilizado como unidades que reemplazan a los tanques de sedimentación primaria. Aunque existen gran variedad de tamices finos, los tres más usados son: tamiz de malla inclinada con forma de cuña, tamiz de tambor rotatorio y tamiz de disco rotatorio, los cuales serán descritos a continuación.³

Tamiz de malla inclinada en forma de cuña. Uno de los tamices más usados en el tratamiento preliminar de aguas residuales es el tamiz de malla inclinada con forma de cuña con auto limpieza. (Ver

figura 3.6), tales tamices tienen orificios que van desde 0.01 a 0.125 pulg (0.25 a 3.2 mm)

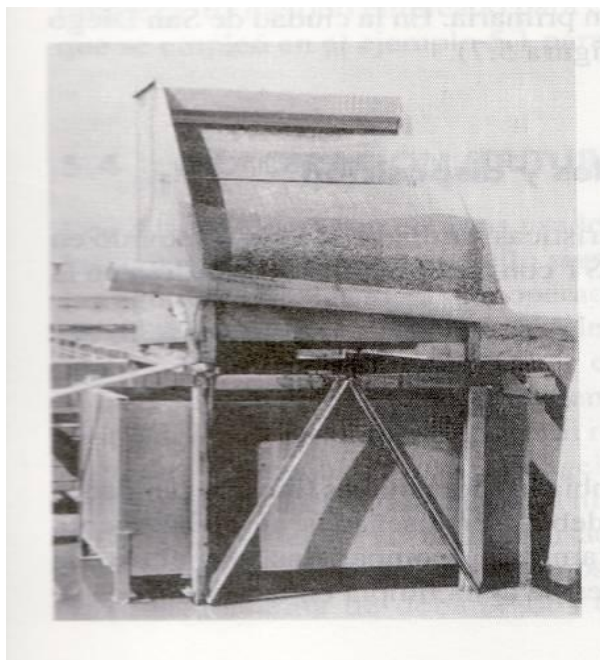


Figura 3.6. Tamiz de malla inclinada con forma de cuña.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Tamiz de tambor rotatorio. El tamaño del orificio de un tamiz de tambor rotatorio puede variar de 0.01 a 0.125 pulg (0.25 a 3.2 mm). Los tamices finos de tambor rotatorio son similares a los tamices de secciones fina y gruesa presentadas en la figura 3.5 b, excepto por el tamaño de orificios del tamiz.

Tamiz de disco rotatorio. Recientemente, muchos tamices con orificios de 0.01 pulg (0.25mm) están siendo usados en reemplazo de tanques de sedimentación primaria. En la ciudad de San Diego se han usado un tamiz de disco rotatorio por más de 10 años (ver figura 3.7)

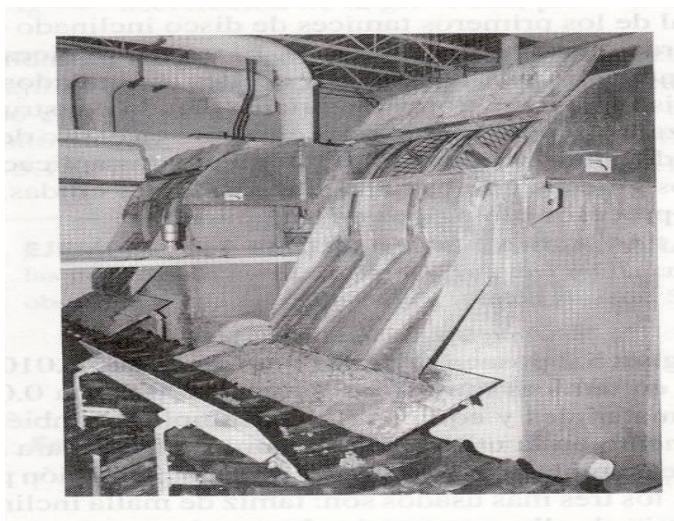


Figura 3.7. Fotografía de un tamiz de disco rotatorio con orificio de 250 μ m usado en reemplazo de un sedimentador primario.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

El material removido con tamices finos y muy finos posee características similares al lodo removido en sedimentadores primarios. Datos usuales de remoción de DBO y SST con tamices finos se encuentran en la tabla 3.7

La real remoción alcanzada dependerá del tipo de sistema de recolección y del tiempo de transporte del agua residual.

PROCESOS	TAMAÑO DEL ORIFICIO	REMOCION DE DBO	REMOCION DE SST
	pulg	%	%
Parabolico fijo.	0,0625	May-20	01-May
Tambor rotatorio	0,01	25-50	25-45
Tamiz de disco rotatorio.	0,01	35-55	35-55

Tabla 3.7. Datos usuales sobre la remoción de DOB y SST con tamices finos empleados como reemplazo de sedimentadores primarios.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.3.3. Remoción de arena.

Las arenas se remueven de las aguas residuales para: 1) proteger los equipos mecánicos de la abrasión y del excesivo desgaste, 2) reducir la formación de depósitos de sólidos pesados en unidades y conductos aguas abajo, y 3) reducir la frecuencia de limpieza de los digestores por causa de acumulación excesiva de arenas.

Normalmente los desarenadores se ubican después de las unidades que remueven sólidos gruesos (tamizado) y antes de tanques de sedimentación primaria, aunque en algunas plantas de tratamiento los desarenadores anteceden las unidades del

tamizado. Por lo general, la instalación de unidades de tamizado fino antes del desarenador facilita la operación y mantenimiento de las instalaciones destinadas a la remoción de arenas. Tres clases de desarenadores son los más usados, de flujo horizontal para canales de sección rectangular o cuadrada, aireados y de vórtice.

Desarenadores de flujo horizontal de tipo canal.- El desarenador más antiguo es el de flujo horizontal de tipo canal con velocidad controlada. Este desarenador opera en práctica a velocidades cercanas a 1.0 pie/s (0.3 m/s), proporcionando tiempo suficiente para que las partículas de arena sedimenten en el fondo del canal. Bajo condiciones ideales, la velocidad de diseño debe permitir la sedimentación de las partículas más pesadas, mientras que las partículas orgánicas pasan através del sedimentador. Las condiciones de flujo se controlan con las dimensiones del canal y el uso de vertederos con secciones especiales para el efluente (Ver figura 3.8). La extracción de arenas sedimentadas en los desarenadores de flujo horizontal se realiza mediante un mecanismo transportador dotado de raspadores o cangilones³. La elevación de las arenas para su posterior lavado y disposición se

realiza mediante tornillos o elevadores de cangilones. En plantas pequeñas es común la limpieza manual de los desarenadores

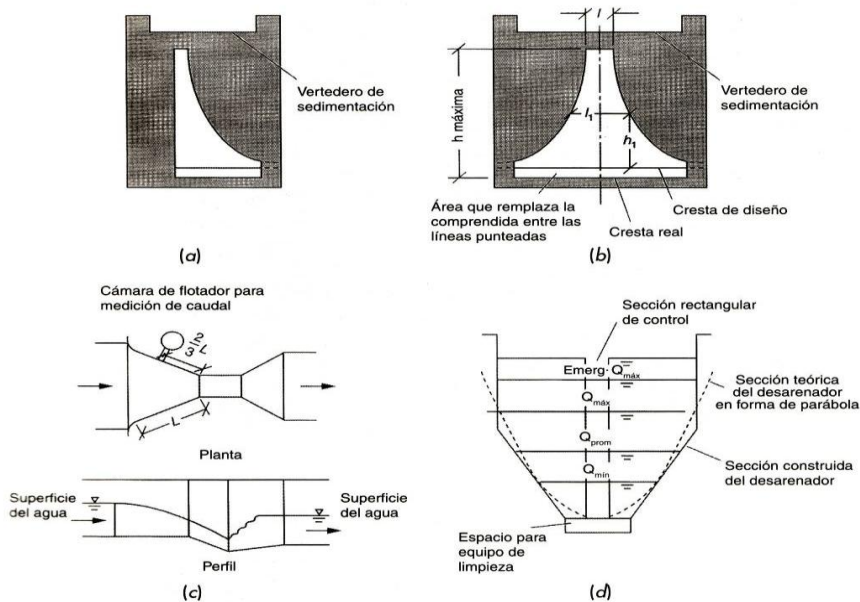


Figura 3.8. Secciones comunes de control usadas en desarenadores de canal con flujo horizontal, para mantener constante la velocidad de flujo a pesar de las variaciones de caudal: a) vertedero sutro, b) vertedero proporcional, c) canaleta parshall, d) canal de sección parabólica con salida rectangular de control.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Desarenadores rectangulares de flujo horizontal. En los desarenadores de flujo horizontal, el agua a tratar pasa através de la cámara en dirección horizontal y la velocidad lineal del flujo se controla con dimensiones del canal, ubicando compuertas

especiales a la entrada para lograr una mejor distribución del flujo, o utilizando vertederos de salida con secciones especiales.

Desarenadores cuadrados de flujo horizontal. Este tipo de desarenadores se han usado desde la década 1930 (Ver figura 3.9). El caudal afluyente a la unidad se distribuye uniformemente por toda la sección transversal del tanque mediante una serie de compuestos o deflectores y fluye através del mismo hasta rebosar por un vertedero de descarga libre.

En los sedimentadores cuadrados, los sólidos que sedimentan se transportan por medio de barredores mecánicos de rotación hasta un pozo ubicado a un lado del tanque. Estos sólidos se extraen del tanque por medio de mecanismos inclinados como rastrillos reciprocantes o tornillos sin fin. (Ver figura 3.10), o extraído por un ciclón desarenador para separar el material orgánico presente y así concentrar las arenas. El material orgánico se retorna al tratamiento, mientras que las arenas concentradas se someten a una etapa de lavado.

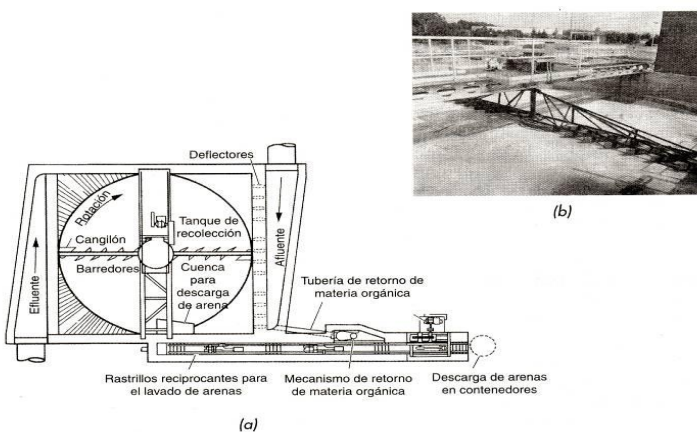


Figura 3.9. Desarenador cuadrado de flujo horizontal: a) diagrama (adaptado de Dorr Oliver) y b) fotografía de una unidad común.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

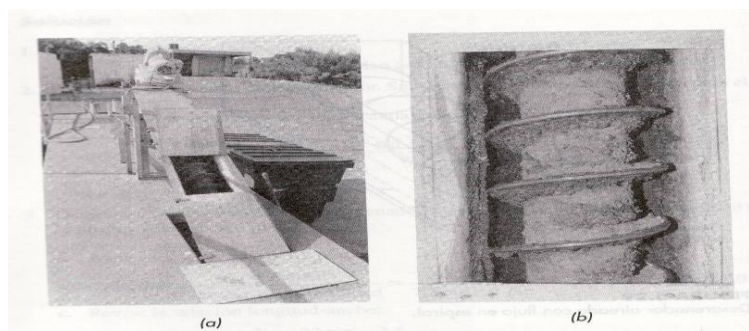


Figura 3.10 Mecanismo para remover y concentrar arenas: a) panorámica de un de deshidratación de arenas b) detalle de un tornillon sin fin.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Desarenadores aireados. Las arenas se remueven en un desarenador aireado por causa del movimiento en espiral que realiza el agua residual, como puede observarse en la figura 3.11. Debido a su masa las partículas se aceleran y abandonan las

líneas de flujo hasta que en últimas alcanzan el fondo del tanque, ya que el campo en espiral es un campo con aceleración variable incluido por el aire inyectado. Dos factores principales contribuyen a la popularidad de los desarenadores aireados, en comparación con los de flujo horizontal: 1) mínimo desgaste de los equipos, 2) no se requiere una unidad independiente para lavado de arena. En áreas donde las aguas residuales industriales son descargadas en la red de alcantarillado, se debe considerar la liberación potencial COV en los desarenadores aireados.

Los desarenadores aireados se diseñan para remover partículas de tamaño malla 70 (0.21 mm) o superior, con tiempos de retención de 2 a 5 minutos bajos condiciones de caudal horario.

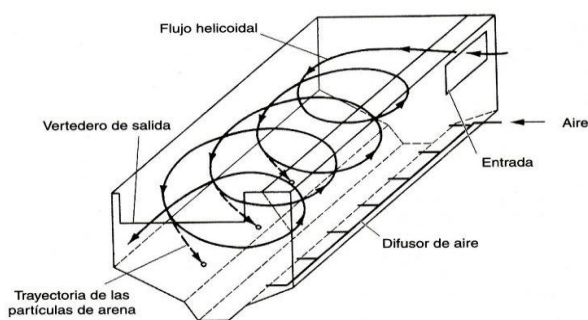


Figura 3.11. Desarenador aireado con flujo espiral.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Desarenadores de vórtice. Consisten en un tanque cilíndrico al cual ingresa el agua a tratar en forma tangencial, creando un vórtice dentro del cilindro.

El primero de estos (figura 3.12a), el diseño permite que tanto la salida como la entrada del agua sea en forma tangencial. La turbina giratoria se emplea para producir una trayectoria toroidal de las partículas, logrando así que las arenas sedimenten en el fondo del pozo, de donde se extraen con una bomba de arenas o del tipo *air lift*. Las arenas extraídas de la unidad se pueden procesar posteriormente para remover materia orgánica presente.

En el segundo tipo de desarenadores (figura 3.12b) se genera un vórtice libre por acción del flujo tangencial de entrada. El efluente sale por el centro de la parte superior de la unidad desde un cilindro rotatorio llamado también “ojo” del fluido. Las fuerzas centrífuga y gravitacional, presentes dentro de este cilindro rotatorio, limitan la liberación de las partículas con densidad superior a la del agua. Las partículas de arena se sedimentan por gravedad en la parte inferior de la unidad, mientras que las

partículas orgánicas y demás partículas separadas de las arenas por la acción de las fuerzas centrífugas, abandonan el desarenador con el efluente.

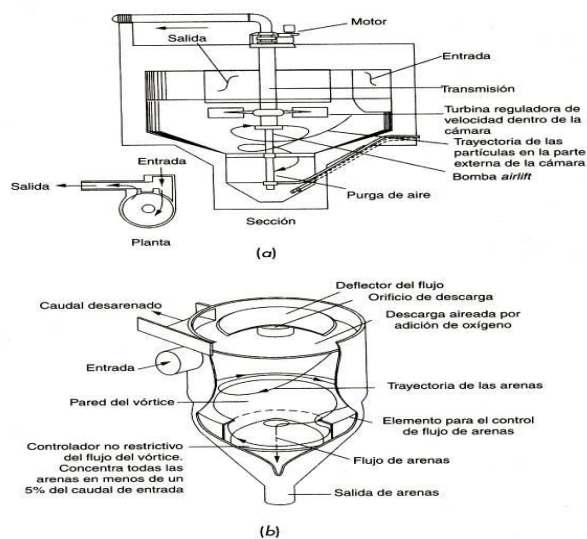


Figura 3.12. Instalaciones habituales para la remoción de arenas de tipo vórtice: a) modelo pista y b) modelo Teacup

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

En la tabla 3.8 se presenta información propia del diseño. Si se instalan más de dos unidades se deben proveer arreglos especiales para la división de caudal.

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	
		VALOR	VALOR HABITUAL
Tiempo de retencion a caudal medio	s	20-30	30
Diametro			
Camara superior	pie	4,0-24,0	
Camara inferior	pie	3,0-6,0	
Altura	pie	9,0-16,0	
Tasas de remocion			
Material malla 50 (0.30mm)	%	92-98	95+
Material malla 70 (0.21mm)	%	80-90	85+
Material malla 100 (0.15mm)	%	60-70	65+

Tabla 3.8. Información habitual para el diseño de desarenadores de vórtice.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.3.4. Remoción de grasas y aceites.

Las aguas residuales provenientes de restaurantes, lavanderías y estaciones de servicio contienen por lo general cantidades considerables de grasas, aceites y detergentes. Al permitir el ingreso de tales elementos al interior de los tanques sépticos, existe la posibilidad de que sean descargados junto con el efluente del tanque en los sistemas de disposición sobre el suelo, limitando la capacidad de infiltración del terreno.

Recientemente los problemas asociados con grasas y aceites se han hecho cada vez más complejos, debido al aumento en el número de productos de cocina que contienen grasas y aceites. El sistema se agrava aun más gracias a la existencia de aceites

solubles a temperaturas relativamente bajas, lo cual dificulta su remoción.

Remoción local de grasas y aceites.

A pesar de constar en el mercado con un gran número de trampas de grasas y aceites, la eficiencia que proveen estos equipos está limitada por los cortos tiempos de retención de estas unidades. Muchas de ellas se valoran con respecto al caudal medio sin tomar en cuenta los caudales pico, como los que se observan en restaurantes y lavanderías, el uso de los tanques sépticos convencionales como unidades para la separación de grasas y aceites ha sido muy efectivo. Cuando se utilice tanques sépticos para remover grasas es necesario revisar las conducciones asociadas, ya que dependiendo de la configuración del tanque puede ser necesario modificarlas. Por lo general la entrada al tanque se ubica por debajo del nivel de agua y la salida cerca del fondo del mismo. (Ver figura 3.13). Los tanques sépticos proporcionan un mayor volumen, con respecto a las trampas de grasas, lo cual resulta positivo para el tratamiento por cuanto permite alcanzar una máxima separación de grasas y aceites. Para

descargas de restaurantes, el uso de tres unidades de remoción en serie (ejemplo: tanque sépticos o trampas de grasas) proporciona una efectiva separación de grasas y aceites.

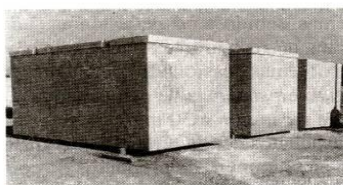
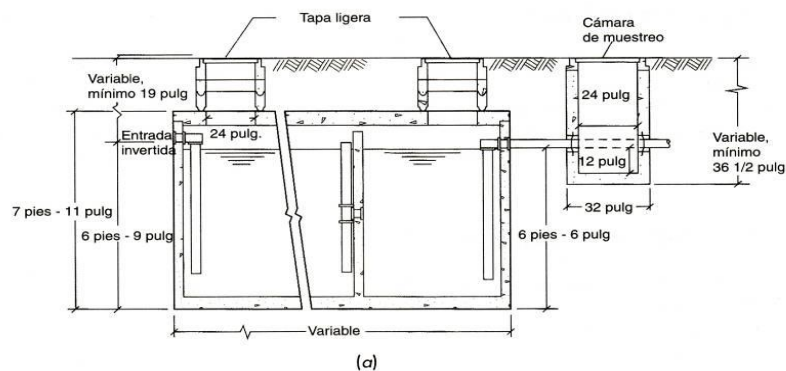


Figura 3.13. Unidades para la separación de grasas y aceites disponibles en el mercado: a) diagrama de unidad con cámara externa de muestreo (adaptado a Jensen Precast) y b) tanques fabricados de 5000 galones.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para pequeños y descentralizados, 2000.

Remoción de grasas y aceites en plantas de tratamiento.

En presencia de grandes cantidades de grasas y aceites en plantas centralizadas de tratamiento de aguas residuales, se acostumbra emplear un sistema que combina la remoción de arenas por aireación y la remoción de espuma y natas por barrido

superficial (ver figura 3.14). En la unidad de la figura 3.14 el agua residual cruda ingresa directamente a la cámara desarenadora siguiendo la trayectoria en espiral inducida por el aire inyectado.

Este flujo en espiral ayuda a limpiar y a lavar las arenas, que posteriormente se acumulan en el fondo del tanque. Después de la remoción de arenas, el agua residual ingresa a la zona de remoción de grasas atravesando un vertedero de control.

La arena acumulada en la primera zona y las grasas retenidas se evacuan con ayuda de un puente móvil que cuenta con una unidad para el bombeo de arenas y un barredor superficial para retirar las grasas.

El tamaño de las partículas de las arenas removidas se controla con el ajuste en el suministro de aire. La máxima remoción de arena se logra con tanque de longitud mínima igual a 50 pie (15.2 m)

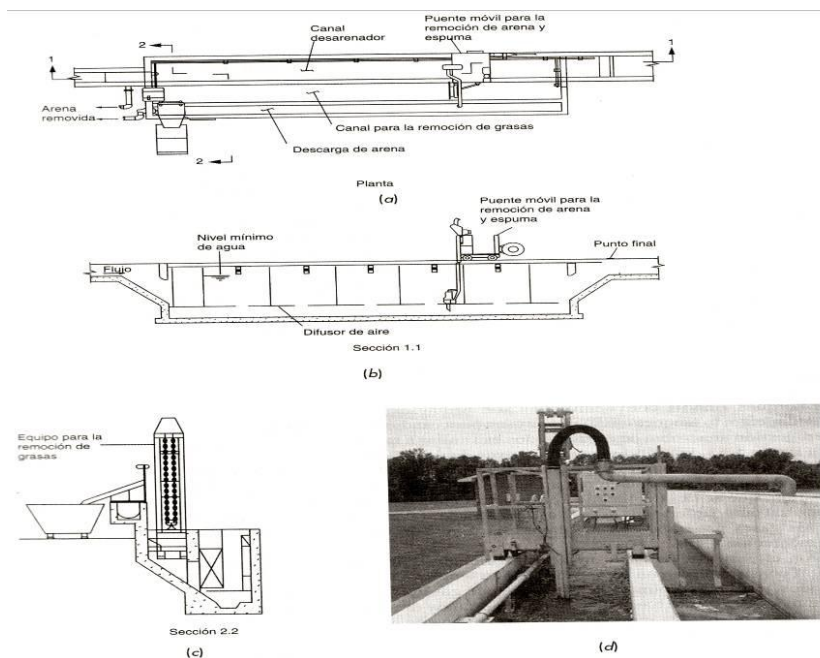


Figura 3.14. Remoción de grasas y aceites en un desarenador aireado: a) Planta, b) sección longitudinal, c) sección transversal y d) fotografía de una unidad típica.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.4. Tratamiento primario.

Esta etapa se encarga de la remoción de parte de los sólidos y materia orgánica suspendida presentes en el agua residual. El tratamiento primario persigue la reducción de sólidos disueltos SS, se reduce la turbidez, DBO debido a que parte de los SS son materia orgánica MO. Se eliminará también algo de contaminación bacteriológica (coliformes, estreptococos, etc.). De los SS se tratará de eliminar específicamente los sedimentables.

3.4.1. Tanques sépticos.

Un tanque séptico se usa para recibir la descarga de agua residual proveniente de residencias individuales y de otras instalaciones sin red de alcantarillado. Los tanques sépticos, como el presentado esquemáticamente en la figura 3.15 y 3.16 son tanques prefabricados que sirven como tanques combinados de sedimentación y desnatación, como digestor aeróbio sin mezcla ni calentamiento y como tanque de almacenamiento de lodos. Un sistema que cuente con tanque séptico seguido de una instalación para una disposición del efluente por absorción sobre el suelo, se conoce como sistema convencional para el manejo *in situ* de aguas residuales. A continuación la descripción del tanque séptico.

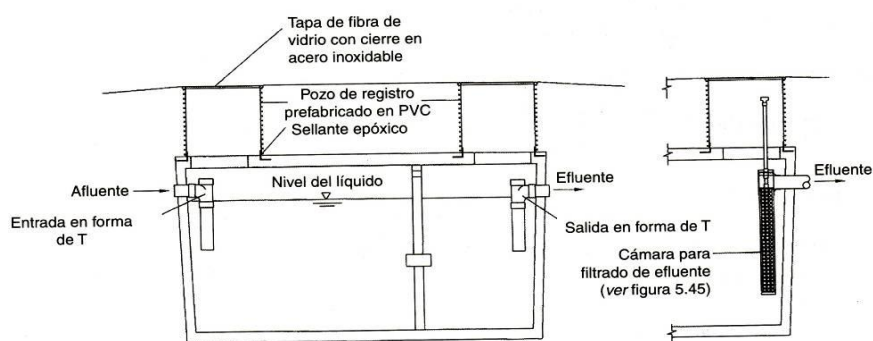


Figura 3.15. Diagramas de tanques sépticos: a) tanque convencional de dos compartimientos con salida en forma de T y b) corte de un tanque de un solo compartimiento con válvula de filtro (adaptado de Orenco System, Inc)

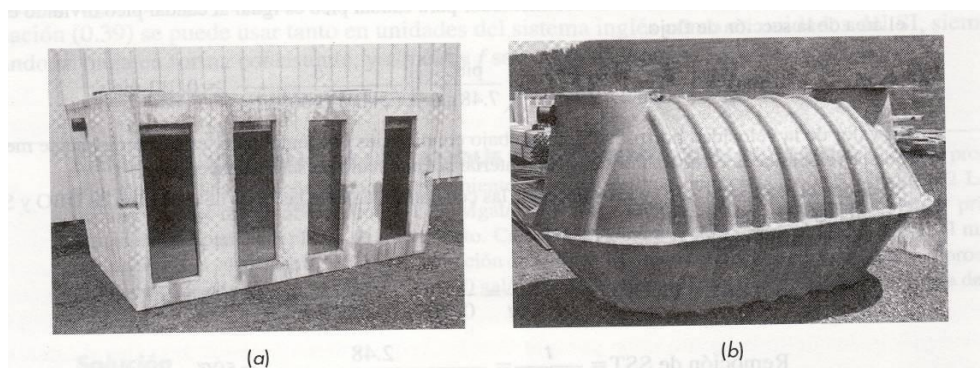


Figura 3.16 Fotografías de tanques sépticos: a) construcción monolítica en concreto provista con paneles de vidrio para observar el flujo y la acumulación tanto de espuma como de lodo y b) construcción en fibra de vidrio.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Los tanques sépticos se usan principalmente para el tratamiento de aguas residuales de viviendas individuales: su uso se ha extendido incluso al tratamiento de residuos de establecimientos educativos, campamentos de verano, parques, zonas para acampar y moteles, modificando solo el tamaño de los tanques. Consisten en un depósito cerrado (generalmente enterrado) por el que se hace pasar el agua residual con el objetivo de someterla a una decantación. A su vez, el fango decantado está en anaeróbiosis.

El tanque séptico consta de las siguientes partes:

Depósito: El cuerpo principal del tanque séptico es un depósito cubierto que normalmente queda enterrado, de mayor longitud que su anchura o profundidad útil, y conteniendo dos cámaras (en serie) o bien sólo una en el caso de los pequeños tanques sépticos.

Entrada y salida de agua: La entrada de agua debe tener un cierre hidráulico para evitar la entrada de los gases producidos hacia la fontanería de saneamiento de las viviendas. Además, debe disponer de un elemento de tranquilización (por ejemplo pieza en "T") para evitar la transmisión de la turbulencia de entrada a lo largo del depósito. La salida del agua debe disponer de un elemento deflector ("T") para conseguir retener los elementos flotantes (y fango flotante).

Salida de gases: el tanque debe disponer de una salida para los gases de digestión formados. Una solución es mediante tubería hasta el tejado de la vivienda.

Registro: Tanto para proceder a la inspección como a la limpieza del depósito y a la extracción periódica de los fangos acumulados

son necesarios registros en la cubierta del tanque séptico. Estos deben estar colocados encima de la entrada y salida al depósito, al ser estos puntos zonas con riesgos de estancamiento.

3.4.2. Tanques Imhoff.

Un tanque Imhoff consiste en un tanque de dos pisos en el cual la sedimentación tiene lugar en el compartimiento superior, y la digestión y acumulación de lodos en el comportamiento inferior (ver figura 3.24).

Los tanques Imhoff se utilizan como unidad para tratamiento de aguas residuales provenientes de zonas residenciales y demás zonas que cuenten con red de alcantarillado por gravedad o sistemas de recolección a presión con bombas trituradoras. Estas unidades no cuentan con unidades mecánicas que requieran de mantenimiento, y la operación consiste en remoción diaria de espuma, en su evacuación por el orificio mas cercano y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de

manera uniforme en los dos extremos del digestor de acuerdo con el diseño y retirarlos periódicamente al lecho de secado.

Los tanques Imhoff convencionales son unidades rectangulares o circulares que no cuentan con calentamiento; los tanques circulares se usan para caudales pequeños. La remoción de sólidos sedimentables y la digestión anaerobia de estos sólidos es similar a la que ocurre en un tanque séptico. Como se aprecia en la figura 3.17, los sólidos pasan a través de una abertura ubicada en la parte inferior de la cámara de sedimentación al compartimiento de su digestión sin calentamiento. Las espumas se acumulan en la cámara de sedimentación y en la zona de venteo de gases. Con el paso de los años muchos fabricantes han desarrollado versiones mecanizadas del tanque Imhoff consistentes en un tanque circular de sedimentación montado sobre un tanque circular de digestión de lodos, provisto de puntos de extracción de gases ubicados en la periferia del tanque. El lodo digerido se barre mecánicamente hasta una tubería central de drenaje. Un tanque mecanizado puede contar además con barredores para la remoción tanto de la capa de espuma formada en la superficie del tanque, como de aquella formada en la parte superior de la cámara de digestión. Aunque

estas versiones modernas sean eficientes, la simplicidad mecánica del tanque Imhoff sin calentamiento se pierde.

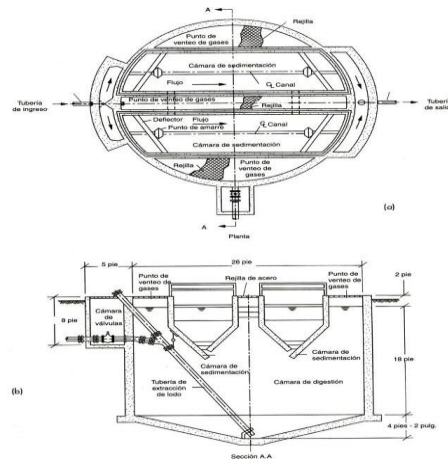


Figura 3.17. Tanque Imhoff circular: a) Planta, b) sección transversal.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.4.3. Tanques sépticos con reactor de película adherida.

Este sistema involucra un pequeño filtro percolador ubicado sobre el tanque séptico. Una fracción del efluente del tanque séptico se bombea a un filtro, donde se produce la nitrificación a medida que el líquido pasa a través y sobre el medio plástico que conforma el filtro. El sistema se muestra en forma esquemática en la figura 3.18. Un buen número de unidades se ha instalado en tanques sépticos.

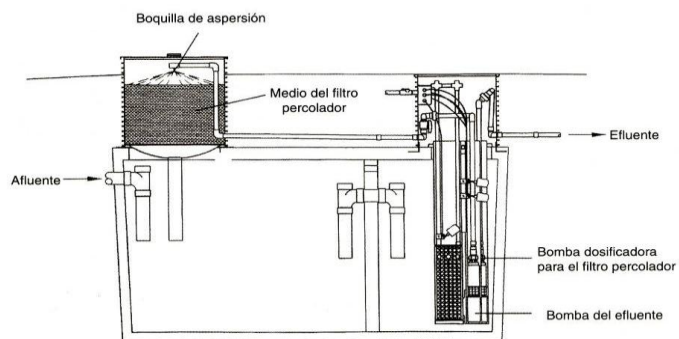


Figura 3.18. Tanque séptico con reactor de película bacteriana adherida para la remoción de nitrógeno.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.5. Tratamiento secundario.

Se encarga de remoción de compuestos orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos. La desinfección también se incluye dentro del concepto de tratamiento secundario convencional. Su objetivo básico consiste en reducir la materia orgánica disuelta. El tratamiento básico es biológico. Se trata de eliminar tanto la materia orgánica coloidal como la que esta en forma disuelta. En ésta etapa se consigue importante rendimiento de eliminación de DBO.

Algunos tipos de tratamiento de aguas residuales correspondiente a esta etapa son:

3.5.1. Lodos activados.

El proceso de tratamiento de las aguas residuales mediante la tecnología de lodos activados implica la aereación del afluente tratado en forma preliminar (rejas, tamices, tratamiento primario) mezclado con un pequeño volumen de lodos activados previo a la aereación. La mezcla en los estanques de aereación se denomina licor de mezcla (MLSS).

El empleo de lodos activados ofrece una alternativa para el tratamiento de aguas residuales ya que poseen una gran variedad de microorganismos capaces de remover materia orgánica presente en el agua, esto se ve favorecido por el uso de reactores que proveen de las condiciones necesarias para la biodegradación.

Los lodos activados son lodos sedimentados de las aguas residuales crudas previamente agitados en la presencia de abundante oxígeno atmosférico. Los lodos activados son diferentes de otros lodos tanto en apariencia como en características físicas y composición biológica. Un lodo activado de buena calidad tiene un

particular olor a tierra húmeda y mohosa cuando está en circulación en los estanques de aereación.

La mezcla de aire con aguas residuales es aereación. Cuando el lodo activado, recirculado desde el estanque de sedimentación, es agregado al afluente para formar el licor de mezcla, el cual es subsecuentemente aireado y del cual el lodo activado es sedimentado, ahí se está en presencia del proceso de lodos activados. En el proceso de lodos activados el retorno de lodos y la aereación proveen los dos medios a través de los cuales la materia coloidal y disuelta del afluente puede ser cambiada.



Figura 3.19. Lodos Activados

3.5.2. Filtro percolador y biorreactores.

El proceso de lecho bacteriano es el sistema clásico de los de cultivo fijado a soporte. Se les denomina también filtros percoladores, filtros de goteo o filtros de escurrimiento. En los primeros libros técnicos de Ingeniería Sanitaria, como el escrito por D. Antonio Somnier (1919), a los lechos bacterianos se les denominó "filtros coladores".

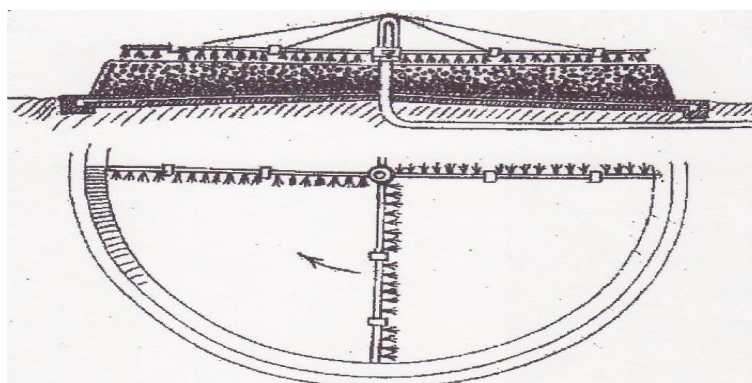


Figura 3.20. Filtro percolador de principios de siglo.

El reactor de un proceso de lechos bacterianos es aeróbico de cultivo fijado a un medio soporte: un reactor biopelícula. El agua residual decantada o tamizada atraviesa el lecho que forma el medio soporte, sin llegar a inundarlo, dejando aire en los intersticios o huecos del medio. La superficie del soporte rápidamente es recubierta con una sustancia viscosa y pegajosa, la biopelícula, que contiene bacterias y otra biota. La biota elimina

la materia orgánica por adsorción y asimilación de los componentes solubles y en suspensión. El proceso depende de la oxidación bioquímica de una parte de la materia orgánica del agua residual a CO_2 y agua. La materia orgánica remanente es transformada en nueva biomasa. Para el metabolismo aeróbico, el oxígeno puede suministrarse mediante aereación natural o forzada. La transferencia de oxígeno es directa o por difusión desde la capa líquida adyacente a la biopelícula.

Después del arranque del proceso, debido a la actividad microbiana puede formarse una zona anaeróbica en la biopelícula junto al medio soporte. Esto puede llevar al crecimiento de microorganismos facultativos y posiblemente anaeróbicos, especialmente si la acumulación de biomasa es excesiva. Sin embargo, los organismos aeróbicos superficiales sustentan el mecanismo básico de eliminación orgánica. Las funciones propias de la anaerobiosis, hidrólisis y producción de gas, son mínimas o ausentes si la operación del lecho es adecuada.

La cantidad de biomasa producida es controlada por la disponibilidad de alimento. La biopelícula crece en función de la carga orgánica y de la concentración del agua residual, hasta alcanzar un espesor efectivo máximo. Este espesor máximo es controlado por factores físicos, tales como la carga hidráulica, el tipo de material soporte, el tipo de materia orgánica, la cantidad de nutrientes esenciales presentes, la temperatura y la naturaleza del crecimiento biológico. Durante la operación del filtro, se desprende biopelícula, de forma intermitente o continua.

Los desprendimientos, continuos o periódicos, se miden como SS del efluente del lecho, y dan una indicación de si la operación del lecho es adecuada.

En las plantas de lechos bacterianos, a menudo encontraremos moscas y babosas o caracoles. Las moscas pueden evitarse o controlarse diseñando los lechos para permitir su inundación, lo cual es una forma simple para que un operador controle la proliferación de estos insectos indeseables. También, reduciendo la frecuencia en la dosificación se puede controlar estos organismos molestos e incluso evitar malos olores.

Una población excesiva de caracoles, puede causar problemas en los bombeos, y en otros equipos tanto en la línea de agua como de fangos. Para su control, se puede usar un canal de baja velocidad entre el lecho bacteriano y el decantador secundario, con un by-pass para permitir la limpieza de los caracoles que se recojan.

La decantación primaria se requiere previo a un lecho de piedra para minimizar los problemas de atascamiento. Sin embargo, pueden no ser necesarios en plantas con lechos de material plástico corrugado que ofrece un índice de huecos bastante elevado, para los que suele ser suficiente un desbaste fino o un buen tamizado de partículas mayores o iguales a 3 mm. Una sedimentación final adecuada es necesaria para eliminar la biopelícula desprendida de los lechos.

Se suele utilizar la recirculación del efluente del lecho como una herramienta operacional que mejora la eficiencia del tratamiento. Uno de sus objetivos es conseguir una buena humectación del lecho, manteniendo una capacidad máxima de tratamiento. También, puede servir para conseguir un cortante hidráulico que

controle el crecimiento excesivo del espesor de biopelícula, reduciendo el problema de atascamiento asociado.

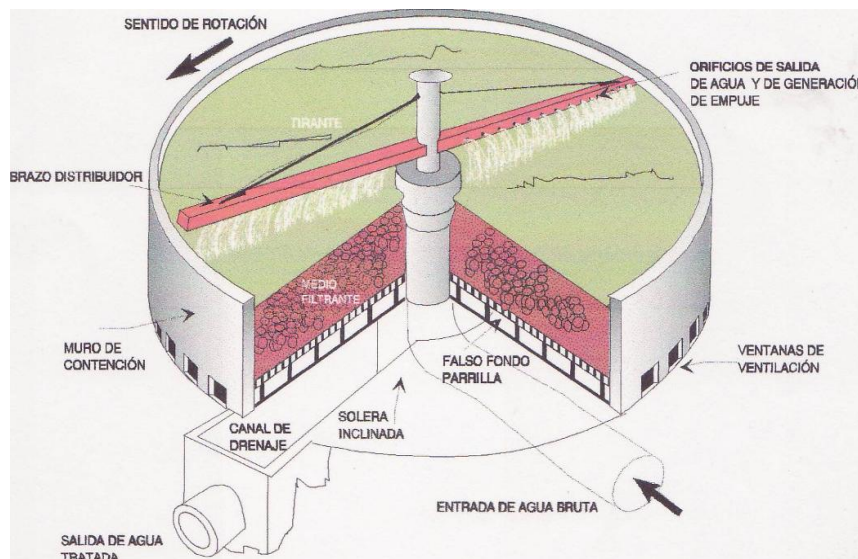


Figura 3.21. Filtro percolador o lecho bacteriano

Fuente: Iñaqui Tejero Monzón, Joaquín Suárez Lopez, Alfredo Jácome Burgos, Javier Temprano Gonzales, Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2001

En los primeros lechos bacterianos el medio soporte estaba constituido por piedras; éstas, con el tiempo se han llegado a sustituir por material plástico con diferentes configuraciones que han permitido construir lechos bacterianos de gran altura, a los que se denomina torres biológicas o biorres.

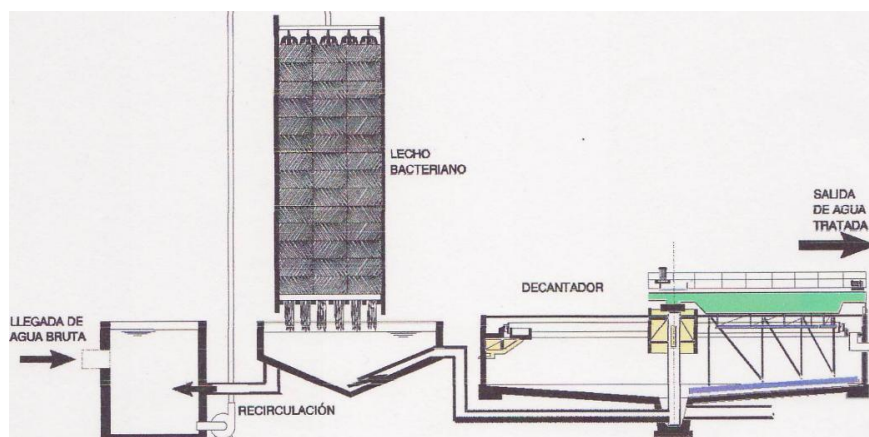


Figura 3.22. Biotorre o torre biológica.

Fuente: Iñaqui Tejero Monzón, Joaquín Suárez Lopez, Alfredo Jácome Burgos, Javier Temprano Gonzales, Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2001

3.5.3. Biodiscos.

Dispositivo para el tratamiento de aguas residuales compuesto de discos grandes de plástico colocados a corta distancia que rotan en torno a un eje horizontal.

Los discos se mueven alternadamente en el agua residual y en el aire y desarrollan un crecimiento biológico en sus superficies.

Un contactor biológico rotativo consiste en una serie de discos circulares de poliestireno, o cloruro de polivinilo, situados sobre un eje, a corta distancia unos de otros.

Los discos están parcialmente sumergidos en el agua residual y giran lentamente en el seno de la misma. En el funcionamiento de un sistema de este tipo, los crecimientos biológicos se adhieren a las superficies de los discos, hasta formar una película biológica sobre la superficie mojada de los mismos.

La rotación de los discos pone la biomasa en contacto, de forma alternativa, con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera, para la adsorción de oxígeno.

La rotación del disco induce la transferencia de oxígeno y mantiene la biomasa en condiciones aeróbicas. Esta rotación también es el mecanismo de eliminación del exceso de sólidos en los discos por medio de los esfuerzos cortantes que origina y sirve para mantener en suspensión los sólidos arrastrados, de modo que puedan ser transportados desde el reactor hasta el clarificador.

Los biodiscos se pueden utilizar como tratamiento secundario, y, también, se pueden emplear para la nitrificación y desnitrificación estacionales o permanentes. Se suelen proyectar basándose en

factores de carga desarrollados en estudios en planta piloto, y a partir de datos deducidos de instalaciones a escala industrial, aunque se puede aplicar el análisis anteriormente presentado para el caso de filtros percoladores.

Tanto los criterios de carga hidráulica como orgánica son aplicables al dimensionamiento de las unidades para el tratamiento secundario.

Las cargas para tiempo caluroso y para nitrificación continua son considerablemente inferiores a las correspondientes al tratamiento secundario. Correctamente dimensionados constituyen sistemas muy fiables debido a la gran cantidad de biomasa presente (relación de funcionamiento A/M baja). Este hecho también les permite resistir mejor las sobrecargas hidráulicas y orgánicas.

La disposición por etapas en serie de este sistema de flujo en pistón elimina los cortocircuitos y amortigua las sobrecargas.



Figura 3.23. Biodisco.

3.5.4. Filtro de arena de flujo intermitente.

Los filtros de arena intermitentes son unidades de tratamiento biológico y físico, los cuales pueden mejorar la calidad del efluente de una laguna de tratamiento, mediante la filtración. Las algas se recolectan sobre la superficie del filtro de arena en medida en que el agua residual es aplicada y tratada. La acumulación de sólidos genera una capa de 2 a 3 pulg (50 a 80 mm) que debe ser removida periódicamente.³

El espesor del lecho de arena en el filtro es de por lo menos 18 pulg (450mm). El lecho debe de ser suficientemente profundo (por lo general 36 pulg (900mm)) para permitir una operación con ciclos

de limpieza de por lo menos 1 año, ya que en cada ciclo de limpieza se puede perder de 1 a 2 pulg (25 a 50mm) del lecho de arena.

La arena empleada como lecho de los filtros intermitentes de una etapa, debe tener un tamaño efectivo entre 0,2 y 0,3 mm y un coeficiente de uniformidad menor de 5.0. Menos del 1% de las partículas de arena deben tener un tamaño menor de 0,1 mm. La arena para concreto es apropiada como lecho para este tipo de filtros.

El área total requerida de un filtro de arena intermitente se determina dividiendo el caudal promedio entre la carga superficial de diseño. Un filtro adicional debe estar disponible para mantener la operación continua, en caso de que se requieran varios días para las operaciones de limpieza; se prefiere un mínimo de tres unidades de filtración. En sistemas pequeños que utilicen limpieza manual para los filtros, el área de los lechos no debe superar los 1000 pie² (90m²). En sistemas grandes con equipos mecánicos de limpieza, el área de los lechos puede alcanzar valores de 55000

pie² (5000m²). En la figura 3.24 se muestra un filtro de área intermitente.³

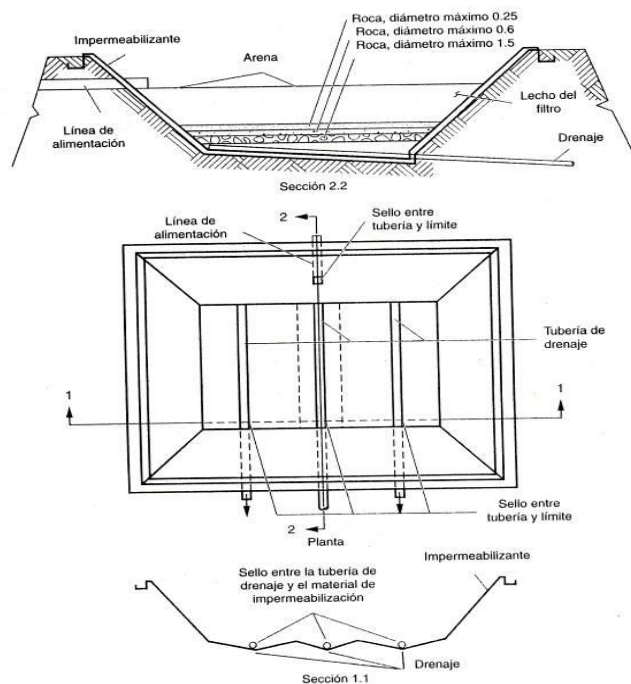


Figura 3.24. Diagrama de un filtro de arena intermitente usado para el tratamiento del efluente de una laguna.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.5.5. Filtro de grava con recirculación.

Los filtros con recirculación son similares a los filtros intermitentes, excepto en que una fracción del efluente tratado en el filtro se conduce hasta un tanque de recirculación, donde se mezcla con efluente del tanque séptico para ser aplicado sobre el filtro. Bajo

esta forma de operación se puede aplicar mayor caudal sobre el filtro, dado que se diluye la concentración del efluente del tanque séptico.

En la operación de filtros con recirculación, las variables de procesos que afectan el desempeño del filtro en cuanto a remoción de DBO, SST, grasas, aceites y turbiedad, son las mismas que afectan el desempeño de filtros intermitentes. El volumen de líquido recirculado es de gran importancia, puesto que diluye el efluente de tanques sépticos, de manera que la materia orgánica aplicada en cada dosis, y absorbida en la película bacterial, puede ser procesada con más facilidad por las bacterias entre dosis.

Como la profundidad de la capa de agua que fluye através del medio filtrante es mayor a la que se presenta en los filtros de arena intermitentes, cabe la posibilidad que partículas coloidales pequeñas, incluyendo bacterias y virus puedan atravesar el medio filtrante sin que se hayan absorbido. La materia orgánica presente en el efluente se distribuye a una profundidad dentro del filtro debido al volumen del líquido adicionado. El líquido adicionalmente

sirve también para lavar y arrastrar fuera del filtro material orgánico parcialmente descompuesto, desechos bacteriales y residuos retenidos en el filtro durante las dosis anteriores; el material extraído del filtro tiende a acumularse en el fondo del tanque de recirculación.

En filtros con recirculación de alta carga se debe instalar una trampa de sólidos para remover el material extraído del filtro antes de realizar la descarga del efluente. En la figura 3.25 se muestra un diagrama de un filtro granular con recirculación.

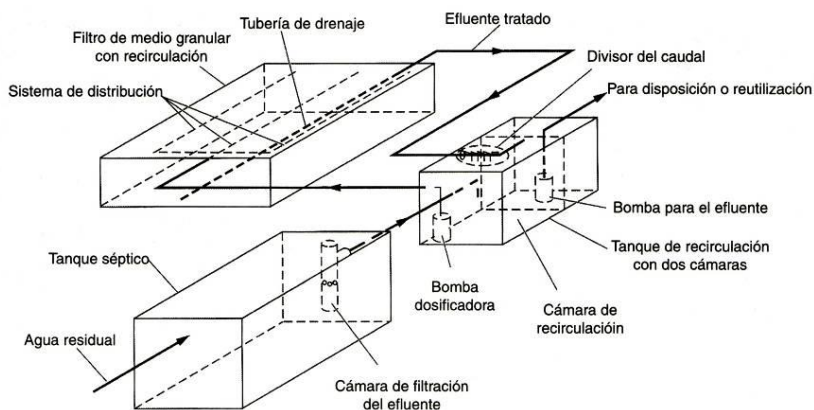


Figura 3.25. Diagrama de un filtro de medio granular con recirculación.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Los filtros de arena y grava con recirculación se utilizan para el tratamiento de efluente de tanque séptico ubicados en viviendas individuales, conjuntos habitacionales, instituciones y pequeñas comunidades con caudales hasta de 1,0 Mgal/d (3785 m³/d).

También se han empleado como unidades de nitrificación de efluentes de lagunas antes de realizar la descarga en humedales artificiales, y como unidades de tratamiento previas a la desinfección con radiación UV para la reutilización del agua.

Los filtros con medio granular se han utilizado en forma extensiva para el tratamiento de aguas residuales generadas en residencias familiares individuales.³

En la figura 3.26 se presentan algunos ejemplos. Una innovación que se ha desarrollado en la aplicación de estos sistemas consiste en la fundición previa del tanque de concreto, y la incorporación de tuberías y medio filtrante en el sitio donde se construye el filtro (ver figura 3.27). La unidad se encuentra en el sitio de construcción lista

para ser conectada con el tanque séptico y el sistema de disposición.

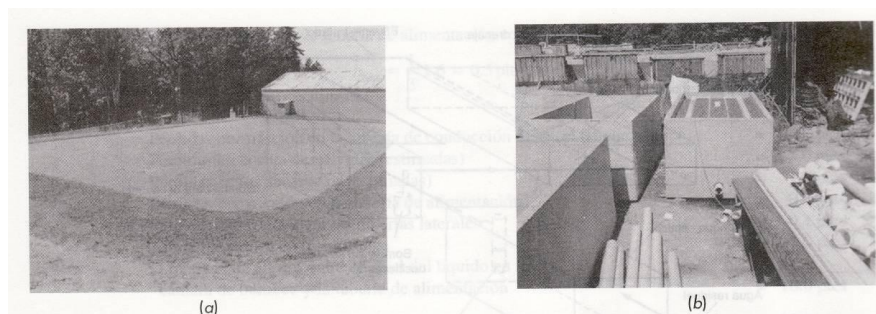


Figura 3.26. Filtros de grava con recirculación a) filtro para pequeñas comunidades, b) filtro en fabricación para una pequeña vivienda.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

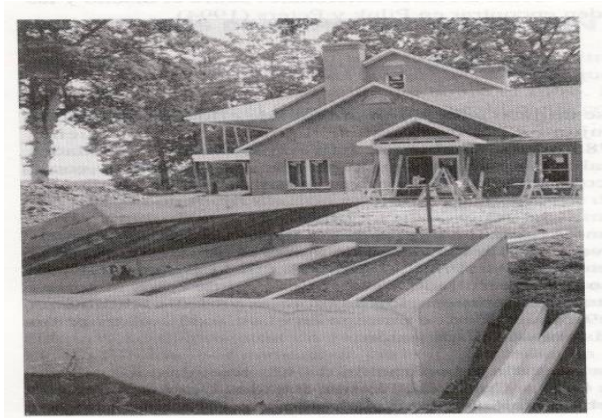


Figura 3.27. Filtro prefabricado de medio granular con recirculación, entregado el sitio de instalación y listo para ser conectado.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.5.6. Filtros de turba.

La utilización de filtros de turba como una alternativa para el tratamiento biológico y físico de efluentes de tanque séptico ha sido reportada desde 1984. Este tipo de filtros fué utilizado en Main y Ontario (ver figura 3.28). La turba es un material permeable, y un medio absorbente que sirve para: 1) filtrar el agua residual, 2) como sustrato en el tratamiento biológico, y 3) para reducir la concentración de fósforo. Las tasas de carga hidráulica para estos filtros son similares a las utilizadas en los filtros intermitentes de arena, 1 gal/pie².d (4cm/d).

Los resultados del seguimiento realizado en varios sistemas con filtros de turba se presentan en la tabla 3.9. En el mercado se consiguen versiones comerciales de filtros de turba para el tratamiento de agua residual generada en viviendas individuales

La importancia de fuente de donde se extrae la turba es de gran importancia según controles realizados en Maine y Ontario. Se ha observado que dependiendo de la fuente de origen del material

varía el nivel de tratamiento alcanzado; también es necesario analizar el lixiviado para identificar el contenido de nitratos.

CONSTITUYENTE	UNIDAD	CONCENTRACION AFLUENTE	CONCENTRACION EFLUENTE	REDUCCION %
DBO ₅	mg/L	250-280	<10	96
SST	mg/L	190	<10	95
NH ₃ como N	mg/L	50	<5	90
N total como N	mg/L	60	<10	80
P total como P	mg/L	7,7	3,2	58
Coliformes totales	N ₀ /100mL	3,0x10 ⁵	60x10 ³	99,9

Tabla 3.9. Resumen del desempeño de filtros de turba en el tratamiento de aguas de viviendas individuales.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

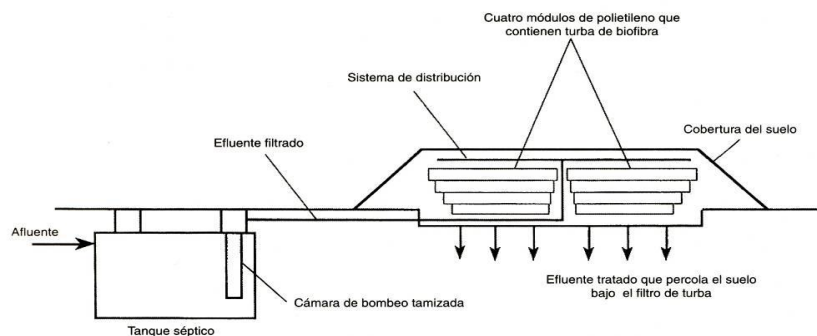


Figura 3.28. Diagrama de un filtro de turba

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.5.7. Lagunas.

Las lagunas no son más que excavaciones realizadas en un terreno para el tratamiento de aguas residuales. Los trabajos de

investigación realizados sobre lagunas en la década de 1940 permitieron el desarrollo de estos sistemas como una alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales.

Existen dos métodos para clasificar las laguna, el primero es teniendo en cuenta la concentración de oxígeno disuelto (nivel de aerobividad), y la fuente que suministra el oxígeno necesario para la asimilación bacteriana de compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales. En la tabla 3.10 se puede observar los cuatro tipos de lagunas más importantes, clasificadas con este método.

CLASE DE LAGUNA	PRESENCIA DE OXIGENO
Aerobia	La fotosíntesis suministra el oxígeno necesario para mantener condiciones aerobias en toda la columna de agua
Facultativa	La zona superficial es aeróbica
	La zona subsuperficial puede ser anóxica o anaeróbica.
Aireada con mezcla parcial	La aireación superficial produce una zona aerobia que puede alcanzar la totalidad de la profundidad, dependiendo del ingreso del oxígeno y de la profundidad de la laguna.
Anaerobia	La totalidad de su profundidad es anaerobia.

Tabla 3.10. Clasificación de las lagunas con base en la presencia y fuente De oxígeno.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

El segundo método de clasificación de tipos de lagunas se basa en la frecuencia y duración de la descarga del efluente. De acuerdo con este enfoque las lagunas pueden ser:

- Lagunas de retención total.
- Lagunas con descarga controlada.
- Lagunas con descarga de control hidrológico.
- Lagunas con descarga continua.

Las lagunas de retención total se deben considerar solo en lugares donde la tasa de evaporación supera la de precipitación anual. Las lagunas con descarga controlada vierten su efluente periódicamente, cuando la fuente receptora presenta condiciones óptimas para recibir la descarga del efluente tratado.

Las lagunas con descarga de control hidrológico (DCH) son una variación de aquellas de descarga controlada; bajo este concepto, la laguna se diseña en forma que permite la descarga del efluente tratado cuando la fuente receptora presenta un caudal por encima de un mínimo aceptado.

Muchas de las lagunas con descarga controlada o con descarga de control hidrológico son facultativas. Todas las clases de lagunas pueden funcionar con descarga continua.

La tecnología de tratamiento con lagunas se utiliza principalmente en comunidades pequeñas; sin embargo, las lagunas aireadas y facultativas son de uso frecuente en comunidades medianas, especialmente en el oeste de Estados Unidos. Más de 7000 sistemas con lagunas se utilizan para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales en Estados Unidos. Estos funcionan en forma independiente o en combinación con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.

3.5.7.1. Lagunas aeróbicas.

Las lagunas aeróbicas son bastante profundas para permitir la penetración de la luz del sol en toda la columna de agua. Como resultado, este tipo de lagunas tiene gran actividad fotosintética durante horas de luz solar en toda la columna de agua; su profundidad varía entre 1 y 2 pies (0.3 y 0.6 m). Las lagunas diseñadas para aumentar la actividad

fotosintética de las algas se denominan también **Lagunas de alta tasa**. El termino alta tasa se refiere a la velocidad de producción fotosintética de oxígeno por parte de las algas presentes, y no a la velocidad de asimilación metabólica de compuestos orgánicos, la cual permanece invariable.

El oxígeno producido por las algas permite a las bacterias degradar en forma aerobia los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. Durante las horas de luz solar, el oxígeno y el pH aumenta alcanzando valores máximos. Los tiempos de retención de estos sistemas son relativamente cortos (valor usual 5d). Las lagunas aeróbias se utilizan en combinación con otras lagunas y su aplicación se limita a zonas con climas cálidos y soleados.

3.5.7.2. Lagunas facultativas.

Las lagunas facultativas son las más usadas y versátiles entre las diferentes clases de lagunas. En la figura 3.29 se aprecia la fotografía de una laguna facultativa. En general, su profundidad oscila entre 5 y 8 pies (1.5 a 2.5m) y se

conocen también como **lagunas de estabilización**. El tratamiento se desarrolla por acción de bacterias aeróbicas en la capa superior y de bacterias anaeróbicas o anóxicas en la capa inferior, dependiendo de la mezcla que se induce por acción del viento. Las dos capas que se forman en una laguna facultativa están representadas en el diagrama de la figura 3.30. El aporte de oxígeno se logra por fotosíntesis y por reaeración natural superficial. Las lagunas facultativas pueden funcionar como lagunas con descarga controlada, lagunas de retención total, o como unidades de almacenamiento para un tratamiento posterior sobre el suelo.

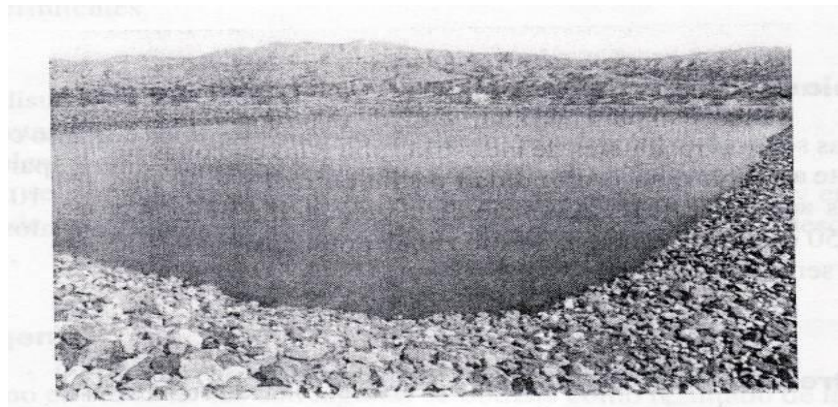


Figura 3.29. Laguna facultativa empleada en el tratamiento de agua residual doméstica.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

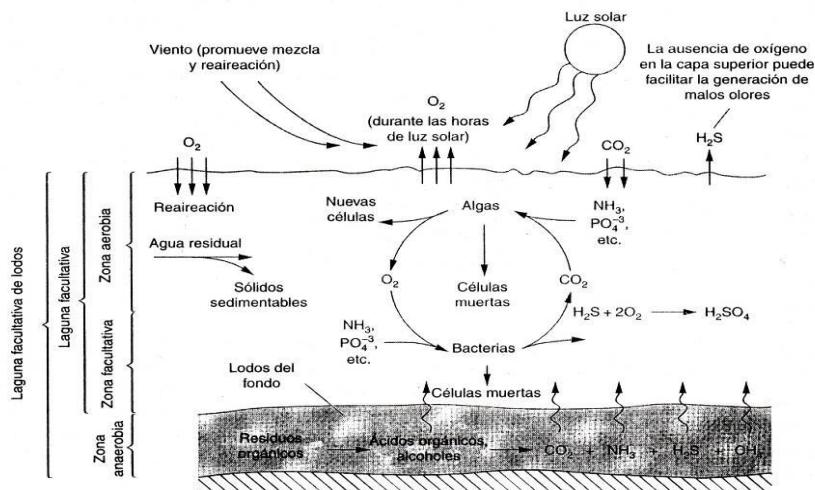


Figura 3.30. Diagrama de las interacciones que ocurren en una laguna facultativa.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.5.7.3. Lagunas aireadas con mezcla parcial.

Las lagunas aireadas con mezcla parcial son más profundas y pueden recibir mayor carga orgánica que una laguna facultativa. El suministro de oxígeno se realiza por medio de aireadores mecánicos flotantes o difusores de aire sumergidos. Las lagunas aireadas tienen una profundidad que varía entre 6 y 20 pies (2 y 6m), y se diseñan con bajo tiempo de retención (3 a 20d).

3.5.7.4. Lagunas anaeróbicas.

Las lagunas anaeróbicas se diseñan para el tratamiento de líquidos con alto contenido de materia orgánica, generalmente aguas residuales de industrias ubicadas en zonas rurales apartadas. Estas lagunas no cuentan con zonas aeróbicas, su profundidad oscila entre 15 y 30 pies (5 y 10m) y su tiempo de retención va de 20 s 50d. Como la consecuencia de la generación potencial de malos olores, las lagunas anaeróbicas requieren ser cubiertas o aisladas de zonas pobladas.

3.5.8. Humedales artificiales y tratamientos acuáticos.

Los humedales y los sistemas acuáticos de tratamiento son aquellos que utilizan plantas acuáticas y animales para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Los sistemas de tratamiento acuático cubren un rango amplio de tipos de sistemas dentro de los que se incluyen una variedad de sistemas, humedales artificiales, sistemas de plantas acuáticas flotantes y la combinación de estos.

Tipos de sistemas.

Los principales tipos de sistemas de humedales y sistemas acuáticos de tratamiento de este capítulo incluyen:

- Humedales artificiales de flujo libre HAFL.
- Humedales artificiales de flujo subsuperficial HAFS.
- Sistemas acuáticos de plantas flotantes.
- Sistemas combinados.

3.2.8.1. Humedales artificiales de flujo libre.

En un humedal artificial de flujo libre (pantano o ciénaga), la vegetación esta parcialmente sumergida en el agua, cuya profundidad varia de 4 a 18 pulg (100 a 450 mm). la vegetación común para los sistemas HAFL incluye éneas, carrizos, juncias y juncos. Este tipo de sistema consta en general de canales o tanques con una barrera natural o artificial para prevenir la percolación del agua. Algunos sistemas HAFL se diseñan de manera que haya retención completa del agua residual que se aplica a través de

percolación y la evapotranspiración.³ Las bacterias adheridas a las plantas tratan el agua residual a medida que esta fluye a través de la vegetación y por medio de procesos físicos y químicos.

3.2.8.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial.

En un humedal artificial de flujo subsuperficial el agua se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso. La vegetación del lecho emergente se planta en el medio, que puede ser desde grava gruesa hasta arena. La profundidad del lecho va desde 1.5 a 3.3 pies (0.45 a 1 m) y tiene una pendiente característica de 0 a 0.5%.

3.2.8.3. Sistemas acuáticos de plantas flotantes.

Los dos principales sistemas de plantas flotantes son el Jacinto de agua y la lenteja de agua (ver figura 3.31). El sistema de jacintos de agua (o de aguas similares) involucra plantas flotantes o suspendidas con raíces relativamente largas ubicadas en lagunas de 2 a 4 pies (0.6 a 1.2m) de profundidad. La estructura de las raíces sirve como medio

para el crecimiento en película de las bacterias. Por otro lado, la lenteja de agua tiene raíces cortas (en general de menos de 0.4 pulg (10mm)) y, por consiguiente, actúa como un sistema de sombreado superficial.

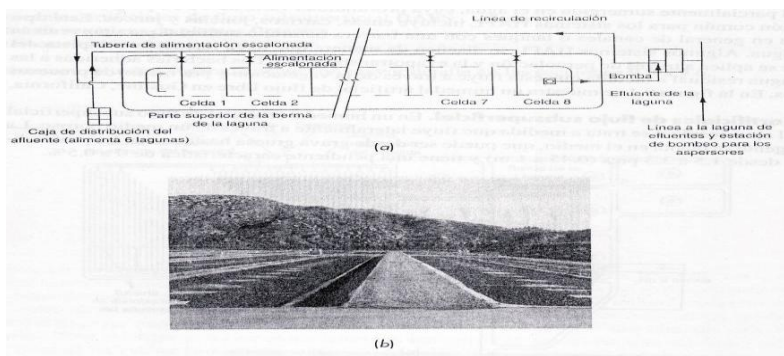


Figura 3.31. Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes en San) esquema de un canal con alimentación escalonada y flujo pistón con recirculación del efluente hacia la celda, b) Vista de un sistema dejacinto de agua.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.6. Tratamiento avanzado.

El tratamiento avanzado se encarga de la remoción de materiales disueltos o en suspensión que permanecen después del tratamiento biológico convencional. Este nivel se aplica en casos donde se requiere reutilizar el agua tratada o en el control de eutrofización de fuentes receptoras.

3.6.1. Tratamiento en el suelo.

El tratamiento en el suelo es la aplicación controlada de agua residual sobre la superficie de un terreno, para alcanzar un grado determinado de tratamiento a través de procesos físicos, químicos y biológicos, ocurridos en el interior del conjunto planta-suelo-agua. Diferentes niveles de tratamiento de agua residual pueden ser alcanzados tanto con vertimiento municipales como industriales, dependiendo de las características del lugar, las tasas de carga, las características del agua residual y los objetivos del diseño.

3.6.2. Filtración rápida.

La filtración es el proceso por el cual las partículas presentes en un líquido son removidas de este con ayuda de un medio poroso o una membrana que retiene las partículas permitiendo el paso del líquido. En la filtración rápida, el medio filtrante (en este caso arena) está soportado por una capa de grava, la cual descansa a su vez en el sistema de drenaje del filtro. El agua filtrada, recolectada en el sistema de drenaje, se descarga a un recipiente de almacenamiento o al sistema de distribución, el sistema de drenaje se utiliza también para invertir el flujo para el ciclo de retro

lavado del filtro. El agua que va a ser filtrada entra desde un canal de entrada.

3.6.3. Desinfección de aguas residuales.

La desinfección se refiere a la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades en oposición a la esterilización, en la cual se destruyen todos los organismos. La desinfección de aguas residuales tratadas es de fundamental importancia en el manejo de este recurso. A continuación se consideran las tecnologías de desinfección: 1) cloración y dechloración con cloro líquido y dióxido de azufre (cloración), 2) cloración y dechloración con hipoclorito de sodio líquido y bisulfato de sodio (hipercloración), 3) radiación ultravioleta (desinfección UV) y 4) tratamiento con ozono (ozonización).

3.6.3.1. Desinfección con cloro y dechloración con dióxido de azufre.

El cloro es quizás uno de los desinfectantes más utilizados a lo largo del mundo, puesto que su uso satisface la mayoría de los requisitos necesarios para una apropiada

desinfección. Los componentes de cloro más utilizados en el tratamiento de aguas residuales son: cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$], hipoclorito de sodio (NaOCl) y dióxido de cloro (ClO_2). El hipoclorito de calcio o de sodio se usa a menudo en muchas instalaciones, principalmente por razones de seguridad influenciadas por las condiciones locales. El uso de hipoclorito de calcio se aborda en el análisis posterior al del uso del cloro.

3.6.3.2. Desinfección con desinfección con hipoclorito de sodio y decloración con bisulfato de sodio.

Las preocupaciones sobre la seguridad asociada con el manejo y almacenamiento del cloro líquido y gaseoso han conducido al uso del hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] y del hipoclorito de sodio (NaOCl).

Se debe notar, sin embargo, que algunas plantas grandes que han utilizado tanto el hipoclorito de calcio como de sodio han vuelto a utilizar el cloro debido a problemas asociados con el manejo de grandes volúmenes de estos químicos.

3.6.3.3. Desinfección con radiación ultravioleta (UV).

Las propiedades germicidas de la radiación emitida por fuentes de luz ultravioleta (UV) han sido utilizadas en una gran variedad de aplicaciones desde que el uso de UV fué explorado a principios de los años 1900. Primero se aplicó a suministros de agua de alta calidad; el uso de la luz ultravioleta como un desinfectante de aguas residuales ha evolucionado durante los últimos 10 años con el desarrollo de nuevas lámparas, balastos, equipos y accesorios.

Con la dosis apropiada, la radiación ultravioleta ha probado ser un efectivo bactericida y virucida para aguas residuales, con una formación mínima o nula de compuestos químicos.

3.6.3.4. Desinfección con ozono.

El ozono (O_3) es un oxidante en extremo fuerte que ha sido utilizado para la desinfección de aguas y aguas residuales. Debido a que el ozono es químicamente inestable, se descompone en oxígeno con mucha rapidez después de su

generación. Como resultado, el ozono debe ser generado en el sitio, o cerca del punto donde se va a usar.

3.6.4. Remoción de sólidos residuales con filtración por membrana.

La filtración involucra la separación (remoción) de material particular de un líquido. En la filtración por membrana, el rango del tamaño de las partículas se extiende para incluir los componentes disueltos. La función de la membrana, como se muestra en la figura 3.32 es servir de barrera selectiva que permitirá el paso de ciertos constituyentes y retendrá otros encontrados en el líquido.

El líquido que pasa por la membrana semipermeable se conoce como filtrado (también conocido como la corriente filtrada o producida), y el líquido que contiene los constituyentes retenidos es conocido como retenido (o también como concentrado, fase retenida corriente de desecho). La tasa a la que el filtrado fluye por la membrana se conoce como la tasa de flujo, expresada como gal/pie².d.

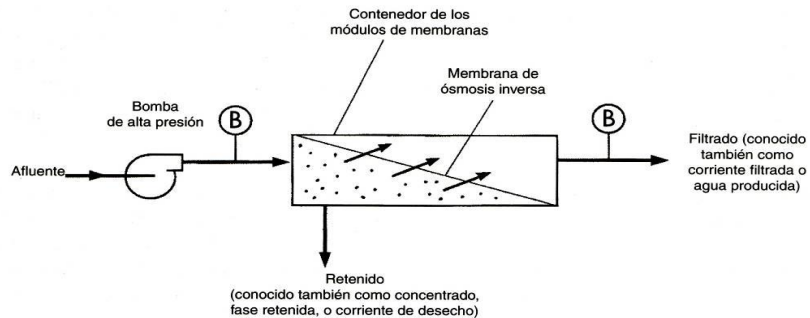


Figura 3.32. Esquema de la función de la membrana.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

3.6.5. Reutilización del efluente.

Existe un amplio rango de opciones para la reutilización del agua. Las formas más comunes de reutilización, en pequeños sistemas descentralizados de agua residual son la irrigación agrícola y ornamental. En esta sección se describen las opciones de reutilización del agua, las que se resumen a continuación.

3.6.5.1. Irrigación agrícola.

La irrigación de cultivos es uno de los tipos más antiguos y comunes de reutilización de efluentes. Conceptualmente, es idéntico al tratamiento en suelo a tasa baja de tipo 2. En California 63% del total de reutilización de aguas residuales corresponde a la irrigación agrícola. Los cultivos irrigados

incluyen árboles, pastos, maíz, alfalfa y otros cultivos alimenticios, forrajes y cultivos de fibra. Los cultivos alimenticios también están siendo irrigados con efluentes de tratamientos terciarios desinfectados.

3.6.5.2. Irrigación ornamental.

La irrigación ornamental, también referida a la reutilización urbana, incluye la irrigación de:

- Parques.
- Jardines.
- Campos de golf.
- Separadores de grandes vías.
- Zonas verdes alrededor de edificaciones comerciales, ejecutivas e industriales.
- Zonas verdes alrededor de residencias.

Muchos de los proyectos de irrigación ornamental incluyen sistemas duales de distribución: una red para agua potable y otra para agua tratada. Los sistemas de distribución de agua reciclada ocupan el tercer lugar en utilidad después de los sistemas de aguas residuales y agua potable; son operados,

mantenidos y administrados en la misma forma que los sistemas de agua potable. El sistema de distribución dual municipal mas antiguo de Estados Unidos se encuentra en St. Petersburg, Florida. El sistema provee agua reciclada para una gran variedad de usos, incluyendo una planta recuperadora de recursos y la irrigación de parques escolares, un estadio de baseball, jardines residenciales, centros comerciales y parques industriales.

3.6.5.3. Reutilización industrial.

La reutilización de aguas residuales tratadas, en procesos industriales o como agua de enfriamiento, se hace en muchas localidades a lo largo de Estados Unidos. La industria ha hecho uso del agua reciclada principalmente para procesos de enfriamiento, procesamiento del agua de alimentación de calderas, e irrigación y mantenimiento de suelos de las plantaciones. El enfriamiento del agua, tanto para torres como para estanques de enfriamiento, crea la mayor demanda de agua en muchas industrias y es la principal aplicación industrial. Los aspectos de consideración

en el uso del agua para su enfriamiento incluyen incrustaciones, corrosión, crecimiento biológico y obstrucciones.

3.6.5.4. Lagos recreacionales.

Los lagos recreacionales pueden servir para una variedad de funciones, desde estéticas, uso sin contacto, hasta pesca, remo y natación. El nivel de tratamiento requerido varía con la intención del uso y el grado del contacto público. La apariencia de agua tratada también es un aspecto de importancia, ya que los nutrientes presentes en el agua reciclada estimulan el crecimiento de algas y plantas acuáticas. En general, la remoción de fósforo y posiblemente de nitrógeno, es necesaria para prevenir el crecimiento de las algas en los lagos recreacionales. Sin el control de nutrientes, existe un alto potencial de florecimiento de algas, de las cuales resultan malos olores, mala apariencia y condiciones eutróficas.

Las represas de aguas recicladas pueden ser incorporadas en los desarrollos ornamentales urbanos. Los lagos

artificiales, así como los campos de golf, pueden ser surtidos con agua reciclada.

3.6.5.5. Recarga de aguas subterráneas.

La recarga de aguas subterráneas provee una pérdida de identidad entre el agua reciclada y el agua subterránea. Esta pérdida de identidad tiene un impacto psicológico positivo cuando se planea la reutilización. Las restricciones y la poca voluntad de hacer uso de aguas recicladas pueden ser superadas por la recarga de aguas subterráneas y su subsecuente recuperación.

Algunos de estos propósitos para la recarga de aguas subterráneas son:

- Establecimiento de barreras contra la intrusión de aguas marinas.
- Provisión para futuros tratamientos y reutilización.
- Provisión para almacenamiento subterráneo.
- Aumento de acuíferos potables y no potables.
- Control o prevención de asentamientos del suelo.

La recarga de aguas subterráneas puede estar acompañada tanto de riego superficial como de inyección.

3.6.5.6. Humedales.

Los humedales naturales o artificiales pueden hacer uso del agua reciclada. Los humedales proveen muchas funciones de gran valor: atenuar inundaciones, brindar un hábitat para la vida salvaje y las aves acuáticas, proveer productividad para garantizar las cadenas alimenticias, recargar acuíferos, así como mejorar la calidad del agua. La diferencia entre un humedal “construido” y uno “creado” radica en que el humedal construido es concebido como una unidad de tratamiento que puede ser modificado o abandonado después de que su vida útil se haya cumplido. Por permanentes a la vida salvaje allí presente.

El agua purificada se ha utilizado por varias razones, dentro de las cuales se encuentran:

- Creación, restauración y mejoramiento del hábitat.

- Provisión para tratamientos adicionales previos a la descarga al agua receptora.
- Una alternativa de disposición para el agua reciclada en tiempos húmedos.

3.6.5.7. Usos varios.

Existe una gran variedad para el agua recuperada, entre ellos están:

- Descarga de sanitarios.
- Abastecimiento de lavanderías públicas o comerciales.
- Lucha contra incendios.
- Agua para la construcción.
- Limpieza de alcantarillados sanitarios.
- Fabricación de nieve.
- Limpieza de agregados y elaboración de concreto.

CAPÍTULO 4

4. SISTEMAS DE HUMEDALES ARTIFICIALES

4.1. Introducción

La depuración de las aguas residuales urbanas, industriales, lluvias y agrícolas es uno de los retos ecológicos más importantes hoy en día. La denominada "fitodepuración" aprovecha la capacidad de reducir o eliminar contaminantes de algunas plantas presentes en los humedales, por medio de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos. En el capítulo anterior reseñamos las generalidades de este tipo de sistema de tratamiento, en el presente describiremos con detalle por ser objeto del presente trabajo el diseño de un sistema de humedal de flujo libre.

Existen una serie de plantas acuáticas que ejercen una depuración directa de sustancias contaminantes, como nitratos y fosfatos, o microorganismos patógenos. Los carrizos, juncos, enneas o esparganios son plantas acuáticas de los humedales capaces de degradar la materia orgánica del entorno. En este sentido, actúan a

manera de filtro, como sumidero de sedimentos y precipitados, y como motor biogeoquímico que recicla y transforma nutrientes.

No obstante, a pesar de su poder depurador, los expertos no aconsejan el tratamiento de aguas residuales mediante *humedales naturales*, debido a su grave impacto medioambiental y a la posibilidad de contaminar los acuíferos y ecosistemas circundantes. Por ello, los científicos han desarrollado humedales artificiales, que reproducen el ecosistema de un humedal natural pero acelerando los procesos físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de las aguas residuales.

Los *humedales artificiales* suelen consistir en estanques o canales de poca profundidad, normalmente de menos de un metro, donde se ubican las especies vegetales acuáticas encargadas de los procesos naturales de depuración. Estas instalaciones cuentan además con canalizaciones y sistemas de aislamiento del suelo para no contaminar los ecosistemas adyacentes.

Las ventajas de los humedales artificiales son diversas, entre las cuales se pueden citar: Integración en el medio ambiente de manera natural, por lo que su impacto visual es bajo; capacidad depuradora

eficaz de aguas residuales con contaminación principalmente orgánica; así como costos bajos y un mantenimiento sencillo. Su uso es especialmente adecuado para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas poblaciones, que suelen ofrecer un bajo costo del terreno y mano de obra poco tecnificada. Así mismo, el aumento de estos sistemas naturales de depuración puede dar lugar a una importante actividad agrícola futura, basada en el desarrollo de cultivos específicos de este tipo de plantas.

No obstante, los humedales artificiales también cuentan con una serie de limitaciones, como la necesidad de amplias superficies de terreno, y otras que serán abordadas mas adelante.

Los humedales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o tipo de vegetación presente. La mayoría de los humedales naturales son sistemas de flujo superficial en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera; estos incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), las zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y plantas macrófitas emergentes).

4.2. Componentes del Humedal.

En un diseño correcto de un humedal deben tenerse en cuenta ciertos aspectos importantes como el agua, substrato y plantas emergentes, los microorganismos e invertebrados acuáticos se desarrollan de manera natural. A continuación se citan los componentes de los humedales con sus características:

4.2.1. Agua.

Lo más probable es que se formen humedales en donde exista acumulación de agua directamente sobre el terreno y en donde exista una capa del subsuelo que sea relativamente impermeable para evitar la filtración.

La hidrología es uno de los factores mas importantes en un humedal ya que reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del mismo.⁹

La hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales, sin embargo difiere en aspectos relevantes como por ejemplo, pequeños cambios en la hidrología pueden tener importancia en la efectividad del tratamiento, debido al área superficial del agua y su poca

profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie del agua y a través de la transpiración de las plantas), la densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces y rizomas, y luego bloqueando la exposición al viento y el sol.

4.2.2. Substrato.

Los substratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas, el substrato, sedimentos y restos de la vegetación son importantes por varias razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- El substrato sirve para que muchos contaminantes sean almacenados.

- Transformaciones químicas y biológicas (microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

Las características físicas y químicas del suelo y otros sustratos se alteran cuando se inundan. En un sustrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno de la atmósfera, puede darse lugar a la formación de un sustrato anóxico, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.¹⁰

4.2.3. Vegetación.

El principal beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema

(tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de aguas bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y elementos de traza, y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del substrato.¹¹
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos (juncos de laguna). De igual forma existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales que se encuentran en Europa. Cuando se diseñan sistemas que específicamente buscan un aumento en el hábitat, además de conseguir el tratamiento del agua residual, usualmente incluyen una gran variedad de plantas, especialmente para proporcionar alimentación y nido a las aves y otras formas de vida acuática.

La espadaña (*typha*) es robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, y se propaga fácilmente, por lo que representa una especie de planta ideal para un humedal artificial. También, es capaz de producir biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de Nitrógeno y Fósforo por la vía de la poda y la cosecha. Los rizomas de espadaña plantados a intervalos de aproximadamente 60cm. pueden producir una cubierta densa en menos de un año, tiene una relativamente baja penetración en grava de 30cm. por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial.

En las figuras 4.1 y 4.2 se aprecian este tipo de plantas (espadañas).



Figura. 4.1

Fuente: Ingeniero Jaime Andrés Lara Borrero, Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales, Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999.



Figura.4.2

Fuente: Ingeniero Jaime Andrés Lara Borrero, Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales, Tesis De Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999

Los juncos (*scirpus*) pertenecen a la familia de las ciperáceas, son perennes y crecen en grupos. Son plantas que crecen en un rango diverso de aguas interiores y costeras, pantanos salobres y humedales. Los juncos son capaces de crecer bien en agua desde 5cm a 3m de profundidad, las temperaturas deseables son entre 16° a 27°C. Se encuentran juncos creciendo en un pH de 4 a 9, la mayoría de las especies tienen un crecimiento moderado y pueden lograr un buen cubrimiento en alrededor de un año con separaciones de 30cm. Algunas variedades crecen más rápido y pueden cubrir en un año con un espaciamiento algo menor (entre 30cm. y 60 cm.). Existen algunas variedades de *scirpus*, en las figuras 4.3 y 4.4 se mostrarán 2 tipos:



Figura. 4.3

Fuente: Ingeniero Jaime Andrés Lara Borrero, Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales, Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999

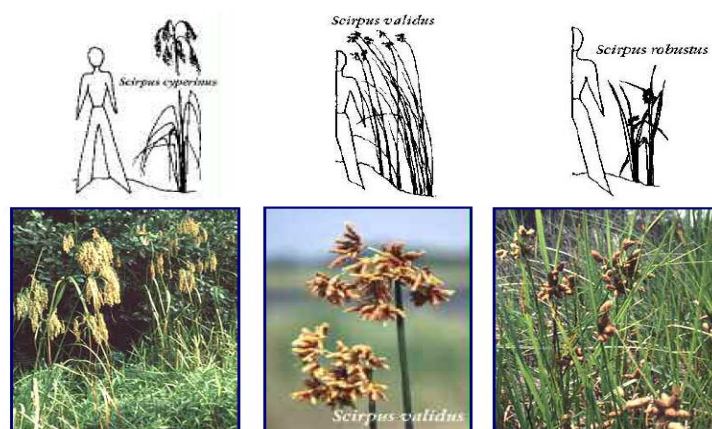


Figura. 4.4

Fuente: Ingeniero Jaime Andrés Lara Borrero, Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales, Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999

Las phragmites son plantas anuales y altas con un rizoma perenne extenso, logran un muy buen cubrimiento en un año con separación de 60cm. En Europa se han usado carrizos y han sido plantas acuáticas emergentes más extendidas. Los sistemas que utilizan carrizos pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque los rizomas penetran verticalmente, y más profundamente que los de las espadañas, aunque menos que los juncos que es aproximadamente 40cm. Los carrizos muy usados para humedales artificiales porque presentan la ventaja de que tienen un bajo valor alimenticio, y por tanto, no se ven atacadas por animales como otros tipos de

plantas. En las figuras 4.5 y 4.6 se aprecian este tipo de plantas:



Figura. 4.5

Fuente: Ingeniero Jaime Andrés Lara Borrero, Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales, Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999



Figura. 4.6

Fuente: Ingeniero Jaime Andrés Lara Borrero, Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales, Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999

En la tabla 4.1 se muestra información sobre parámetros medioambientales de algunas de estas plantas:

Familia	Nombre latino	Nombres comunes más usuales	Temperatura, °C		Máxima salinidad tolerable, ppt	Rango efectivo de pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
Ciperáceas	<i>Carex sp.</i>	-	14-32			5-7,5
	<i>Eleocharis sp.</i>	-				
	<i>Scirpus lacustris L. (*)</i>	Junco de laguna	18-27		20	4-9
Gramíneas	<i>Glyceria fluitans (L.) R. Br.</i>	Hierba del maná				
	<i>Phragmites australis (Cav) Trin. ex Steudel (*)</i>	Carrizo	12-23	10-30	45	2-8
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Lirio amarillo, espadaña fina				
Juncáceas	<i>Juncus sp.</i>	Juncos	16-26		20	5-7,5
Tifáceas	<i>Thypha sp (*)</i>	Eneas, aneas, espadañas.	10-30	12-24	30	4-10

(*)Especie más utilizada entre todas

Tabla 4.1. Parámetros medioambientales de las plantas típicas usadas en los humedales

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

4.2.4. Microorganismos.

Una de las principales características de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

La actividad microbiana transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, altera las condiciones de potencial redox del substrato y así afecta la capacidad del proceso del humedal, además esta actividad está involucrada en el reciclaje de nutrientes. Algunas transformaciones microbianas requieren oxígeno libre (aeróbicas) y otras no requieren oxígeno libre (anaeróbicas). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando ¹²se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan, inclusive durante años. La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales

sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

4.2.5. Animales.

Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados. Los invertebrados como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentado el detritus al consumir materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia durante sus fases larvales.

Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, los humedales construidos también atraen a una gran variedad de anfibios, tortugas y mamíferos. Los humedales construidos atraen también variedad de pájaros e incluso patos silvestres.

4.3. Tipos de Humedales artificiales.

Básicamente se diferencian 2 tipos básicos de humedales artificiales, según el tipo de planta y la localización de su sistema radicular (el conjunto de las raíces): Enraizadas en el suelo del humedal (sistemas de flujo superficial) o en lechos de grava o arena por los que se hace

circular el agua residual (sistema subsuperficial). A continuación se definirá de manera más detallada el concepto y funcionamiento de cada uno, así como también sus respectivas ventajas y desventajas.

4.3.1. Humedales de Flujo Libre.

Se definen como humedales artificiales de flujo libre superficial (HAFL) aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. La mayoría de los humedales naturales son sistemas HAFL. La observación de la mejora en la calidad del agua en humedales naturales llevó al desarrollo de humedales artificiales para tratar de reproducir en ecosistemas construidos los beneficios de calidad del agua y hábitat. La mayoría de los humedales artificiales HAFL son praderas inundadas, pero se tienen también algunos ejemplos de fangales y zonas pantanosas. En los humedales HAFL el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga. En algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal. Un diagrama de un humedal HAFL se presenta en la Figura 4.7.

Existen pocos ejemplos del uso de humedales naturales para tratamiento de aguas residuales en los Estados Unidos. Dado que toda descarga a humedales naturales debe cumplir con los requisitos del permiso de descarga del Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES), estos humedales se usan normalmente para tratamiento avanzado o refinamiento terciario. Las metas de diseño de los humedales construidos van desde un uso dedicado exclusivamente a las funciones básicas de tratamiento hasta sistemas que proporcionan tratamiento avanzado y/o en combinación con mejoras del hábitat de la vida silvestre y oportunidades para la recreación pública.

El tamaño de los sistemas de humedales HAFL va de pequeñas unidades para tratamiento en el sitio de efluentes de tanques sépticos hasta grandes unidades de más de 16,888 hectáreas (40,000 acres). En la actualidad un extenso sistema es utilizado para tratar el fósforo en escorrentía pluvial agrícola en Florida.

Los humedales en operación en los Estados Unidos diseñados para el tratamiento de aguas residuales tienen un rango de

menos de 3,785 litros por día (1,000 galones por día) hasta más de 75,708 m³/d (20 millones de galones por día).

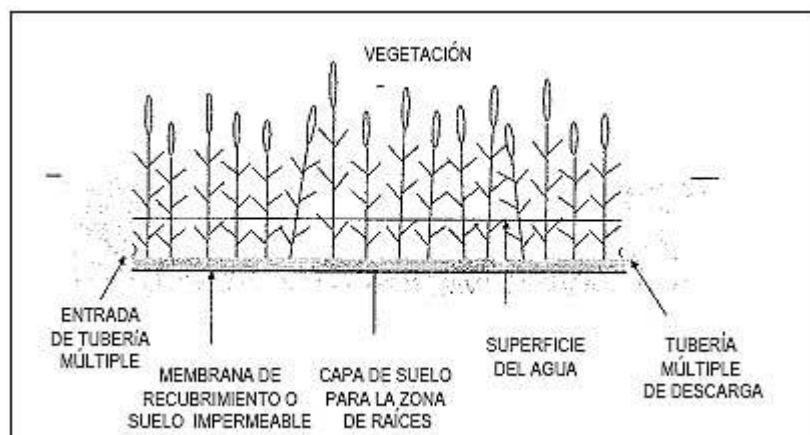


Figura 4.7. Humedal de Flujo Libre Superficial

Fuente: Adaptado de un dibujo de S.C. Reed, 2000

Los humedales artificiales HAFSL consisten normalmente de una o más cuencas o canales de poca profundidad que tienen un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación al agua freática susceptible a contaminación, y una capa sumergida de suelo para las raíces de la vegetación macrófita emergente seleccionada. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección. La vegetación emergente más comúnmente utilizada en humedales FSL incluye las espadañas y aneas (*Typha* spp.), los juncos (*Scirpus* spp.) y los carrizos (*Phragmites* spp.). En sistemas diseñados

principalmente para tratamiento, es común que sólo se seleccionen una o dos especies para la siembra. La cubierta vegetal producida por la vegetación emergente da sombra a la superficie del agua, previene el crecimiento de algas y reduce la turbulencia inducida por el viento en el agua que fluye por el sistema. Quizás aún más importante son las porciones sumergidas de las plantas vivas, los ramales erguidos de las plantas muertas, y los detritos acumulados del crecimiento vegetal previo. Estas superficies sumergidas proporcionan el sustrato físico para el crecimiento de organismos adheridos que son responsables por la mayoría del tratamiento biológico en el sistema. La profundidad del agua en las porciones con vegetación de estos sistemas va desde unas pocas pulgadas hasta más de dos pies.

El afluente a estos humedales se distribuye sobre un área extensa de agua somera y vegetación emergente. La lenta velocidad que se produce y el flujo esencialmente laminar proporcionan una remoción muy efectiva del material particulado en la sección inicial del sistema. Este material particulado, caracterizado como sólidos suspendidos totales (SST), contiene componentes con una demanda bioquímica de

oxígeno (DBO), distintos arreglos de nitrógeno total y fósforo total, trazas de metales y compuestos orgánicos más complejos. La oxidación o reducción de esas partículas libera formas solubles de DBO, nitrógeno total y fósforo total al medio ambiente del humedal en donde están disponibles para la absorción por el suelo y la remoción por parte de las poblaciones microbianas y vegetales activas a lo largo del humedal. El oxígeno está disponible en la superficie del agua, en microzonas de la superficie de plantas vivas y en superficies de raíces y rizomas, lo cual permite que se produzca actividad aeróbica en el humedal. Se puede asumir, sin embargo, que la mayor parte del líquido en el humedal HAFL es anóxico o anaeróbico. Esta falta general de oxígeno limita la remoción biológica por nitrificación del amoníaco ($\text{NH}_3/\text{NH}_4 - \text{N}$), pero los humedales HAFL sí son efectivos en cuanto a la remoción de DBO, SST, metales y algunos contaminantes orgánicos prioritarios dado que su tratamiento puede ocurrir bajo condiciones aeróbicas y anóxicas.

Si la remoción de nitrógeno y/o la mejora de hábitat de vida silvestre son un objetivo del proyecto, debe considerarse el alternar zonas someras con vegetación emergente con zonas

más profundas (más de 1.83 m o dos pies) que contengan vegetación sumergida seleccionada. Las zonas de mayor profundidad proporcionan una superficie de agua expuesta a la atmósfera para la reaireación, y la vegetación sumergida proporciona oxígeno para la nitrificación. Las zonas más profundas también atraen y retienen una gran variedad de vida silvestre, en particular patos y otras aves acuáticas. Este concepto, utilizado en Arcata, California, y en Minot, North Dakota, puede proporcionar un tratamiento excelente durante todo el año en climas cálidos, y en forma estacional en climas más fríos en los cuales se presentan bajas temperaturas y formación de hielo. El tiempo hidráulico de retención (THR) en cada una de estas zonas de superficie del agua expuesta debe limitarse a aproximadamente tres días para prevenir la re-emergencia de las algas.

Estos sistemas siempre deben iniciarse y terminar con zonas someras de vegetación emergente para asegurar la retención y el tratamiento de material particulado y para minimizar la toxicidad a la vida silvestre en las zonas de agua expuestas. El uso de humedales construidos HAFL ha aumentado significativamente desde finales de la década de 1980. Estos

sistemas se encuentran distribuidos extensamente en los Estados Unidos y se encuentran en cerca de 32 estados.

En los Estados Unidos es rutinario el proporcionar algún tipo de tratamiento preliminar antes del humedal HAFL. El nivel mínimo aceptable es el equivalente al tratamiento primario, el cual puede lograrse con tanques sépticos, tanques Imhoff para sistemas de tamaño pequeño, o con lagunas profundas con un tiempo corto de retención. Cerca del 45 por ciento de los sistemas de humedales HAFL en operación usan lagunas facultativas como tratamiento preliminar, pero los humedales han sido también utilizados como continuación de otros sistemas de tratamiento.

Sistemas de humedales HAFL de retención completa del agua, sin descarga han sido usados en zonas áridas de los Estados Unidos en donde el agua se pierde completamente por la combinación de la percolación y la evapotranspiración. En estos sistemas se debe prestar atención a la acumulación a largo plazo de sales y otras substancias que pueden convertirse en tóxicas para la vida silvestre o las plantas en el sistema. Mientras que es imposible excluir la vida silvestre de los humedales HAFL, es prudente el minimizar su presencia hasta

cuando la calidad del agua sea cercana al nivel de tratamiento secundario. Esto puede lograrse limitando las zonas de agua expuesta en el trayecto final del sistema y usando masas densas de vegetación emergente en la porción inicial del humedal. El seleccionar vegetación con poco valor alimenticio para los animales o las aves también puede ser útil. En los climas más fríos, o en donde no se cuenta con áreas extensas, se pueden diseñar sistemas de humedales de menor tamaño para la remoción de DBO y SST.

Los humedales HAFL requieren un área relativamente extensa, especialmente si se requiere la remoción del nitrógeno o el fósforo. El tratamiento es efectivo y requiere muy poco en cuanto a equipos mecánicos, electricidad o la atención de operadores adiestrados. Los sistemas de humedales pueden ser los más favorables desde el punto de vista económico cuando el terreno está disponible a un costo razonable. Los requerimientos de terreno y los costos tienden a favorecer la aplicación de la tecnología de humedales HAFL en áreas rurales.

Los sistemas de humedales HAFL remueven en forma confiable la DBO, la demanda química de oxígeno (DQO) y los SST.

También pueden producir bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo con tiempos de retención suficientemente largos, los metales son también removidos eficazmente y se puede esperar también una reducción de un orden de magnitud en coliformes fecales. Además de las aguas residuales domésticas, los sistemas de HAFL son usados para tratamiento del drenaje de minas, escorrentía pluvial urbana, desbordes de drenajes combinados, escorrentía agrícola, desechos ganaderos, avícolas y lixiviados de rellenos sanitarios, y para efectos de mitigación.

Mecanismos de Remoción.

En los humedales artificiales de flujo libre se puede esperar una alta remoción de DBO y SST, junto con una remoción significativa de nitrógeno, metales, compuestos orgánicos traza y organismos patógenos. El grado de remoción depende por lo general del tiempo de retención y de la temperatura. Los mecanismos de remoción en operación se describen a continuación:

Remoción de DBO: La DBO soluble y particulada se remueve por medio de la actividad biológica y la adsorción sobre la

superficie de las plantas y de los detritos en la columna de agua. Las velocidades bajas y las plantas emergentes facilitan la floculación y sedimentación de la DBO particulada. Los sólidos orgánicos removidos por sedimentación y filtración ejercerán una demanda de oxígeno tal como lo hace la vegetación que decae. La remoción de DBO es por lo general del 60 al 80%.

Remoción de sólidos suspendidos totales (SST): Los principales mecanismos para la remoción de SST son la floculación y la sedimentación en el seno del líquido y la filtración en los intersticios de los detritos. La mayoría de los sólidos sedimentables se retiran dentro de los primeros 50 a 100 pies de la entrada.

La remoción óptima de los SST requiere lugares llenos de vegetación para facilitar la filtración, y así evitar que las algas crezcan de nuevo, las mismas que pueden tomar entre 6 a 10 días de tiempo de retención para ser eliminadas.

En la tabla 4.2 se pueden ver las remociones habituales de SST en este tipo de humedales.

Ubicación	DBO , mg/L		SST , mg/L	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Arcata, California	26	12	30	14
Benton, Kentucky	25,6	9,7	57,4	10,7
Cannon Beach, Oregon	26,8	5,4	45,2	8
Ft. Deposit, Alabama	32,8	6,9	91,2	12,6
Gustine, California	75	19	102	31
Iselin, Pensilvania	140	17	380	53
Listowel, Ontario	56,3	9,6	111	8
Ouray, Colorado	63	11	86	14
West Jackson Co., Mississippi	25,9	7,4	40,4	14,1

Tabla 4.2. Remociones típicas de SST en Humedales de Flujo Libre

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Remoción de nitrógeno: La remoción de nitrógeno se logra por medio de la nitrificación y la denitrificación. La asimilación de éste por parte de las plantas solo explica cerca del 10% de la remoción.

La nitrificación y la denitrificación son reacciones microbianas que dependen de la temperatura y del tiempo de retención. Los organismos nitrificantes necesitan oxígeno y una superficie adecuada para crecer, por esto no se encuentran presentes en cantidades significativas en los sistemas muy cargados (carga de DBO > 100 lb/ac-día) o en sistemas recién construidos con cubrimiento vegetal incompleto. Sobre la base de la experiencia en el campo con este tipo de humedales, se necesitarían una o dos estaciones de crecimiento para desarrollar suficiente vegetación que soporte la nitrificación microbiana. La

denitrificación requiere una cantidad adecuada de materia orgánica para convertir el nitrato a nitrógeno gaseoso, si las aguas residuales nitrificadas se aplican a este tipo de humedales, los nitratos se desnitrificarán con pocos días de retención.

La remoción de nitrógeno está limitada por la habilidad del sistema para llevar a cabo la nitrificación. Cuando el nitrógeno está presente en forma de nitrato, la remoción de nitrógeno es en general rápida y completa.

La remoción de nitrato depende de la concentración del mismo, del tiempo de retención y de la disponibilidad de materia orgánica. Dado que la columna de agua es prácticamente anóxica en muchos de los humedales de tratamiento de aguas residuales municipales, la reducción del nitrato ocurrirá en pocos días.

En la tabla 4.3 se muestran las remociones habituales de nitrógeno para humedales de flujo libre en ciertos lugares de los Estados Unidos.

Ubicación	Tipo de Efluente	DBO , mg/L		SST , mg/L	
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Arcata, California	Laguna de Oxidación	12,8	10		11,6
Iselin, Pensilvania	Laguna de Oxidación	30	13		
Jackson Bottoms, Oregon	Secundario	9,9	3,1		11,6
Listowel, Ontario	Primario	8,6	6,1	19,1	8,9
Pembroke, Kentucky	Secundario	13,8	3,35		11,6
Sacramento, California	Secundario	14,1	7,2	16,8	9,1

Tabla 4.3. Remociones típicas de N en Humedales de Flujo Libre en EE.UU.

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Remoción de fósforo: Los mecanismos principales para la remoción de fósforo en los sistemas de flujo libre son la adsorción, la precipitación química y la asimilación por parte de las plantas, la cual es rápida. Sin embargo, a medida que las plantas mueren, liberan fósforo, de manera que a largo plazo la remoción es baja. La remoción del fósforo depende de la interacción del suelo y del tiempo de retención. En sistemas con cero descargas o tiempos de retención, el fósforo será retenido en el suelo o en las zonas de las raíces. En el flujo através de los humedales con tiempos de retención entre 5 a 10 días, la remoción del fósforo excederá rara vez 1 a 3mg/l. Dependiendo de las condiciones ambientales dentro del humedal, el fósforo, así como otros constituyentes, puede liberarse durante ciertas épocas del año, generalmente en respuesta a las condiciones

que se han modificado dentro del sistema, tales con el cambio en el potencial de oxido reducción.

Remoción de metales: Se espera que la remoción de los metales pesados sea muy parecida a la del fósforo, aunque actualmente hay pocos datos disponibles de estos mecanismos de remoción. Entre estos mecanismos están la absorción, sedimentación, precipitación química y asimilación vegetal. Así como con el fósforo, los metales pueden ser liberados durante ciertas épocas del año, por lo general debido a cambios en el potencial de oxido reducción dentro del sistema.¹³

Remoción de constituyentes orgánicos traza: Aunque la disponibilidad de datos es muy limitada, en este tipo de humedales se han reportados remociones del 88 al 99%, entre los mecanismos de remoción se incluyen la volatilización, la adsorción y la biodegradación.

Remoción de organismos patógenos: Las bacterias patógenas y los virus se remueven de los humedales artificiales por absorción, sedimentación, predación y muerte debido a la

exposición a los rayos ultravioleta de la luz solar y a temperaturas poco favorables. Se han reportado remociones de coliformes fecales de hasta el 99% en ciertos lugares. En la tabla 4.4 se muestra la remoción de coliformes fecales de algunos humedales de flujo libre.

Ubicación	Unidad	Afluente	Efluente	Tiempo de retención, d
Iselin, Pensilvania; eneas y pastos				
Estación de invierno	No./ 100mL	1,7x10	4,3x10	6
Estación de verano	No./ 100mL	1,0x10	723	6
Arcata, California; juncos				
Estación de invierno	No./ 100mL	4,3x10	900	1,9
Estación de verano	No./ 100mL	1,8x10	80	1,9
Listowel, Ontario; eneas				
Estación de invierno	No./ 100mL	5,56x10	1,4x10	7 a 14
Estación de verano	No./ 100mL	1,98x19	400	7 a 14

Tabla 4.4. Remoción de coliformes fecales en HAFL

Fuente: George Tchobanoglous, Sistema de manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

Ventajas.-Entre las principales ventajas de los humedales de *flujo libre superficial* (HAFL) tenemos las siguientes:

- Los humedales HAFL proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores adiestrados.
- Los humedales HAFL pueden ser menos costosos de construir, operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento.

- La operación a nivel de tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los climas más fríos.
- La operación a nivel de tratamiento terciario avanzado es posible durante todo el año en climas cálidos o semicálidos.
- Los sistemas de humedales proporcionan una adición valiosa al "espacio verde" de la comunidad, e incluye la incorporación de hábitat de vida silvestre y oportunidades para recreación pública.
- Los sistemas de humedales HAFL no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.

La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles puede ser también efectiva con un tiempo de retención significativamente mayor.

Desventajas.-Entre las principales desventajas de los humedales de *flujo libre superficial* (HAFL) tenemos las siguientes:

- La remoción de DBO, DQO y nitrógeno en los humedales son procesos biológicos y son esencialmente continuos y renovables. El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
- Las necesidades de terreno de los humedales HAFL pueden ser grandes, especialmente si se requiere la remoción de nitrógeno o fósforo.
- En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables por la nitrificación y desnitrificación. Un aumento en el tiempo de retención puede compensar por la reducción en esas tasas pero el incremento en el tamaño de los humedales en climas extremadamente fríos puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico, este problema no existirá en este caso debido a la localización del proyecto donde se haya un clima cálido.
- La mayoría del agua contenida en los humedales artificiales HAFL es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco. El aumento del tamaño del humedal, y consecuentemente, el tiempo de retención puede

hacerse en forma compensatoria, pero puede no ser eficiente en términos económicos.

- Los mosquitos y otros insectos vectores de enfermedades pueden ser un problema.
- La población de aves en un humedal HAFL puede tener efectos adversos si un aeropuerto se encuentra localizado en la vecindad.

Los humedales artificiales HAFL pueden remover coliformes fecales del agua residual municipal, al menos en un orden de magnitud. Esto no siempre es suficiente para cumplir con los límites de descarga en todas las localidades, por lo cual podría requerirse desinfección subsiguiente. La situación puede complicarse aun más debido a que las aves y otras especies de vida silvestre producen coliformes fecales.

4.3.2. Humedales de Flujo Subsuperficial.

Un humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFS) está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento, y está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado.

Un ejemplo de este tipo de humedal se muestra en la Figura 4.8. La grava es el medio más utilizado tanto en los Estados Unidos como en Europa, aunque también se ha utilizado roca triturada, arena y otro tipo de materiales del suelo.

El medio se planta normalmente con los mismos tipos de vegetación emergentes presentes en las ¹⁴praderas inundadas y, por diseño, el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio.

Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son la prevención de mosquitos y olores y la eliminación del riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada.

En contraste, la superficie del agua en los pantanales naturales y en los humedales artificiales de flujo libre superficial.

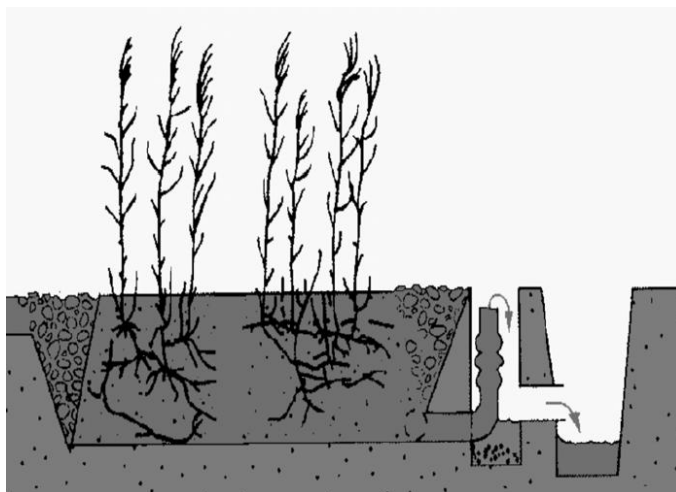


Figura. 4.8. Esquema típico de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial

Fuente: Environmental Protection Agency *EPA*, Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Humedal de flujo libre subsuperficial, 2000

La mejora en calidad del agua en humedales naturales ha sido observada por científicos e ingenieros durante muchos años, y ha llevado al desarrollo de humedales artificiales para duplicar en ecosistemas construidos los beneficios de calidad del agua y hábitat de los humedales naturales. Se considera que las reacciones biológicas se deben a la actividad de los microorganismos adheridos a las superficies disponibles de sustrato sumergido. En el caso de los humedales de flujo libre superficial esos sustratos son las porciones sumergidas de las plantas vivas, los detritos vegetales, y la capa béntica del suelo.

En humedales de flujo subsuperficial el sustrato sumergido disponible incluye las raíces de las plantas y la superficie misma del medio. Dado que el área de sustrato en un humedal de flujo subsuperficial puede sobrepasar por mucho el sustrato disponible en humedales de flujo libre, las tasas de reacción microbiana también pueden ser mayores en humedales de flujo subsuperficial.

Las metas de diseño de este tipo de humedales son exclusivamente las de tratamiento porque la posibilidad del proporcionar hábitat de vida silvestre y recreación pública es muy limitada. El tamaño de estos sistemas va desde pequeñas unidades para el tratamiento en el sitio de efluentes de tanques sépticos hasta un sistema doméstico de tratamiento de aguas residuales con una capacidad de aproximadamente 4 millones de galones al día, mgd (Louisiana, US). La mayoría de los sistemas municipales están precedidos por lagunas de tratamiento aireadas o facultativas. El caudal de sistemas pequeños para el tratamiento de aguas residuales, como para colegios, viviendas, locales comerciales, entre otros, va de cientos de galones por día a miles de galones por día; el tipo predominante de pretratamiento proporcionado es el de tanque

sépticos. Los costos del medio de roca o de grava son más altos y hacen que el uso de sistemas de humedales de este tipo sea alto en relación a los de flujo libre superficial.

Los sistemas de flujo subsuperficial también reciben en Estados Unidos el nombre de rock-reed filtros, microbial rock plant filtros, vegetated submerged beds, marsh beds, tule beds e hydrobotanical systems. En Alemania, un tipo similar que utiliza suelo nativo y juncos se conoce como el método de la *zona de raíces*. Los sistemas de flujo subsuperficial tienen la ventaja de que necesitan áreas de tierra menores y evitan los problemas de olores y mosquitos como se mencionó anteriormente.

Los humedales de flujo subsuperficial ocupan menos espacio y generalmente tienen pendientes que varían de 0 a 0.5%. Si los suelos son permeables, puede ser necesario instalar un recubrimiento por debajo del lecho del medio. El tamaño de la grava oscila entre 0.12 y 1.25 pulgadas, y en la zona de la entrada es de 2 pulgadas de largo. La zona de entrada debe tener un medio con el diámetro más grande para disminuir el potencial de obstrucción.

Los humedales de flujo subsuperficial normalmente incluyen una o más cuencas o canales de poca profundidad de fondo recubierto para prevenir la percolación a la capa freática susceptible a la contaminación. El tipo de recubrimiento depende de las condiciones locales. En algunos casos la compactación del suelo local es adecuada, mientras que en otros se debe traer arcilla o utilizar recubrimiento de membranas plásticas (PVC o PEAD).

Las estructuras de entrada y descarga se emplean para asegurar la distribución adecuada y la recolección uniforme del agua residual aplicada. El método más comúnmente utilizado en los sistemas de menor tamaño consiste de una tubería múltiple perforada. La profundidad del medio en estos humedales tiene un rango de 30 a 90 cm., siendo el valor más común el de 60cm.

Los humedales están mejor adaptados para aplicaciones de tamaño pequeño y mediano (<227000 lt/día) y en sistemas de mayor tamaño en los cuales se tiene un potencial significativo de contacto con el público. Su uso en sistemas de tratamiento en el punto de origen proporciona un efluente de alta calidad

para la aplicación al terreno, y en algunos estados las autoridades permiten una reducción significativa en el terreno requerido para disposición final del efluente. Este tipo de humedales remueven en forma confiable la DBO, DQO y los SST, y con tiempos de retención suficientemente largos también pueden producir bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo. Los metales son también removidos eficazmente y se puede esperar también una reducción de un orden de magnitud en coliformes fecales en sistemas diseñados para producir efluentes de tratamiento secundario o avanzado.

Los modelos de diseño de humedales de *flujo subsuperficial* han estado disponibles en publicaciones desde finales de la década del 80. Trabajos más recientes, hechos a mediados y finales del 90 se basan en reacciones cinéticas de primer orden para flujo en pistón. En la Tabla 4.5 se puede observar valores típicos para las tasas de carga superficial.

Constituyente	Concentración típica del afluente (mg/L)	Meta de tratamiento del efluente (mg/L)	Tasa de carga contaminante (libras/acres-día)
Carga hidráulica (pulgadas por día)	3 a 12**		
DBO	30 a 175	10 a 30	60 a 140
SST	30 a 150	10 a 30	40 a 150
Nitrógeno como NH ₃ /NH ₄	2 a 35	1 a 10	1 a 10
Nitrógeno como NO ₃	2 a 10	1 a 10	3 a 12
Nitrógeno total	2 a 40	1 a 10	3 a 11
Fósforo Total	1 a 10	0,5 a 3	1 a 4

Tabla 4.5. Tasas de carga superficial en Humedales de Flujo subsuperficial
Fuente: Reed et al., 1995 y U.S. EPA, 1993.

El tamaño de los humedales de flujo subsuperficial es determinado por el contaminante que requiere la mayor área para su remoción. Esta es la superficie del fondo de las celdas del humedal, y para que sea efectiva en un 100%, la distribución del flujo del agua residual debe ser uniforme en toda a superficie. Esto es posible con humedales artificiales mediante un gradiente de fondo cuidadosamente seleccionado y el uso de estructuras apropiadas de entrada y descarga. El área total de tratamiento debe ser dividida entre al menos dos celdas en todos los sistemas con excepción de los más pequeños. Los sistemas de mayor tamaño deben tener al menos dos trenes de tratamiento paralelos con celdas para proporcionar flexibilidad de manejo y mantenimiento.

Los sistemas de humedales son ecosistemas vivos en los cuales los ciclos de vida y muerte de la biota produce residuos que pueden ser medidos en función de DBO, SST, Nitrógeno, Fósforo y Coliformes Fecales. Como resultado, y en forma independiente del tamaño del humedal o las características del afluente, en estos sistemas siempre existen concentraciones naturales de esos materiales. La tabla 4.6 resume esas concentraciones naturales.

Constituyente	Unidades	Rango de concentración
DBO5	mg/L	1 a 10
SST	mg/L	1 a 6
Nitrógeno total	mg/L	1 a 3
Nitrógeno como NH ₃ /NH ₄	mg/L	menos de 0.1
Nitrógeno como NO ₃	mg/L	menos de 0.1
Fósforo total	mg/L	menos de 0.2
Coliformes fecales	NMP/100 mL	50 a 500

Tabla 4.6. Concentraciones naturales en Humedales de Flujo Subsuperficial

Fuente: Reed et al., 1995 y U.S. EPA, 1993.

Es necesario que el diseñador determine la temperatura del agua en el humedal porque la remoción de DBO y de varias formas de Nitrógeno, dependen de la temperatura. La temperatura del agua en sistemas con un tiempo hidráulico de retención extenso (mayor a 10 días) se acerca a la temperatura promedio del aire, con excepción de lugares en donde existen temperaturas bajo cero en periodos de invierno.

También es necesario considerar los aspectos hidráulicos del sistema porque a lo largo del humedal existe una considerable resistencia al flujo por fricción debido a la presencia del medio de grava, las raíces de las plantas y los detritos. El mayor impacto de esta resistencia al flujo se tiene en la configuración seleccionada para las celdas del humedal, a medida que la distancia de flujo aumenta la resistencia se hace mayor. Para evitar esos problemas hidráulicos se recomienda un cociente de longitud a ancho de 4 a 1, o menor. La ley de Darcy es

aceptada generalmente como el modelo para el flujo del agua en los humedales.

El flujo de agua a lo largo de las celdas del humedal depende del gradiente hidráulico en la celda, así como la conductividad hidráulica, el tamaño y la porosidad del medio utilizado.

En la Tabla 4.7 se presentan características típicas del medio a ser potencialmente utilizados en humedales de flujo subsuperficial, estos valores pueden ser utilizados para estimaciones preliminares y el diseño de sistemas muy pequeños. Para sistemas a mayor escala, el medio propuesto debe ser evaluado en forma experimental para determinar esos valores.

Tipo de medio	Tamaño efectivo	Porosidad, n	Conductividad hidráulica, k_s
	D10 (mm)*	(%)	($\text{pie}^3/\text{pie}^2/\text{d}$)*
Arena gruesa	2	28 a 32	300 a 3,000
Arena con grava	8	30 a 35	1,600 a 16,000
Grava fina	16	35 a 38	3,000 a 32,000
Grava mediana	32	36 a 40	32,000 a 160,000
Roca triturada	128	38 a 45	16×10^4 a 82×10^4

Tabla 4.7. Características del medio en Humedales de Flujo Subsuperficial

Fuente: Reed et al., 1995

En teoría el desempeño de un sistema de humedales de flujo subsuperficial puede estar influenciado por factores hidrológicos. Tasas elevadas de evapotranspiración pueden

aumentar las concentraciones del efluente pero también aumentar el tiempo hidráulico de retención del humedal. Tasas altas de precipitación pluvial pueden diluir la concentración de contaminantes pero también reducir el tiempo hidráulico de retención del humedal. En la mayoría de las zonas templadas en un clima moderado estos efectos no son críticos para el desempeño, estos aspectos hidráulicos solo deben ser considerados para valores extremos de evapotranspiración y precipitación.

Mecanismos de Remoción.

Se puede esperar que los humedales de *flujo subsuperficial* produzcan un efluente de alta calidad en términos de DBO, SST y organismos patógenos. Los principales mecanismos de remoción son la conversión biológica, filtración física, sedimentación, precipitación química y la adsorción. Se deben esperar remociones menores de nitrógeno, fósforo, metales y elementos orgánicos traza, no así para la DBO y los SST. La remoción depende del tiempo de retención, las características del medio, las tasas de la carga y las practicas de manejo.

Remoción de DBO: La remoción de DBO se logra de forma biológica y física, principalmente bajo condiciones anaerobias (no requiere presencia de oxígeno libre). Sin embargo, los microorganismos facultativos convierten una parte de la DBO. La tasa de remoción se relaciona con el tiempo de retención y la temperatura.

En la Tabla 4.8 se presentan los datos para el desempeño de la remoción de DBO. Esta parece ser rápida y confiable, en parte porque las plantas en descomposición no se encuentran en la columna de agua, y, por consiguiente, producen menos materia orgánica en el efluente final.

Concentración, mg/L					
Ubicación	Tratamiento Preliminar	Afluente	Efluente	Remoción	Tiempo de retención,d
Benton, Kentucky	Laguna de Oxidación	23	8	65	5
Mesquite, Nevada	Laguna de Oxidación	78	25	68	3,3
Santee, California	Primario	118	1,7	88	6
Sydney, Australia	Secundario	33	4,6	86	7

Tabla 4.8. Remoción de DBO para Humedales de Flujo Subsuperficial

Fuente: Reed et al., 1995

Remoción de sólidos suspendidos totales (SST): La falta de una superficie de agua libre en los humedales subsuperficiales evita las corrientes de aire y que los sólidos vuelvan a suspenderse, lo cual produce concentración potencial menor de

SST en el efluente. La mayoría de los sólidos se depositan o son atrapados en el 10 al 20% del tramo inicial del flujo en el lecho. Observaciones en varios sistemas de flujo subsuperficial en funcionamiento indican la obstrucción en la zona de la entrada, lo cual genera flujo subsuperficial en una porción del trayecto. Al parecer, la obstrucción es el resultado de cargas altas de sustancias orgánicas y sólidos en la zona de entrada del lecho. La obstrucción más severa ha ocurrido con lechos estrechos que reciben un efluente cargado de algas proveniente de lagunas facultativas. Las algas son atrapadas en el medio cerca de la entrada y las algas descompuestas añaden carga orgánica. Los humedales de flujo subsuperficial son eficientes en la remoción de sólidos suspendidos, con niveles usuales de SST en el efluente que se encuentra por debajo de 10 mg/l.

Remoción de Nitrógeno: La remoción de nitrógeno se realiza por nitrificación/denitrificación. Aunque los humedales de flujo subsuperficial tienen la capacidad de denitrificar el nitrógeno presente en forma de nitrato, lo que limita la remoción de nitrógeno es la etapa de nitrificación. El régimen de flujo subsuperficial es casi anaerobio, excepto a pocas pulgadas de

la superficie y de los lugares aerobios cercano a las raíces de las plantas.

La nitrificación requiere un suministro de oxígeno, bien sea de las raíces de las plantas, por reaireación superficial, por recirculación del efluente, o por la carga intermitente que induce el flujo de oxígeno en el medio entre las aplicaciones. Para la aireación complementaria se utilizan tubos ubicados justo debajo de la superficie que proveen oxígeno en cierto punto del flujo donde la DBO se ha reducido por debajo de 30 mg/l, de manera que las bacterias nitrificantes puedan utilizar dicho oxígeno. Los promedios de remoción de nitrógeno varían de entre el 20 al 70%. Cuando los tiempos de retención superan de 6 a 7 días, se puede esperar una concentración de nitrógeno total en el efluente cerca de 10 mg/l, suponiendo que la concentración de nitrógeno en el efluente es de 20 a 25mg/l. Si el agua residual aplicada se nitrificó (usando aireación extendida, riego superficial y recirculación en filtros de arena). La remoción de los nitratos por medio de la denitrificación se puede lograr con tiempos de retención de 2 a 4 días.

Remoción de Fósforo: Se requieren medios especiales para realizar una remoción efectiva del fósforo por adsorción. El fósforo puede liberarse durante ciertas épocas del año, en general en respuesta a los cambios de las condiciones ambientales dentro del sistema. Sin embargo, la remoción de fósforo en este tipo de sistemas es poco efectiva debido al contacto limitado entre los lugares de absorción y el agua residual que se aplica. Dependiendo de la tasa de carga, del tiempo de retención y de las características del medio, las remociones pueden variar entre el 10 al 40% para concentraciones de fósforo a la entrada entre 7 a 10 mg/l. La asimilación por parte de las plantas es en general de menos de 10% (aprox. 0.5 kg/ha-día).

Remoción de metales: Los mecanismos para la remoción de metales incluyen adsorción, sedimentación, precipitación química y su asimilación por parte de las plantas. Los metales pueden liberarse durante ciertas épocas del año, generalmente en respuesta a cambios en los potenciales de oxido-reducción dentro del sistema. Los datos sobre la remoción de metales de las aguas residuales municipales en humedales de flujo subsuperficial son limitados. En los sistemas de drenaje de

minas ácidas es significativa la remoción de hierro y manganeso. Datos experimentales demuestran que en un sistema de flujo subsuperficial en California, US la remoción de cobre, zinc y cadmio fue de 98% en promedio.

Remoción de compuestos orgánicos traza: La disponibilidad de datos es limitada, las remociones pueden variar de 88 a 99% (Reed et. Al, 1995). Los mecanismos de remoción incluyen la adsorción y biodegradación.

Remoción de organismos patógenos: La remoción de las bacterias y los virus se lleva a cabo por adsorción, filtración, sedimentación y predación. En Santee, California, se encontró una remoción de 99% de coliformes totales cuando se aplicó un efluente primario a 2 pulg/día (tiempo de retención de 6 días).

Ventajas.-A continuación se citarán las ventajas que se tendrían al diseñar y construir un sistema de humedal artificial con flujo subsuperficial:

- Proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores calificados.

- Pueden ser menos costoso para construir, así como su operación y mantenimiento puede ser menos costosa que los procesos mecánicos de tratamiento diseñados para un nivel equivalente de calidad de efluente.
- La operación a nivel de tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los lugares donde hay fríos extremos.
- La operación a nivel de tratamiento terciario es posible durante todo el año en climas cálidos o semicálidos. La configuración de los humedales proporciona una buena protección térmica.
- Este tipo de sistemas no produce biosólidos ni lodos residuales que requieran tratamiento subsiguiente y disposición.
- Son muy efectivos en la remoción de DBO, DQO, SST, los metales y algunos compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles es posible pero se requiere un mayor tiempo de retención.
- Los mosquitos y otros insectos vectores similares no son un problema con este tipo de humedales mientras se opere adecuadamente y el nivel subsuperficial del flujo se

mantenga. También se elimina el riesgo de que niños y mascotas estén expuestos al agua residual parcialmente tratada.

Desventajas.-A continuación se citarán las desventajas que se tendrían al diseñar y construir un sistema de humedal artificial con flujo subsuperficial:

- Este sistema requiere un área extensa en comparación con los sistemas mecánicos convencionales de tratamiento.
- La remoción de DBO, DQO y nitrógeno es un proceso continuo renovable. El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
- En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO, NH_3 y NO_3 . Un aumento en el tiempo de retención puede compensar por la disminución de las tasas pero el incremento en el tamaño de los humedales en climas extremadamente fríos puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico.
- La mayoría del agua contenida en los humedales de flujo subsuperficial es anóxica, limitando el potencial de nitrificación

del amoníaco del agua residual. El aumento de tamaño del humedal y el tiempo de retención puede hacerse como compensación, pero puede no ser eficiente en términos económicos. Métodos alternos de nitrificación en combinación con los humedales de este tipo han sido utilizados con éxito. Los humedales de flujo subsuperficial no pueden ser diseñados para lograr una remoción completa de compuestos orgánicos, SST, nitrógeno o bacterias coliformes. Los ciclos ecológicos en estos humedales producen concentraciones naturales de esos compuestos en el efluente.

- Los sistemas de humedales de flujo subsuperficial típicamente reducen al menos un orden de magnitud el contenido de coliformes fecales. Esto no es siempre suficiente para cumplir con los límites de descarga en todas las localidades, por lo cual podría requerirse desinfección subsiguiente, por ejemplo por medio de la luz ultravioleta.
- A pesar de requerir un área no muy extensa para la remoción de contaminantes, el precio de la grava puede dar como resultado costos de construcción más altos para sistemas con una capacidad mayor a 227,000 lt/día.

Los mecanismos básicos de tratamiento son los mencionados anteriormente, e incluyen sedimentación, adsorción,

precipitación química e interacción biológica con la DBO y el nitrógeno, así como la captación por parte de la vegetación. Si no se practica la poda se encuentra una fracción de vegetación que se descompone y que permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal. Los nutrientes y otras sustancias asociadas a esta fracción refractaria se considera que son eliminados permanentemente en el sistema. En la figura 4.9. se observan los principales procesos que se llevan a cabo en los humedales y que permiten la depuración del agua residual.

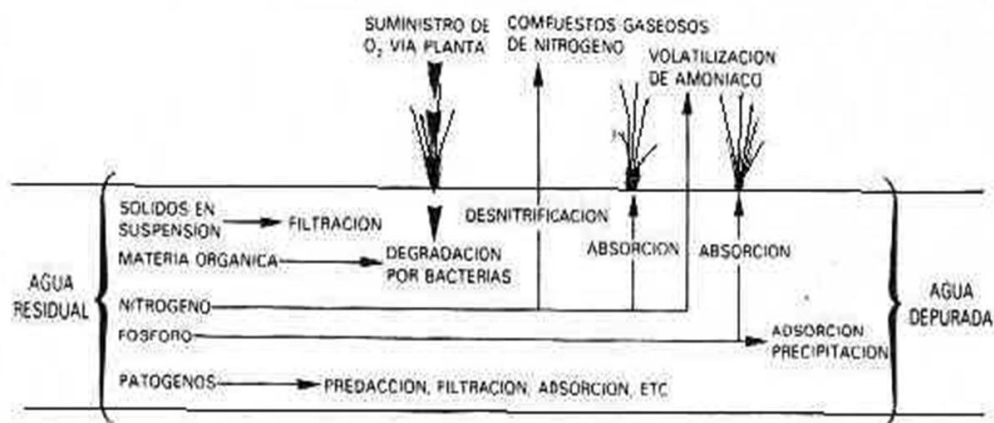


Figura. 4.9. Esquema típico de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial

CAPÍTULO 5

5. MODELO GENERAL DE DISEÑO PARA HUMEDALES

En el capítulo anterior se definió el concepto de lo que son los Humedales de Flujo Libre y de Flujo Subsuperficial, así como sus características y funcionamiento, en este capítulo se dará a conocer el procedimiento y cálculos que se deben realizar para poder diseñar sistemas de este tipo.

5.1. Diseño Hidráulico y Dimensionamiento.

Los sistemas de Humedales Artificiales son considerados como reactores biológicos y su rendimiento puede estimarse por medio de una cinética de primer orden para la remoción de DBO y nitrógeno. Algunos modelos de diseño varían según el autor, en este trabajo se consideran los que son mas convenientes para el caso.

Ecuación básica de reactores de flujo a pistón:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T t} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

C_e = Concentración del contaminante en el efluente, mg/l

C_o = Concentración del contaminante en el afluente, mg/l

K_T = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura, d^{-1}

t = Tiempo de retención hidráulica, d.

Este tiempo de retención hidráulica en el humedal puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{L.W.y.n}{Q} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

L = Largo de la celda del humedal, m.

W = Ancho de la celda del humedal, m.

y = Profundidad de la celda del humedal, m.

n = Porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal, porcentaje expresado como decimal.

Q = Caudal medio a través del humedal, m^3/d .

Q_e = Caudal de salida, m^3/d .

Q_o = Caudal de ingreso, m^3/d .

$$Q = \frac{Q_e + Q_o}{2} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Para compensar las pérdidas o ganancias de agua causadas por filtración o precipitaciones a lo largo del flujo del agua residual a través del humedal puede ser necesario calcular el caudal medio mediante la expresión anterior.

Un diseño conservador debe asumir que no existen pérdidas por filtración y adoptar una estimación razonable de las pérdidas por evapotranspiración y ganancias por lluvias de los registros históricos del lugar. Esto requiere una primera suposición del área superficial del humedal para poder calcular el agua extra que entra o sale. Por lo general se asume que el caudal de entrada y salida son iguales.

Combinando las ecuaciones 5.1 y 5.2 se puede determinar el área superficial del humedal de la siguiente manera:

$$A_s = LW = \frac{Q \cdot \ln(C_o / C_e)}{K_{tyn}} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal, m^2 .

El valor de K_T para las ecuaciones 5.1 y 5.4 depende del contaminante que se desea eliminar y de la temperatura.

El diseño hidráulico de un humedal es tan importante como el de los modelos que calculan la remoción de contaminantes, ya que estos modelos están basados en que se asume flujo a pistón con un flujo uniforme a través de la sección del humedal y con mínimos flujos preferenciales. Un diseño válido requiere tener en cuenta consideraciones hidráulicas y térmicas, así como la cinética de remoción. El procedimiento es usualmente iterativo y requiere asumir la profundidad del agua y la temperatura para resolver las ecuaciones cinéticas. De esta manera, se puede predecir el área de humedal requerida para la remoción de un contaminante. El contaminante que requiera la mayor área para su remoción, será el factor limitante en el diseño y controlará el tamaño del humedal. Una vez conocida el área, las ecuaciones térmicas pueden ser usadas para estimar la temperatura teórica del agua en el humedal, si este cálculo no coincide en el dato asumido al inicio se requerirá el número de iteraciones necesario hasta que estos valores converjan. El último paso es usar los cálculos hidráulicos apropiados para determinar la forma final (relación largo/ancho) y la velocidad de flujo en el humedal, asimismo, si estos valores difieren significativamente a los asumidos al comienzo para las ecuaciones de temperatura, se procederá a realizar nuevas iteraciones.

El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento. Todos los modelos de diseño que se usan en la actualidad asumen condiciones uniformes de flujo a pistón y que además no existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento. En un humedal de flujo subsuperficial este concepto es necesario para asegurar que las condiciones de flujo subsuperficial se mantengan en circunstancias normales durante todo el periodo de funcionamiento del sistema. Esto solo es posible a través de un cuidadoso diseño hidráulico y métodos constructivos apropiados.

El flujo a través del humedal debe superar la resistencia por fricción del mismo sistema. Esta resistencia es impuesta por la vegetación y la capa de sedimentos en los humedales de flujo libre, y el medio, las raíces de las plantas y los sólidos acumulados en los humedales de flujo subsuperficial. La energía necesaria para superar esta resistencia viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y salida del sistema. La mejor solución referente de construcción, es proveer al humedal de un fondo con una pendiente suficiente para permitir un buen drenaje cuando amerite y una salida de altura variable con el nivel del agua.

La relación largo-ancho tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. En teoría, grandes relaciones largo/ancho=10 o mayores asegurarían un flujo a pistón, pero tienen el inconveniente que en la parte alta se desbordan debido al incremento en la resistencia al flujo causado por la acumulación de residuos de vegetación, principalmente en sistemas de flujo libre, por tanto, relaciones de 1/1 hasta aproximadamente 3/1 o 4/1 son aceptables. Los cortocircuitos pueden ser minimizados con una cuidadosa construcción y mantenimiento del fondo del humedal, con el uso de múltiples celdas, y con la intercalación de zonas abiertas para la redistribución del flujo.

El flujo de agua en un Humedal de Flujo Libre es descrito por la ecuación de Manning que define el flujo en canales abiertos. La velocidad de flujo en el humedal es descrita por la ecuación 5.5, depende de la profundidad del agua, de la pendiente de la superficie del agua y de la densidad de la vegetación. Otras aplicaciones de la ecuación de Manning para canales abiertos suponen que la resistencia por fricción solamente ocurre en el fondo y en las paredes del canal. En los Humedales de Flujo Libre la resistencia está distribuida sobre la totalidad de la columna de agua, ya que las plantas emergentes y los restos de vegetación están presentes en todo el espacio. La ecuación

de Manning también asume flujo turbulento, lo que no es completamente válido pero es una aproximación aceptable.

$$v = \frac{1}{n} y^{2/3} s^{1/2} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Donde:

v = Velocidad de flujo, m/s.

n = Coeficiente de Manning, s/m^{1/3}

y = Profundidad del agua en el humedal, m.

s = Gradiente hidráulico, o pendiente de la superficie del agua, m/m.

Para los humedales, el número de Manning (n) es función de la profundidad del agua debido a la resistencia impuesta por la vegetación emergente. La resistencia también depende de la densidad de la vegetación y de la capa de residuos que puede variar según la localización o estación. La relación está definida por:

$$n = \frac{a}{y^{1/2}} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Donde:

a = Factor de resistencia, s.m^{1/6}

$a = 0.4 \text{ s.m}^{1/6}$ para vegetación escasa y $y > 40 \text{ cm}$.

$a = 1.6 \text{ s.m}^{1/6}$ para vegetación moderadamente densa con profundidades de agua residual de $y = 30 \text{ cm}$.

$a = 6.4 \text{ s.m}^{1/6}$ para vegetación muy densa y capa de residuos, en humedales $y \leq 30 \text{ cm}$.⁹

Por lo general, con vegetación emergente típica se asume para propósitos de diseño valores de a que varían entre 1 y 4.

Sustituyendo la ecuación 5.6 en la 5.5 se tiene lo siguiente:

$$v = \frac{1}{a} y^{7/6} s^{1/2} \quad \text{Ecuación 5.7}$$

Sustituyendo y reorganizando términos es posible llegar a una ecuación para determinar la longitud máxima de una celda de humedal.

$$v = \frac{Q}{Wy} \quad W = \frac{As}{L} \quad s = \frac{m \cdot y}{L}$$

Donde:

$Q =$ Caudal, m^3/d .

$W =$ Ancho de la celda de humedal, m .

$As =$ Área superficial de la celda de humedal, m^2 .

$L =$ Longitud de la celda de humedal, m .

$m =$ Pendiente del fondo del lecho, % expresado como decimal.

Sustituyendo en la ecuación 5.7 y reordenando se obtiene:

$$L = \left[\frac{As \cdot y^{8/3} \cdot m^{1/2} \cdot 86400}{a \cdot Q} \right]^{2/3} \quad \text{Ecuación 5.8}$$

El área superficial del humedal (A_s) se determina primero mediante el modelo de diseño de remoción del contaminante limitante. Por medio de la ecuación 5.8 se puede calcular de manera directa la longitud máxima aceptable de una celda de humedal compatible con el gradiente hidráulico seleccionado. Se recomienda usar el gradiente hidráulico más pequeño para tener una reserva en caso de ajustes futuros. Una relación largo-ancho $\leq 3:1$ suele ser la mejor selección desde el punto de vista costo eficiencia, pero otras combinaciones de longitud y gradiente hidráulico son posibles también de modo que se pueda ajustar la forma del humedal al sitio y su topografía.

El valor de la pendiente (m) usado en la ecuación, está típicamente entre el 10 y 30% de la pérdida de carga disponible. La máxima pérdida de carga disponible es igual al total de la profundidad del agua (y) del humedal cuando $m=100\%$. Este no sería un diseño conservador, porque el humedal podría estar seco al final y no tendría capacidad de reserva si la resistencia al flujo aumentara en el futuro.

El valor de Q en la ecuación 5.8 es el caudal promedio entre la entrada y la salida, para tener en cuenta las pérdidas o ganancias de agua debidas a la evapotranspiración, filtración y precipitación. Es usualmente aceptable para un diseño preliminar suponer que los

caudales de entrada y salida sean iguales. Para el diseño final del sistema será necesario tener en cuenta estas pérdidas y ganancias.

5.2. Diseño para la remoción de DBO.

En la ecuación 5.9 se puede aproximar la remoción de DBO en sistemas de esta categoría. El modelo es basado en la experiencia con sistemas de aplicación sobre el suelo y filtros percoladores.

$$\frac{C_e}{C_o} = A \cdot \exp \left[- \frac{0.7(K_T)(A_v)^{1.75}(L)(W)(y)(n)}{Q} \right]^2 \quad \text{Ecuación 5.9}$$

Donde:

C_e = Concentración de DBO en el efluente, mg/l

C_o = Concentración de DBO en el afluente, mg/l

A = Fracción de la DBO no removida como sólidos sedimentables a la entrada del sistema, es una variable que depende de la calidad del agua (es una fracción decimal)

K_T = Constante de primer orden dependiente de la temperatura, d^{-1}

A_v = Área superficial disponible para la actividad microbiana, m^2/m^3

L = Longitud del sistema (paralelo al flujo), m

n = Porosidad del sistema (espacio disponible para el paso del agua) como fracción decimal

Q = Caudal promedio en el sistema, m^3/d

La ecuación 5.9 es considerada teóricamente correcta, pero existen 2 dificultades que son la medición y evaluación de los factores A y A_v .

El factor A ha sido medido para sistemas del tipo de la aplicación al terreno de efluentes primarios y corresponde aproximadamente a 0.52 (48% de la DBO aplicada se queda a la entrada del sistema como materia particulada), el valor de A podría incrementarse para efluentes secundarios y terciarios aplicados a humedales de flujo libre, un valor que esté entre 0.70 y 0.85 podría ser apropiado para efluentes secundarios y 0.90 o mas para efluentes terciarios con alto tratamiento.

El valor de A_v es el área superficial disponible en el sistema para el desarrollo de biomasa fija. En los filtros percoladores y los biodiscos corresponde a la totalidad del área mojada y es fácil de determinar. En un humedal de flujo libre es una medida del área superficial de la porción de la vegetación y de la capa de restos de vegetación que está en contacto con el agua residual. En conclusión es muy difícil medir de manera eficaz en un humedal en funcionamiento y lo único que se puede establecer es una aproximación. Según estudios el típico valor de A_v es de $15.7 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Debido a que el área superficial del humedal (A_s) a $(W)(L)$ es posible sustituyendo y reorganizando los términos de la ecuación 5.9 obtener una expresión para determinar el área requerida para obtener el nivel de tratamiento requerido.

$$A_s = \frac{Q(\ln(C_o) - \ln(C_e) + \ln(A))}{(K_T)(y)(n)} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal de flujo libre, m^2

$K_T = K_{20} (1.06)^{(T-20)}$

$K_{20} = 0.2779d^{-1}$

$n = 0.65$ a 0.75 (los valores menores son para vegetación densa y madura)

$A = 0.52$ (efluente primario), 0.70 a 0.85 (efluente secundario), 0.90 (efluente terciario).

La ecuación 5.10 puede estimar de forma fiable el área superficial para un humedal de flujo libre. Debido a las dificultades para evaluar A y A_v , se ha realizado una segunda aproximación a partir del análisis de los datos del rendimiento de sistemas de este tipo en operación:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{K_T \cdot t} \quad \text{Ecuación 5.11}$$

$$K_T = K_{20} (1.06)^{(T-20)} \quad \text{Ecuación 5.12}$$

$$K_{20} = 0.678 d^{-1} \quad \text{Ecuación 5.13}$$

Entonces, el área superficial requerida para un humedal de este tipo se determina por medio de la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{(K_T)(y)(n)} \quad \text{Ecuación 5.14}$$

K_T = Constante de temperatura (Ecuación 5.12)

y = Profundidad de diseño del sistema, m

n = porosidad del humedal, 0.65 a 0.75

La profundidad del humedal puede variar durante periodos cortos desde pocos centímetros hasta más de un metro. Las profundidades típicas de diseño van desde 10cm hasta 45cm dependiendo de la estación y de la calidad esperada del agua para el sistema.

La DBO final del efluente se ve influida por la producción de DBO residual en el sistema, producto de la descomposición del detritus de las plantas y de otras

Sustancias orgánicas presentes de manera natural, la DBO residual está típicamente entre 2 a 7mg/l. Como resultado, la DBO del efluente de un humedal de este tipo proviene de estas fuentes y no del agua residual.

5.3. Diseño para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

La remoción de SST en sistemas de humedales ya sean de flujo libre o flujo subsuperficial se debe a procesos físicos y solo está influida por la temperatura a través de los efectos de la viscosidad en el flujo del agua. Debido a que la distancia de sedimentación para la materia particulada es relativamente pequeña y que el tiempo de residencia del agua en el humedal es muy largo, estos efectos de la viscosidad se pueden omitir. La remoción de SST en este tipo de sistemas no es un parámetro limitante en el diseño de humedales debido a que la remoción de estos sólidos es muy rápida en comparación con la DBO o el nitrógeno.

Muchos de los sólidos en aguas residuales domésticas municipales e industriales son de naturaleza orgánica y se pueden descomponer con el tiempo, dejando mínimos residuos. Los humedales diseñados para tratamiento de aguas lluvia, alcantarillado unitario y aguas residuales de algunos tipos de industrias que contienen altas concentraciones de sólidos inorgánicos puede que no necesiten un tratamiento primario, sin embargo podrían necesitar un tanque o laguna de sedimentación antes del humedal, para evitar una rápida acumulación de sólidos inorgánicos en el humedal.

Para los dos tipos de humedales artificiales se pueden esperar rendimientos similares en lo que respecta a remoción de DBO, ya que ambos sistemas son muy eficaces en este campo. La remoción de SST está influida por la producción de materiales orgánicos residuales que pueden aparecer en el efluente final como SST, por eso no se debe esperar una concentración menor a 5mg/l a la salida.

Por medio de una regresión lineal de datos obtenidos en diversos humedales en los Estados Unidos se han deducido unas ecuaciones que pueden servir para estimar la concentración de SST a la salida del humedal. Estas ecuaciones solo sirven para realiza una estimación del orden de magnitud de descarga.

Hay que considerar que estas ecuaciones se las debe aplicar en las condiciones que se las obtuvieron, es decir, para cargas hidráulicas de entre 40 a 75cm/día, ya que valores fuera de este rango pueden dar resultados incorrectos.

$$C_e = C_o(0.1139 + 0.00213 CH) \quad \text{Ecuación 5.15}$$

Donde:

C_e = SST en el efluente, mg/l

C_o = SST en el afluente, mg/l

CH = Carga hidráulica, cm/d

5.4. Diseño para la remoción de Nitrógeno.

El diseño para remoción de nitrógeno para cualquiera de los dos sistemas de humedales artificiales (flujo libre y flujo subsuperficial) es un poco complicado ya que el nitrógeno puede estar presente de diversas maneras y requiere condiciones ambientales y químicas para ser removido. El nitrógeno amoniacal es la forma de nitrógeno más frecuentemente regulada en el efluente debido a que el amoniaco no ionizado puede ser tóxico para los peces en pequeñas concentraciones y la oxidación del amoniaco en el cauce receptor puede reducir el nivel de oxígeno disuelto.

La remoción de nitrógeno es usualmente el parámetro de diseño principal cuando se tienen límites estrictos de vertido, tanto de nitrógeno amoniacal como de total. Es aconsejable asumir que todo el nitrógeno Kjeldahl (NTK) que ingresa el sistema se convierta en amoniaco. Durante los dos primeros años de funcionamiento del humedal la remoción de nitrógeno puede sobrepasar las expectativas ya que la adsorción del suelo y la asimilación de las plantas generan un rápido crecimiento de la cubierta vegetal.

La fuente principal de oxígeno para la nitrificación en este tipo de humedales es la reaireación atmosférica de la superficie del agua,

aunque el humedal no es profundo, la mayoría del líquido está en condiciones anaerobias. La nitrificación se llevará a efecto en la parte cercana a la superficie del agua y la desnitrificación es posible que ocurra en el resto del líquido. La temperatura influye de diversas maneras, desde las reacciones biológicas, tanto de nitrificación como de desnitrificación, que son dependientes de la temperatura, hasta la solubilidad del oxígeno en el agua. La mayor fuente de carbono para la desnitrificación es la capa de restos de vegetación que se encuentra sumergida y la DBO del agua residual.

El modelo de diseño recomendado asume que la remoción de amoníaco se da completamente por nitrificación y se desprecia la correspondiente asimilación por las plantas. Para temperatura del agua de 10°C o mayores, la dependencia de la temperatura del proceso de nitrificación es menor que la del proceso de remoción de DBO, a temperaturas menores de 10°C, esta dependencia es muy alta. Las ecuaciones 5.16 y 5.17 son expresiones en términos de concentraciones de amoníaco.

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t) \quad \text{Ecuación 5.16}$$

$$A_s = \frac{Q \ln(C_o / C_e)}{(K_T)(y)(n)} \quad \text{Ecuación 5.17}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal, m^2

C_e = Concentración de amoníaco en el efluente, mg/l

C_o = Concentración de NTK en el afluente, mg/l

K_T = Constante dependiente de la temperatura, d^{-1}

$K_T = 0 \text{ d}^{-1}$ (0°C)

$0.1367(1.15)^{(T-10)}, \text{ d}^{-1}$ (1-10°C)

$0.2187(1.048)^{(T-20)}, \text{ d}^{-1}$ (+ de 10°C)

n = Porosidad del humedal, 0.65 - 0.75

t = Tiempo de residencia hidráulico, d

y = Profundidad del agua en el humedal, m

Q = Caudal promedio del humedal, m^3/d

Cabe recalcar que en caso de que se requiera el valor de la constante K_T para temperaturas entre 0 y 1°C habrá que interpolar, pero en el presente trabajo no habrá este inconveniente ya que en Ecuador no hay temperaturas tan bajas en lugares donde se hallan asentadas las ciudades y poblaciones.

Los humedales diseñados para remover conjuntamente amoníaco y DBO requieren el uso de las ecuaciones respectivas 5.14 para la DBO y la 5.17 para el amoníaco para determinar el área superficial del humedal, siendo así, el área que resulte mayor entre las dos

ecuaciones citadas será el factor limitante para escoger el área requerida, es decir se escoge la que salga mayor de las dos.

La ecuación 5.16 por lo general requiere un tiempo de retención hidráulica (TRH) entre 7 a 12 días para cumplir con los límites requeridos en la salida de amoníaco.

Entrando a lo que a desnitrificación corresponde, la remoción de nitrógeno es un requerimiento de proyecto, es decir, que mucha de la producción de nitrato del humedal de flujo libre puede desnitrificarse y ser removida dentro del área prevista para la nitrificación y sin requerir una fuente de carbono adicional. Se puede decir que los humedales de flujo libre son más eficientes removiendo nitratos que los de flujo subsuperficial, debido a que tienen una mayor disponibilidad de carbono del detritus de las plantas. En las ecuaciones 5.18 y 5.19 se estiman la remoción de nitratos por medio de desnitrificación:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t) \quad \text{Ecuación 5.18}$$

$$A_s = \frac{Q \ln(C_o / C_e)}{(K_T)(y)(n)} \quad \text{Ecuación 5.19}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal, m^2

C_e = Concentración de nitratos en el efluente, mg/l

C_o = Concentración de nitratos en el afluente, mg/l

K_T = Constante dependiente de la temperatura, d^{-1}

$K_T = 0 \text{ d}^{-1}$ (0°C)

$K_T = (1.15)^{(T-10)}, \text{ d}^{-1}$ (+1°C)

n = Porosidad del humedal

t = Tiempo de residencia hidráulico, d

y = Profundidad del agua en el humedal, m

Q = Caudal promedio del humedal, m^3/d

Por lo general los humedales de flujo libre son anóxicos, pero tienen una parte aerobia en la superficie del agua, es decir, que se podría obtener la nitrificación y la desnitrificación en el mismo volumen de reactor.

Cuando la desnitrificación es requerida es porque se tiene un límite de descarga para el nitrógeno total (NT). El nitrógeno total en el efluente del sistema es la suma de los valores obtenidos en las ecuaciones 5.16 y 5.18, la determinación del área requerida para alcanzar el nivel específico de NT en el efluente es un proceso iterativo por medio de las ecuaciones 5.17 y 5.19:

- Se asume un valor para el amoníaco residual (C_e) y se resuelve la ecuación 5.17 para obtener el área requerida para nitrificación, determinándose así el TRH para el sistema.
- Tomar $(C_o - C_e)$ como el nitrato producido por la nitrificación y usar este valor como el del afluente en la ecuación 5.18. Determinar la concentración de nitratos en el efluente con la ecuación antes mencionada.
- La concentración de nitrógeno total en el efluente es la suma de los valores de C_e obtenidos en las ecuaciones 5.16 y 5.18. En el caso de que no se haya alcanzado el valor adecuado de NT se debe hacer otra iteración.

5.5. Diseño para la remoción de Fósforo.

En los sistemas de humedales, la remoción de fósforo no es tan efectiva. Durante el primer año de operación los rendimientos pueden ser muy buenos especialmente en sistemas de flujo libre, esto se debe a la adsorción del recién expuesto suelo del fondo del humedal, sin embargo, la remoción de fósforo a largo plazo puede ocurrir solo a través de la acumulación de sedimentos.

La deposición de estos sedimentos ocurre vía sedimentación particulada y precipitación química.

Por lo general el fósforo está presente dentro de las aguas residuales con concentraciones entre 4 y 15mg/l, dependiendo del caudal y de la carga hidráulica asociada, es posible remover entre 30 a 60% del fósforo presente en el afluente.

Basándose en los datos de la *North American Data Base*, se ha propuesto una constante de primer orden igual a 10m/año para estimar la remoción de fósforo en un sistema de humedales artificiales, estos 10m/año equivalen a un promedio de 2.74cm/d que es lo que se usa en la siguiente ecuación:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp\left(\frac{-K_p}{CH}\right) \quad \text{Ecuación 5.20}$$

Donde:

C_e = Concentración de fósforo en el efluente, mg/l

C_o = Concentración de fósforo en el afluente, mg/l

K_p = 2.74 cm/d

CH = Carga hidráulica promedio anual, cm/d

$$A_s = \frac{(b)(Q)\ln(C_o / C_e)}{(K_p)} \quad \text{Ecuación 5.21}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal, m²

b = factor de conversión, 100cm/m

Q = Caudal promedio del humedal, m^3/d

Este modelo fue desarrollado originalmente a partir de datos de humedales de flujo libre, sin embargo, puede ser válido para predecir el fósforo que será removido para cualquiera de los dos sistemas (flujo libre y subsuperficial) ya que depende del área superficial y no de las reacciones biológicas ocurridas en el área superficial específica del medio o detritus de plantas dentro de la zona del humedal. Se puede decir que se necesita un área realmente grande para alcanzar una buena remoción de fósforo en el efluente final. El humedal debe diseñarse para la eliminación de nitrógeno y se debe introducir un tratamiento alternativo para la remoción de fósforo requerida en caso de requerirse.

Debido a que la superficie del agua está expuesta a la atmósfera en este tipo de humedales, el problema que puede presentarse en lo que respecta a la temperatura es en lugares donde hay climas con fríos extremos $< 0^{\circ}C$, en nuestro caso no tendremos problemas de este tipo, sin embargo se dará una breve síntesis del análisis que debería hacerse si las temperaturas bajas estuvieran presentes en el lugar del proyecto.

En los humedales de flujo libre, la capa de hielo formada en la superficie del humedal es retenida por los numerosos tallos y hojas de la vegetación, así que el volumen disponible para el flujo se ve significativamente reducido al aumentar el espesor de la capa de hielo, el agua comienza a subir por las grietas hasta que esta superficie de flujo se congela y presenta entonces el fallo del sistema hasta que las temperaturas cálidas regresen. La actividad biológica tiene fin en este punto, esta situación debe ser prevenida si se pretende usar un humedal artificial.

En lugares donde se presentan climas con fríos extremos es esencial realizar el respectivo análisis térmico para asegurarse que el humedal será físicamente estable durante invierno y que pueda conservar temperaturas del agua que permitan continuar con la actividad biológica.

El correcto análisis que debe hacerse consta de los siguientes pasos:

1. Determinar la temperatura del agua en el humedal en las condiciones en que se da inicio a la formación de hielo. Se requieren cálculos separados para humedales con segmentos que poseen alta vegetación y para zonas con superficies libres.

2. Determinar la temperatura del agua para cuando haya hielo en la superficie del humedal.
3. Estimar el espesor total de hielo que se forma durante todo el periodo.

Como se mencionó anteriormente no se entrará en detalles con los cálculos para formación de hielo por no ser un factor que afecte al presente proyecto.

5.6. Aspectos Térmicos.

La temperatura es un parámetro muy importante en el diseño de humedales ya sean estos de flujo libre o flujo subsuperficial, las condiciones de temperatura afectan las actividades físicas y biológicas en el sistema. Se dice que cuando las temperaturas son muy bajas la capacidad para remover nitrógeno no es tan efectiva, pero eso no afectaría nuestro estudio ya que en la zona escogida, que corresponde a la costa del Ecuador, las temperaturas son un poco elevadas.

CAPÍTULO 6

6. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY.

6.1. Características generales de la zona de estudio.

6.1.1. Ubicación

El sitio “San Eloy” se encuentra ubicado en la provincia de Manabí, en la región Costa del Ecuador, aproximadamente a 32 km. de la ciudad de Portoviejo.

La demanda de obras de infraestructura y de saneamiento básico es una de las principales necesidades de este sitio, razón por la cual la importancia de este proyecto. Actualmente la población no cuenta con una red existente de aguas servidas, sin embargo, existe un diseño propuesto en el tema de tesis de grado *“Proyecto para el Estudio y Diseño de los Sistemas de Abastecimiento de AAPP, AASS, AALL del Sitio San Eloy*

Cantón Rocafuerte Provincia de Manabí”, realizado por los Ingenieros Hernán Chávez y Reynaldo Pita, en el año 2005. Razón por la cual para complementar los requerimientos sanitarios del sitio antes mencionado se ha desarrollado nuestro tema de tesis “DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ”, el mismo que está propuesto con un Humedal Artificial de Flujo Libre, precedido por un tratamiento primario que consta de un tanque séptico y filtro anaerobio, así aparte de contribuir con el desarrollo futuro de esta población colaboramos con el ecosistema del área en estudio. En el anexo #1 se puede observar la ubicación geográfica del sitio San Eloy.

6.1.2. Características Físicas.

En el Ecuador y por ende en esta población existen dos estaciones que son invierno que corresponde a la época lluviosa y verano que es la época seca.

En San Eloy la temperatura promedio en los meses de verano está entre los 22 a 30 °C, mientras que en invierno las

temperaturas oscilan entre los 24 a 32°C según datos consultados en el Consejo Provincial de Manabí.

A un lado de la vía principal de esta población se ha existe un pequeño río conocido con el nombre de “Bachillero”. Su profundidad promedio es de 1.60m. Existen canales de riego que desembocan en el río antes mencionado, razón por la cual las aguas que este conduce poseen contaminantes de origen químico (plaguicidas) y orgánicos (estiércol).

En lo que respecta a la topografía de la zona en estudio es regular, es decir que no existen desniveles considerables, sin embargo existe un pequeño porcentaje de la población que está asentada en las colinas.

6.1.3. Características Sociales.

Según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) para el año 2001 había 1285 habitantes en la población “San Eloy” y para el año 2003 había 1324 habitantes. Para calcular la población futura se ha escogido el método para crecimiento geométrico. Este método se lo ha escogido debido a que este

se lo usa cuando el aumento de población es proporcional al tamaño de la misma, lo cual se acopla a este caso.

A continuación se hará una proyección de los habitantes que habría en este lugar para el año 2027 debido a que el período de diseño para el presente proyecto se lo ha hecho para 20 años. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$P_d = P_{uc} (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\left(\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}} \right)} - 1 \quad \text{Ecuación 6.2}$$

Donde:

P_d = Población de diseño.

P_{uc} = Población último censo.

P_{ci} = Población censo inicial.

r = tasa de crecimiento anual.

T_{uc} = Año último censo.

T_{ci} = Año censo inicial.

Utilizando la ecuación 6.2 calculamos la tasa de crecimiento anual:

$$r = \left(\frac{1324}{1285} \right)^{\left(\frac{1}{2003-2001} \right)} - 1$$

$$r = 0,0151$$

A continuación se reemplaza los datos de población y la tasa r calculada en la ecuación 6.1 para calcular la población de diseño:

$$P_d = 1324 (1 + 0,0151)^{2027-2003}$$

$$P_d = 1897$$

Con este dato se realizarán todos los cálculos necesarios para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

6.2. Diseño Hidráulico y Dimensionamiento del tratamiento primario (tanque séptico y filtro anaerobio).

Para que el tratamiento o depuración de las aguas residuales provenientes de uso doméstico en la población San Eloy sea más eficaz se ha previsto un sistema de tratamiento primario compuesto de un tanque séptico y filtro anaerobio. A continuación se procederá con los cálculos y parámetros usados para el dimensionamiento de este sistema.

Tanque séptico.

Como se menciona en el apartado 6.1.3, la población de diseño es de 1897 habitantes para el año 2027 por lo que el periodo de diseño es de 20 años.

El caudal correspondiente a las aguas residuales de una población está compuesto por los siguientes aportes:

- Aguas residuales domésticas.
- Aguas residuales industriales y comerciales.
- Aguas de infiltración.

En el caso de San Eloy la mayor parte de la contribución de las aguas residuales que descargarán en el sistema de tratamiento corresponde a las domésticas, la aportación de aguas industriales es nula ya que no existe ningún tipo de industrias, las aguas de infiltración son mínimas.

La dotación por persona se estima en 150lt/hab-día, y se considera un coeficiente de retorno para las aguas servidas de 80%.

En la tabla 6.1 se observan valores típicos de dotación y contribución de lodo fresco para los predios más comunes.

Predio	Unidad	Contribución (lt/día)	
		Dotación	Lodo Fresco (Lf)
Hospitales	cuarto	250	1
Departamentos	persona	200	1
Residencias	persona	150	1
Internados	persona	150	1
Casas populares	persona	120	1
Hoteles	persona	120	1
Fábricas en general	trabajador	70	0,3
Edificios públicos	persona	50	0,2
Escuelas	persona	50	0,2
Restaurantes	persona	25	0,1
Cienes y teatros	asiento	2	0,02

Tabla 6.1 Contribuciones unitarias o de lodo fresco según el tipo de predio

Fuente: Escuela Brasileña de Ingeniería

Contribución (lt/día)	Tiempo de retención	
	horas	días
< 6000	24	1
6000 - 7000	21	0,875
7000 - 8000	19	0,79
8000 - 9000	18	0,75
9000 - 10000	17	0,71
10000 - 11000	16	0,67
11000 - 12000	15	0,625
12000 - 13000	14	0,585
13000 - 14000	13	0,54
> 14000	12	0,50

Tabla 6.2 Tiempo de retención

Fuente: Escuela Brasileña de Ingeniería

Siendo así, los datos que se utilizarán para dimensionar el tratamiento primario serían los siguientes:

N= Número de contribuyentes diario = 1897 hab/día.

C= Contribución AASS = 150 lt/hab-día x 0.8 =120lt/día

L_f = Contribución de lodos frescos = 1 lt/hab-día

T = Tiempo de retención = 0.5 día

La formula general para el cálculo del volumen útil para el tanque séptico según las normas brasileñas es la siguiente:

$$V = N(CT + 100L_f) \quad \text{Ecuación 6.3}$$

Entonces:

$$V = 1897\text{hab} ((120\text{lt/hab.-d}) (0.5\text{d}) + 100(1))$$

$$\mathbf{V \approx 292 \text{ m}^3}$$

Las normas brasileñas establecen las siguientes dimensiones y relaciones de ancho, largo y altura para tanque séptico de cámara única:

- Ancho interno mínimo (b) = 0.80m
- Altura útil mínima (h) = 1.20m
- Relación entre largo (L) y ancho (b), $2 \leq L/b \leq 4$
- Relación entre ancho (b) y altura útil (h), $b \leq 2h$

Como el volumen teórico calculado para el tanque séptico es de 292 m^3 , las dimensiones quedarían de la siguiente manera:

$$V_{\text{TOTAL}} = 292 \text{ m}^3$$

$$L = 13.00\text{m}$$

$$b = 6.45\text{m}$$

$$h = 3.50\text{m}$$

Para asegurarnos que cumplimos con las condiciones hacemos la respectiva comprobación:

$$\begin{array}{ll}
 6.45 > 0.80 & \text{ok} \\
 3.50 > 1.20 & \text{ok} \\
 2 \leq L/b \leq 4, \quad L/b = 2.05 & \text{ok} \\
 b \leq 2h, \quad 6.45 \leq 7.0 & \text{ok}
 \end{array}$$

Entonces las medidas asumidas son correctas y serán las utilizadas para el diseño del tratamiento primario. Ver en anexos plano correspondiente.

Filtro Anaerobio.

La formula general para el cálculo del volumen útil para el filtro anaerobio según las normas brasileñas es la siguiente:

$$V = 1.6NCT \quad \text{Ecuación 6.4}$$

Entonces:

$$V = 1.6 (1897\text{hab}) (120\text{lt/hab.-d}) (0.50\text{d})$$

$$\mathbf{V = 182 \text{ m}^3}$$

Las normas brasileñas establecen las siguientes dimensiones y relaciones de ancho, largo y altura para el filtro anaerobio:

- Ancho interno mínimo (b) = 0.95m
- Altura útil mínima (h) = 1.80m
- Relación entre largo (L) y altura útil (h), $L \leq 3h$

- Relación entre ancho (b) y altura útil (h), $b \leq 3h$

Como el volumen teórico calculado para el tanque séptico es de 182 m³ y teniendo en cuenta las recomendaciones de las normas brasileñas, las dimensiones quedarían de la siguiente manera:

$$V = 182 \text{ m}^3$$

$$L = 7.20\text{m}$$

$$b = 7.20\text{m}$$

$$h = 3.50\text{m}$$

Para asegurarnos que cumplimos con las condiciones hacemos la respectiva comprobación:

$$7.20 > 0.95 \quad \text{ok}$$

$$3.50 > 1.80 \quad \text{ok}$$

$$L \leq 3h, \quad 7.20 \leq 10.5 \quad \text{ok}$$

$$b \leq 3h, \quad 7.20 \leq 10.5 \quad \text{ok}$$

Entonces las medidas asumidas son correctas y serán las utilizadas para el diseño del tratamiento primario. Ver en anexos plano correspondiente.

6.3. Diseño Hidráulico y Dimensionamiento del Humedal.

El humedal de flujo libre será diseñado y dimensionado de acuerdo a las ecuaciones que se presentan en el capítulo 5.

Los datos que se tienen son los siguientes:

- DBO afluente: 250 mg/l
- DBO efluente: 50 mg/l
- SST entrada: 250mg/l
- Población: 1897 hab.
- Caudal: 219.24 m³/día ≈ 220 m³/día
- Vegetación: Scirpus
- Profundidad: 40 cm
- Porosidad: 0.65
- Temperatura media del agua residual: 25°C
- Temperatura mínima del agua residual: 20°C

6.4. Diseño para la remoción de DBO.

Se asume la temperatura del agua humedal, en este caso 25°C.

$$K_{25} = 0.678(1.06)^{(T-20)} \quad \text{Ecuación 5.12}$$

$$K_{25} = 0.907 d^{-1}$$

A continuación se determina el área superficial requerida para el humedal.

$$A_s = \frac{220 \text{ m}^3 / d (\ln(250) - \ln(50))}{(0.907 \text{ d}^{-1})(0.40 \text{ m})(0.65)}$$

$$A_s = 1501.47 \text{ m}^2$$

Determinación del tiempo de retención hidráulica (TRH).

$$TRH = \frac{(1501.47 \text{ m}^2)(0.40 \text{ m})(0.65)}{220 \text{ m}^3 / d}$$

$$TRH = 1.774 \text{ d}$$

Una vez determinado el TRH, se calculan las dimensiones (largo y ancho) del humedal de flujo libre. Es recomendable utilizar una relación largo/ancho mínima de 3 a 1.

$$3W^2 = 1501.47 \text{ m}^2$$

$$W = 22.37 \text{ m} \approx 22.50 \text{ m}$$

Conociendo el ancho procedemos a calcular el largo requerido.

$$L = (22.50 \times 3) \text{ m}$$

$$L = 67.50 \text{ m}$$

Con estos valores de largo y ancho determinados el área superficial real que tendría el humedal de flujo libre sería la siguiente:

$$A_s = (67.50 \times 22.50) \text{ m}^2$$

$$A_s = 1518.75 \text{ m}^2$$

6.5. Diseño para la remoción de SST.

Se calculará la remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST), se comprobará el buen rendimiento de este sistema en la remoción de los mismos (cerca del 90%), sin embargo este cálculo solo es una estimación.

Primero se determina el valor de la carga hidráulica CH.

$$CH = (Q/A_s)(100) = (220\text{m}^3/\text{d}/1518.75\text{m}^2)(100)$$

$$CH = 14.18 \text{ cm/d}$$

Luego se calcula el valor de la concentración de SST en el efluente.

$$C_e = (250\text{mg/l})(0.1139 + 0.00213(14.18))$$

$$C_e = 36 \text{ mg/l.}$$

En este caso la remoción de SST alcanza el 86%, lo cual demuestra la buena remoción que existe.

6.6. Diseño para la remoción de Nitrógeno.

La remoción de Nitrógeno para el humedal de flujo libre se la determina calculando el área requerida para la nitrificación.

Primero se calcula el valor de K_T (constante dependiente de la temperatura). Como la temperatura del agua para este caso es de 25°C, entonces el valor de K_T está dado por la siguiente expresión:

$$K_T = 0.2187 (1.048)^{(25-20)}$$

$$K_T = 0.276 d^{-1}$$

Entonces el área requerida para nitrificación es:

$$A_s = \frac{(220 m^3 / d) \ln(25 / 3)}{(0.276 d^{-1})(0.40 m)(0.65)}$$

$$A_s = 6500 m^2$$

El tiempo de retención hidráulica sería:

$$t = (6500 m^2)(0.40 m)(0.65) / 220 m^3 / d$$

$$t = 7.68 d$$

Ahora se determina la concentración de nitratos en el efluente.

$$\text{Nitratos del humedal} = (25 - 3) \text{ mg/l}$$

$$\text{Nitratos del humedal} = 22 \text{ mg/l}$$

$$\text{Nitratos en el efluente: } C_e = (22) \exp(-(0.276 \times 7.68))$$

$$C_e = 0.00143 \text{ mg/l}$$

Determinación del Nitrógeno total en el efluente.

$$NT = (3.0 + 0.00143) \text{ mg/l} \approx 3.0 \text{ mg/l}$$

6.7. Diseño para la remoción de Fósforo.

Se determina la carga hidráulica para la eliminación de fósforo.

$$CH = (100)(220 m^3/d) / 6500 m^2$$

$$CH = 3.38 \text{ cm/d}$$

A continuación se determina la concentración de fósforo en el efluente:

$$C_e = (12 \text{ mg / l}) e^{(-2.74 / 3.38)}$$

$$C_e = 5.33 \text{ mg/l}$$

Entonces el porcentaje de remoción de fósforo para este caso sería de 55.6%.

Una concentración ideal para tener una remoción de fósforo de aproximadamente 96% sería de 0.5mg/l. Entonces se determinará el área que se requeriría para poder tener ese valor de concentración en el efluente.

$$A_s = \frac{(100)(220 \text{ m}^3 / \text{d}) \ln(12 / 0.5)}{2.74 \text{ cm} / \text{d}}$$

$$A_s = 25517 \text{ m}^2$$

Como se observa en el cálculo anterior la eliminación de fósforo por esta vía requiere de un área demasiado grande, lo cual implica que no sería rentable, si se desea eliminar fósforo en mayor proporción se lo debe hacer por medio de una fuente complementaria de tratamiento. Por lo tanto el humedal se lo diseña con el área calculada para remover el Nitrógeno. Es necesario y muy importante tener en consideración los problemas y limitaciones que podrían existir en la

parte topográfica. Para nuestro proyecto ese problema está descartado debido a la regularidad del terreno.

Entonces las dimensiones del humedal de flujo libre que se utilizarán para el diseño serían las siguientes:

$$\text{Área superficial requerida } (A_s) = 6500\text{m}^2$$

Asumiendo una relación largo/ancho de 3 a 1 que es la recomendable, entonces las dimensiones de largo y ancho serían las siguientes:

$$3W^2=6500 \text{ m}^2$$

$$W= 46.547\text{m} \approx 47\text{m}$$

$$\frac{L}{W} = 3$$

$$L = (3 \times 47)\text{m} = 141\text{m}$$

Entonces el área superficial real sería la siguiente:

$$A = (141 \times 47)\text{m}^2$$

$$A = 6627\text{m}^2$$

(*) Ver implantación, cortes y detalles del sistema en los planos que se adjuntan en los anexos.

CAPÍTULO 7

7. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Existen varios aspectos fundamentales que deben ser tomados en cuenta al momento de construir un humedal, tal es el caso de la impermeabilización de la capa subsuperficial del terreno, la selección y colocación del material granular si es el caso, vegetación y las estructuras de entrada y salida.

7.1. Impermeabilización.

Se requiere que se coloque una barrera impermeable para evitar la contaminación del subsuelo o el agua subterránea con las aguas residuales. Algunas veces esta barrera se presenta de forma natural por una capa de arcilla o por los materiales del sitio y que por medio de compactación se llega a un estado cercano al impermeable. Otras alternativas sugieren tratamientos químicos, asfalto o alguna membrana.⁹

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si este es de alguna fibra sintética que pueda llegar a perforarse, el fondo debe ser nivelado cuidadosamente de lado a lado del humedal y en la totalidad de la longitud del lecho. El humedal debe tener una ligera pendiente para asegurar el drenaje, de manera que existan las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema.

Durante las operaciones finales de afinación de la rasante, el fondo del humedal debería ser compactado de forma similar a como se hace con la subrasante de una carretera. El objetivo es mantener la superficie de diseño durante las siguientes etapas constructivas del humedal.

En nuestro caso se utilizará una membrana impermeabilizante, (Geomembrana de polietileno de 1mm) se debe colocar directamente en la totalidad de la superficie de la celda. La capa superficial de suelo que se reservó anteriormente se coloca sobre la membrana, de manera que sirvan de base para las raíces de la vegetación a ser implantada.

Los diques y bermas de las celdas de los humedales pueden construirse de la misma forma que cuando se construyen lagunas o instalaciones parecidas. Para grandes sistemas, la parte alta del dique debería tener un ancho suficiente para colocar un camión de mantenimiento.

7.2. Vegetación.

La vegetación es un factor muy importante en la construcción de humedales ya sean estos de flujo libre o flujo subsuperficial, esta debe tener la densidad apropiada para el correcto funcionamiento del humedal, es preferible utilizar plantas locales adaptadas a las condiciones del sitio. En este caso se usará el *scirpus* (junco) por ser una planta que se la puede conseguir en el medio local.

A pesar de que la siembra se puede realizar por medio de semillas, este método requiere de mucho tiempo y control estricto del agua, además presenta el problema del consumo de las mismas por parte de pájaros. Esta es la razón por la cual lo preferible es plantar mediante trasplante de rizomas al lecho previamente preparado

Para poder alcanzar los rendimientos esperados en sistemas de humedales de cualquier tipo se requiere condiciones de flujo uniforme. Esto se alcanza en sistemas pequeños o moderados.

7.3. Especificaciones Técnicas Constructivas

7.3.1. Tanque Séptico y Filtro Anaerobio

Para los colectores y/o tuberías de diámetros mayores o iguales a 160 mm hasta 200 mm se utilizarán tuberías y accesorios de PVC Pared Estructurada NOVAFORT, serie 5. Para los tramos de tubería en el interior del sistema las estas serán de PVC desagüe normal. Las tuberías, accesorios, materia prima, juntas y cauchos cumplirán con la Norma NTC 3721 para Métodos de Ensayo y la Norma NTC 3722 para Especificaciones, que tienen como antecedentes las Normas ISO CD 9971-1 y 9971-2.

Para las uniones entre tubo y tubo o tubo y accesorio, se deberá seguir el procedimiento que se describe a continuación:

a.-Limpiar tanto los espigos como las campanas que se dispongan a unir, teniendo cuidado de no dejar lodo o arena en los mismos.

b.-Debe asegurarse que los tres primeros valles completos del espigo estén limpios. Colocar el caucho en dos valles consecutivos del extremo del tubo y en correspondencia con la parte lisa de la campana.

c.-Colocar el caucho en el tubo, asegurándose que quede firmemente asentado.

d.-Aplicar lubricante generosamente en la campana y sobre el lomo del caucho únicamente, utilizando una brocha, esponja o trapo.

e.-Se deberá alinear la unión, luego introducir el espigo en la campana y empujar. En el caso de diámetros grandes se recomienda usar un bloque de madera y una barra para la instalación, asegurándose que el bloque proteja al tubo de la barra.

f.-Es necesario que en el proceso no se introduzcan partículas de material del relleno en la campana para evitar fugas.

g.-Se recomienda no flectar el espigo en la campana en sentido

horizontal o vertical. El espigo del tubo a instalar y la campana del que lo recibe se deben mantener alineados para facilitar su acoplamiento.

La dosificación, el mezclado del hormigón, la instalación de los encofrados y los soportes de los mismos, la colocación de la armadura (en caso de que el diseño lo requiera, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$) y vertido del hormigón ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$), son procedimientos en los cuales la supervisión estará a cargo del Contratista, quien tendrá la responsabilidad de obtener un acabado de buena calidad.

7.3.2. Humedal Artificial de Flujo Libre.

El humedal de flujo libre propuesto está formado por tres celdas, osea que llevarán dos taludes en el centro (ver anexos de planos), esto es para que exista en lo que más pueda el “Flujo Pistón”, además en los taludes construidos están dimensionados para que entre perfectamente vehículos pequeños para que puedan realizar su rutina de inspección y limpieza del sistema.

- Las obras de hormigón serán de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, sea este simple o armado. El acero de refuerzo tendrá un límite de fluencia, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Las aguas residuales se dirigen desde el tratamiento primario hacia el humedal de Flujo Libre mediante tubería de PVC, antes de ingresar a éste se deberá colocar una válvula de control puede ser de PVC, de hierro fundido o de acero inoxidable de $\varnothing 200\text{mm}$, luego se construirá una caja de inspección de hormigón simple que servirá para revisión y toma de muestras.
- A la entrada del HAFL se propone un vertedero construido de hormigón armado a lo ancho de la celda, el mismo que realizará su descarga por rebose, garantizando la distribución uniforme del caudal al ingreso del sistema, el que deberá permanecer constante durante todo el recorrido en el humedal, para así asegurar el buen funcionamiento del sistema.
- Antes de la salida se colocará una pantalla que podría ser metálica o de madera, para evitar que las espumas que se forman en la superficie vayan hacia la descarga final, así como restos de vegetación, insectos, etc.

- A salida, el humedal consta de un vertedero de hormigón armado, con tuberías pasantes de PVC desagüe normal, el mismo que descargará el agua ya tratada en una caja de inspección, para que luego este efluente sea vertido hacia el río que pasa por la población en estudio.
- La excavación del Humedal se la realiza con maquinaria (retroexcavadora), debiendo cavar a la profundidad deseada, el terreno que corresponde a la cubierta vegetal obtenido en este paso debe retirarse de forma cuidadosa, la que puede ser reutilizada como base vegetal o para otras actividades en la obra misma.
- Luego se compactará el terreno en fondo del humedal (con rodillo, compactador, etc) de lado a lado a todo o largo, se lo deberá de hacer de manera cuidadosa y correcta, de tal forma que quede el terreno completamente nivelado y libre de palos, piedras grandes, rocas si lo existiera, etc, que puedan ocasionar daños en el material impermeabilizante que se utilice.
- Se deberá dejar una pequeña pendiente en el HAFL para que asegure el drenaje, de forma que se garantice que existan las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema

- Como material impermeabilizante del suelo se usará una Geomembrana Sintética, debiéndosela colocar con cuidado, una vez colocada la geomembrana, hay que revisar que no existan huecos, agujeros pequeños, perforaciones en ella, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas, las aguas del subsuelo, que se podrían dar, por parte de las aguas residuales domésticas que están siendo tratadas, también para mantener un mismo nivel de agua en todo el humedal y por si se da el caso de nivel freático muy alto.
- La capa de superficial de suelo que se reservo anteriormente se coloca sobre la geomembrana (puede ser una capa de $h=0.20\text{cm}$), de tal forma que sirva como base de las raíces de la vegetación.
- Para la siembra de las plantas (Juncos) se agrega agua (podría ser de $h=10-15\text{cm}$), No se utilizarán semillas las plantas a utilizar serán de unos 20-30cm de alto, las mismas que se deberán sembrar de manera uniforme por todo el humedal a una distancia de 0.60m entre ellas, se espera que después de algún tiempo (6 meses a un año) existan plantas en todo el humedal sin que queden espacios libres entre ellas.

7.4. Opeación y Mantenimiento.

Entre los puntos más importantes se pueden citar los siguientes:

- Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.
- Mantener un crecimiento vigoroso de la vegetación.
- Proporcionar una amplia oportunidad para el contacto del agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.

El agua debe cubrir todas las partes de la superficie del humedal, esto debe ser verificado de manera constante para asegurar que el agua se está moviendo a través de todas las partes del humedal, que el aumento de residuos no ha bloqueado caminos de flujo y no se han desarrollado áreas de estancamiento que aumentan la probabilidad de mosquitos, asimismo, debe verificarse flujos y niveles de agua de manera frecuente.

Los diques, vertederos y demás estructuras deben ser inspeccionados de manera regular e inmediatamente después de cualquier anomalía en el flujo. Los humedales deben ser revisados después de subidas importantes de caudal o después de formación de hielo (no aplica en este caso debido a que como se ha mencionado en los capítulos anteriores este proyecto no tendrá

este problema debido al clima de Ecuador). Cualquier daño, corrosión u obstrucción. Debe ser corregida para así evitar daños mayores que por ende ocasionen grandes gastos al momento de efectuar las respectivas reparaciones.

En lo que respecta a la vegetación, el manejo del nivel del agua es la clave. Mientras las plantas del humedal pueden tolerar cambios temporales en la profundidad del agua, se debe tener cuidado de no exceder los límites de tolerancia de las especies usadas durante periodos largos de tiempo. La cubierta vegetal en los diques debe mantenerse para desarrollar una capa de tierra buena con sistemas de raíz extensos que resisten a la erosión. La vegetación debe inspeccionarse de manera regular y deben quitarse las especies invasoras, hay que evitar el uso de herbicidas, a excepción de casos extremos y puntuales.

Los mosquitos son comunes en los humedales naturales y pueden presentarse en los *humedales artificiales*. La mejor manera de evitar problemas con mosquitos es crear condiciones en el humedal que no sean atractivas para los mosquitos o que no conduzcan al desarrollo de larvas. Los lugares abiertos con agua estancada son un excelente hábitat para los mosquitos, y los

nutrientes del agua estancada, son ideales para el desarrollo larval. Cuando el agua está en movimiento se minimiza el riesgo de desarrollo de mosquitos.

Es necesario llevar un control cuando se construye un humedal, es decir, medir si el humedal está cumpliendo con los objetivos y para indicar su integridad biológica. Esta supervisión permite identificar los problemas temprano y así evitar problemas mayores en el futuro.

El nivel de detalle del control dependerá del tamaño y complejidad del sistema de humedal propuesto o construido y puede cambiar cuando el sistema madura y se conoce mejor su comportamiento. Los sistemas ligeramente cargados que han estado operados de manera satisfactoria sólo necesitarán ser verificados una vez al mes, aquellos humedales que estén más cargados deben ser verificados de manera mas frecuente, por lo menos 3 veces al mes.

El rendimiento del humedal es normalmente evaluado para determinar ciertos parámetros importantes como la carga hidráulica, volúmenes de entrada y salida, variación de la calidad del agua entre la entrada y la salida.

La efectividad en la remoción de contaminantes puede determinarse mediante la diferencia entre la carga a la entrada (volumen de la entrada por concentración del contaminante) y la salida (volumen de la descarga por concentración del contaminante). Como se mencionó en capítulos anteriores los parámetros de interés a ser removidos pueden ser la DBO, Nitrógeno, Fósforo, SST, Metales Pesados y Bacterias. En caso de que el agua residual contenga contaminantes tóxicos como pesticidas o metales pesados, entonces debe analizarse los sedimentos una o dos veces al año para supervisar el aumento potencial de estos contaminantes en los sedimentos del humedal. Si es posible al agua subterránea cercana al humedal también debe supervisarse por lo menos una vez al año para asegurarse de que no se esté contaminando.

Los humedales deben ser controlados y evaluados periódicamente para observar las condiciones generales del sitio (mínimo trimestralmente) y para descubrir cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación indeseable. Debe supervisarse la vegetación constantemente para evaluar su salud y abundancia. Para humedales que no reciben cargas altas, la supervisión de la vegetación no se necesita que

sea frecuente, a diferencia de los que reciben cargas altas que deben ser evaluados constantemente tanto cualitativa como cuantitativamente.

La composición de las especies y densidad de las plantas se determina fácilmente, inspeccionando parcelas cuadradas, por lo general de 1m x 1m, dentro del humedal. Los cambios que deben tenerse en cuenta son el aumento en el número de especies no deseadas, disminución en la densidad de la capa vegetativa o señal de enfermedad en las plantas. La vegetación del humedal construido está sujeta a cambios graduales cada año, puede ser que ciertas especies tiendan a morir y sean reemplazadas por otras.

El aumento de los sedimentos acumulados así como de la capa de residuos, disminuye la capacidad del almacenamiento de agua, afectando la profundidad en el humedal y alterando el flujo.

CAPITULO 8

8. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO.

8.1.Introducción.

En general toda actividad, servicios y especialmente la ejecución de un proyecto de construcción causan impactos en el ambiente. La gestión ambiental procura eliminar o mitigar sus efectos nocivos y contribuye a hacer duradero en el tiempo, es decir sustentible el desarrollo de dichas actividades.

Un aspecto primordial de la gestión ambiental es generar una actitud preventiva, que permita identificar anticipadamente las afectaciones negativas de las obras, proyectos, planes y políticas de desarrollo, con el fin de establecer en forma oportuna medidas para eliminar o reducir a niveles aceptables.

La evaluación de Impacto Ambiental persigue este propósito y gracias a su desarrollo conceptual y metodología se está convirtiendo en uno de los más importantes instrumentos preventivos de la gestión ambiental.

La finalidad de nuestro tema de tesis es implementar un tratamiento natural del agua residual doméstica, y como se mencionó anteriormente que todo proyecto influye de manera directa o indirecta en el medio ambiente, nos hemos visto en la necesidad de realizar las Evaluaciones de Impacto Ambiental, para de esta manera determinar los impactos que se pudieran ocasionar con el desarrollo del proyecto.

8.2. Objetivos.

- Realizar una descripción de las condiciones ambientales existentes en la zona de influencia del proyecto antes de su construcción.
- Identificar las actividades que pudieran causar algún impacto.
- Identificar el medio sobre el cual se ejercerá tal impacto.
- Evaluar la magnitud e intensidad de los mismos.
- Describir las medidas de mitigación y compensación a aplicarse, en los casos pertinentes.

- Elaborar el Plan de Manejo Ambiental.
- Redactar las conclusiones y recomendaciones.

8.3. Metodología.

La metodología general para la elaboración de este estudio es el que solicita el Banco del Estado para los estudios de impacto ambiental de proyectos de construcción con un impacto considerado moderado. Los detalles de éste trabajo en cuanto al desarrollo de la metodología de identificación, caracterización y predicción de los impactos se encuentra en el plan de manejo ambiental

El enfoque primordial de nuestro proyecto es dotar a la población San Eloy de un sistema de tratamiento natural de las aguas residuales domésticas (tomando en consideración que las redes de acantarillado sanitario propuesto en el tema de tesis PROYECTO PARA EL ESTUDIO Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AAPP, AASS, AALL Y MANEJO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL SITIO SAN ELOY CANTON ROCAFUERTE PROVINCIA DE MANABI llegare a construirse), damos valoración positiva desde el punto de vista del impacto, debido a que el proyecto sirve para el desarrollo del sitio.

Por otra parte, la metodología de construcción abarca desde la planificación, el trazado y replanteo, excavación, relleno, fundición de hormigón armado, desalojo, hasta el sembrío de las plantas a utilizar en el sistema de tratamiento propuesto y el plan de manejo ambiental.

8.4. Marco legal.

Consideraciones del marco legal

El marco legal ambiental para éste tipo de proyectos se encuentra principalmente en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULA), que consta de diez Tomos, así como en la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (DS-374, RO 97, mayo 1976), y su Reglamento para el Manejo de Desechos Sólidos (Registro Oficial 991, del 3 de agosto de 1992).

De manera particular, el TULA, en su Libro VI “De la Calidad Ambiental”, en sus Capítulos III, IV, V menciona los objetivos, elementos y proceso de evaluación de impactos ambientales y el Título IV presenta el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental que incluyen:

- Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes recurso agua.
- Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados
- Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión
- Norma de calidad del aire ambiente.
- Límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y móviles, y para vibraciones.
- Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición de desechos sólidos no peligrosos.

Otro aspecto específico que regula este tipo de proyectos se encuentra contemplado de manera concreta en el Registro Oficial, edición especial N° 2, publicado el lunes 31 de marzo del 2003, cuyo contenido se transcribe en la Tabla 8.1.

Tipo de zona según uso de suelo	Nivel de presión sonora equivalente NPS eq (dB(A))	
	De	De
	06H00 a 20H00	20H00 a 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona residencial	50	40
Zona residencial mixta	55	45
Zona comercial	60	50
Zona comercial mixta	65	55
Zona industrial	70	65

Tabla 8.1. Niveles máximos de ruido permisibles según uso de suelo

Debido a que La población San Eloy es una zona residencial mixta, se ha considerado la condición más sensible, es decir los niveles de presión sonora de 06H00 a 20H00 que no excedan de 55, y de 20H00 a 06H00 que no excedan de 45.

Adicionalmente, existe el Reglamento de Seguridad para la Construcción y Obras Públicas, publicado en el Registro Oficial No 253 del 9 de Febrero de 1998 (78 artículos), que contempla los siguientes temas:

- ✓ Construcción y Trabajos en Altura
- ✓ Excavaciones
- ✓ Cimentaciones
- ✓ Maquinaria Pesada de Obra
- ✓ Maquinarias de Elevación
- ✓ Instalaciones Eléctricas Temporales
- ✓ Señalización para Construcción o Reparación de Calles y Carreteras
- ✓ Elementos de Protección Personal
- ✓ Condiciones de Higiene y de Medicina Laboral Preventiva

Estos son temas del Reglamento que los constructores conocen y deben aplicar en las obras. Adicionalmente, el Artículo 12 del Código de Salud, establece que: “Los reglamentos y disposiciones sobre molestias públicas, tales como: ruidos, olores desagradables, humos, gases tóxicos, polvo atmosférico, emanaciones y otras, serán establecidas por la autoridad de salud”.

8.5. Caracterización y diagnóstico de las componentes ambientales y sociales.

8.5.1. Clima.

La topografía del sitio San Eloy es medianamente regular, la mayor parte de la población se encuentra en terreno casi plano, y una pequeña parte que se encuentra en el margen derecho de la vía Rocafuerte-Bahía de Caráquez se encuentra asentado en pequeñas elevaciones.

Precipitación.

El sitio San Eloy consta al igual que todo el territorio ecuatoriano con dos estaciones climatológicas bien definidas como son: Verano e Invierno.

El verano es la estación denominada seca y ésta se presenta entre los meses de mayo a noviembre; mientras que la estación de invierno es la lluviosa y aparece entre los meses de diciembre y abril.

La precipitación media anual es de 545.22 mm lo que corresponde alrededor del 81% de la precipitación de Invierno, lo que indica que las lluvias se dan solo en esta época.

No hay que descuidar épocas muy lluviosas, como son el “Fenómeno del Niño”, donde se presentaron precipitaciones hasta de 1559.00 mm.

Los cambios de las estaciones climatológicas se dan por las influencias de las corrientes marinas, como la corriente fría de Humbolt que se presenta en verano y la corriente cálida del niño que se presenta en invierno.

Período	Precipitación invierno (mm)	Precipitación anual (mm)
1982 - 1983	927,50	1490,50
1983 - 1984	481,90	798,30
1984 - 1985	269,40	333,60
1985 - 1986	325,70	327,40
1986 - 1987	509,20	551,70
1987 - 1988	179,20	213,40
1988 - 1989	529,40	531,30
1989 - 1990	125,80	131,60
1990 - 1991	173,20	176,60
1991 - 1992	712,10	801,30
1992 - 1993	330,80	332,90
1993 - 1994	329,50	375,20
1994 - 1995	222,40	229,40
1995 - 1996	284,80	290,30
1996 - 1997	475,30	556,90
1997 - 1998	1559,90	2028,30
1998 - 1999	60,30	100,10
Media	440,96	545,22
Porcentaje	80,88	

Tabla 8.2. Cuadro de la precipitación del recinto san eloy (Datos obtenidos del Inamhi, 1999).

Temperatura.

La temperatura promedio anual es de 26.73°C, la misma que varía en invierno entre 22°C y 30 °C; y en verano entre 21 °C y 29 °C, por lo que se puede decir que la temperatura en todo el año es constante y que la variación no excede los 3 °C.

Humedad.

La humedad indica la cantidad de vapor de agua contenido en el aire y la humedad relativa nos indica la relación en porcentaje de la

cantidad de vapor de agua respecto a los demás gases que conforman el mismo. El cien por ciento de la humedad indica que el aire está completamente saturado. Las máximas humedades que se presentan en esta zona son durante los meses de noviembre hasta abril y la media corresponde a un 84.58 %

Período	Humedad media invierno (%)	Temperatura máxima invierno (° C)	Temperatura mínima invierno (° C)	Temperatura máxima verano (° C)	Temperatura mínima verano (° C)
1982 - 1983	84,83	31,37	24,10	30,47	22,98
1983 - 1984	81,67	31,53	22,18	30,43	21,17
1984 - 1985	82,17	31,37	22,10	29,64	20,72
1985 - 1986	83,00	30,60	21,98	29,88	21,03
1986 - 1987	85,00	31,45	23,28	30,63	22,02
1987 - 1988	79,67	31,57	22,70	29,00	21,42
1988 - 1989	82,83	29,57	22,62	28,77	21,15
1989 - 1990	83,33	30,45	22,62	29,07	21,72
1990 - 1991	87,67	30,35	22,82	29,35	21,87
1991 - 1992	89,83	30,33	22,57	29,25	19,68
1992 - 1993	90,17	30,27	21,97	29,60	21,63
1993 - 1994	89,17	29,93	22,48	29,40	21,00
1994 - 1995	85,50	30,82	22,85	29,14	21,92
1995 - 1996	83,83	30,42	22,43	28,88	20,82
1996 - 1997	84,50	30,07	22,62	31,92	23,43
1997 - 1998	87,00	31,28	24,72	29,72	22,47
1998 - 1999	77,67	30,82	22,67	30,03	22,23
Media	84,58	30,72	22,75	29,72	21,60
		Promedio	26,73		

Tabla 8.3. Cuadro de la humedad y temperatura de la zona de proyecto. (Datos obtenidos del Inamhi, 1999).

Helifonía.

Se puede observar que en el sitio San Eloy la helifonía es la misma que en la mayor parte del Ecuador con un promedio de horas de brillo de sol es de 12 horas diarias de luz solar para los diferentes meses.

Vientos

Según mediciones realizadas los vientos que se presentan en este medio nunca han pasado los 40 Km/h, por lo que se consideran a los vientos de esta zona moderados. De acuerdo a la disposición geográfica del recinto san Eloy el clima que le corresponde es el Monzónico de acuerdo a la referencia de la clasificación de KOPPEN.

Calidad del aire.

La calidad del aire en la zona de estudio es muy buena, debido a la ausencia total de industrias que emanen gases tóxicos al ambiente, además de la escasa circulación de automotores en los sectores de interés.

Ruido.

El ruido de la zona es provocado casi en su totalidad por el tráfico automotor que circula por la vía Rocafuerte-Charapotó en niveles que pueden considerarse bajos, debido a que la circulación de vehículos no es muy significativa.

8.5.2. Flora y fauna.

Se producen plantas como: tomates, habas, plátanos, arroz y frutas como: mangos, melón y sandía.

Se encuentran en la región ganado vacuno, porcino, aves de corral que en la mayoría de los casos sirven para la alimentación interna de la zona; también existe ganado caballar (caballos, mulares, burros) que son utilizados para el trabajo doméstico, como para arado de tierra, transporte de personas y alimentos.

8.5.3. Medio social y económico de la región.

Ubicación geográfica.

San Eloy se encuentra ubicada en el Cantón Rocafuerte provincia de Manabí en las coordenadas E 560.000–E 561.000; N 9 902.000–N 9 903.000 sobre la margen derecha del Valle del Río Portoviejo a una altura de 15 m.s.n.m. En el Km 506 de la red vial costanera entre Rocafuerte y Charapotó.

Demografía

Según el último censo realizado por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y censos INEC, el recinto San Eloy en el 2001 tenía

una población de 1285 habitantes, de acuerdo con ese dato y al hacer cálculos se ha podido establecer población a futuro para el año 2027 la cual sera 1897 habitantes.

Año	Hombres	Mujeres	Total
2000	656	610	1266
2001	666	619	1285
2002	676	628	1304
2003	686	638	1324
2004	696	647	1343
2027	937	871	1897

Tabla 8.4. Cuadro de población proyectada para el año 2027

Economía

La principal actividad económica de los pobladores de San Eloy es la agricultura sobresaliendo la diversidad de cultivos de frutas y plantas antes mencionados que se da en la zona. Producción que satisface la demanda interna y también parte de la que existe en sus alrededores en las parroquias Rocafuerte y Charapotó. Lo que conlleva a pensar que existe un incipiente desarrollo del comercio y la ganadería.

Revisando datos estadísticos censales de esta zona de estudio se puede determinar que la población pertenece a la clase media y baja.

En un gran porcentaje las personas del recinto san eloy son de origen humilde, tienen una instrucción primaria y secundaria existiendo un mínimo porcentaje que asiste a los establecimientos de educación superior.

Sus habitantes provienen de diferentes sectores del país y de diferentes sectores rurales, sus ingresos son mínimos y en muchos casos no los tienen ya que no siempre poseen trabajo debido a que se dedican mayormente a la agricultura (actividad que se genera esporádicamente), y que solo puede dejar apretadamente para los gastos diarios en el hogar.

En este sector existe una comunidad organizada representativa en las funciones que pueden ayudar a su desarrollo.

Infraestructura

Existen alrededor de 200 viviendas unifamiliares, la que están conformadas:

- Construcción mixta, cimentaciones de hormigón, paredes de ladrillo y cubierta de zinc.
- Construcción de madera, paredes de madera y cubierta de zinc.

Abastecimiento de agua.

El abastecimiento de agua del recinto San Eloy está dividido en dos sectores, el primero que equivale al 60% de la población está dotado de agua, la misma que es extraída de un pozo somero para luego por medio de tubería es distribuida a dicho sector, éste sector está ubicado en el centro del recinto y a ambos lados de la carretera, el segundo sector equivalente al 40% de la población no posee agua por lo se abastece extrayendo agua del río, este sector está ubicada en las zonas altas y alejadas del centro de la población, cabe señalar que ninguno de los dos sistemas utilizados en el recinto son aptos para el consumo humano.

Alcantarillado sanitario.

La población no posee alcantarillado sanitario, el 20 % de ésta eliminan las aguas servidas por medio de letrinas pero no técnicamente construida y el 80% restante simplemente han cavado un hueco de un par de metros en el traspatio para realizar sus deposiciones. Además cabe recalcar que en la escuela Vicente Rocafuerte existen nueve baterías sanitarias las mismas que no se encuentran en un buen estado, se hace énfasis en este punto debido a que podrían ser un foco de infección para los niños que allí estudian.

Educación.

Solo cuenta con la escuela Vicente Rocafuerte, el mismo que consta con 187 alumnos, 7 profesores y ocho aulas, personal que conforman desde segundo a septimo año basico, no existen colegios y menos universidades.

Centros de salud.

No existen centros de salud, la más proxima esta a 4 Km. del sitio en Pasadero. La ayuda de las autoridades de la malaria se la

recibe en forma esporádica, existiendo una gran demanda de este servicio.

Vías de acceso.

La principal vía de comunicación es la carretera Rocafuerte-Bahía de Caráquez, vía de circulación permanente y asfaltada en parte de su trayecto, ya que en realidad esta vía está en deplorable estado por falta de mantenimiento. La distancia desde San Eloy a Portoviejo es de 30 Km y a Bahía de Caráquez es 50 Km.

Electrificación y telefonía.

El único servicio existente en el recinto es la energía eléctrica, y en cuanto a telefonía solo existe una pequeña central telefónica de Pacifictel.

Cabe señalar que existe un parque y cinco locales comerciales en el sitio.

8.6.Comparación ambiental de las alternativas.

Las dos alternativas que se analizarán son las siguientes:

a. Alternativa cero o sin proyecto.

Esta alternativa es la que más impactos desfavorables causará, ya que por toda la información recopilada, analizada y estudiada se puede afirmar que al no construirse los proyecto propuestos en el tema de tesis PROYECTO PARA EL ESTUDIO Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AAPP, AASS, AALL Y MANEJO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL SITIO SAN ELOY CANTON ROCAFUERTE PROVINCIA DE MANABI, complementado con nuestro tema propuesto, el recinto San Eloy nunca llegará al desarrollo desde todo punto de vista, debido a que el abastecimiento de agua potable, el sistema de alcantarillado y el tratamiento de las aguas residuales domésticas son prioridades, y entre los servicios básicos de una población son muy elementales.

La alternativa cero, además hará que se desperdicie la oportunidad de cientos de empleos al no llevarse a cabo el proyecto, ya que en la fase constructiva y en la de operación y mantenimiento de la obra se puede generar fuente de trabajo para los pobladores del recinto.

b. Alternativa con proyecto.

Sin duda es la mejor alternativa, causará impactos positivos importantes, la construcción del proyecto sería el comienzo del desarrollo de la población, los servicios básicos que faltaren serían menos, mejoraría la salud de los habitantes y se produciría muchos trabajos, para tanta gente que lo necesita.

Por todo lo anotado es importante que la obra se lleve a cabo por el bien del recinto San Eloy.

8.6.1. Identificación, caracterización y predicción de los impactos de la alternativa seleccionada.

Para identificar y valorar los impactos positivos y negativos que producirá el proyecto propuesto como es la construcción de un sistema de tratamiento natural de aguas residuales domésticas para el recinto San Eloy, se utilizará el método de la matriz de Leopold, la misma que consiste en una matriz formada por **factores ambientales (filas)** y **acciones** que se realicen en la construcción, operación y mantenimiento (**columnas**).

Para cada acción se determinará que factores ambientales se afectan y se las calificará cuantitativamente en términos de su **magnitud** e **importancia**. La magnitud de la acción se colocará en el lado izquierdo y la importancia en el lado derecho del casillero que estarán separados por un “/”.

Los valores de magnitud que se medirán tendrán un rango de 1 a 10, donde el 10 corresponde a magnitud de mayor impacto, y 1 representa la magnitud menor del impacto. En cuanto a si la magnitud del impacto es positivo o negativo, se empleará el signo (+) cuando el impacto sea positivo y el signo (-) cuando sea negativo. El valor de la importancia también se lo considera en una escala del 1 al 10, indicando 1 al de menor importancia y 10 al de mayor importancia, siempre se tomará a la importancia como absoluto o positivo. A partir de este procedimiento se calcularán los promedios positivos y negativos así como la agregación de impactos, y se cuantificará la acción más beneficiosa y la más dañina

MATRIZ DE LEOPOLD

Acción \ Parámetros ambientales	Señalización	Excavación	Reconformación y compactación	Construcción del Tanque Séptico y filtro anaeróbico	Colocación de tuberías	Relleno	Desalojo	Construcción del Pantano	Funcionamiento del sistema	AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTO
Espacios Abiertos y salvajes		-2 / 3	-1 / 3	-2 / 2		-1 / 3	-2 / 2	-2 / 2		0	6	-24
Flora		-2 / 4		-1 / 4	-1 / 4			6 / 8		1	3	32
Fauna								-1 / 6		0	1	-6
Salud y seguridad	9 / 9	9 / 8	9 / 8			8 / 8	8 / 6			5	0	337
Empleo				10 / 8	10 / 8			9 / 8	9 / 8	4	0	304
Vector de enfermedades e insectos		-2 / 6					-1 / 5	-3 / 6		0	3	-35
Aire		-1 / 2	-1 / 2							0	2	-4
Red de Servicios basicos				9 / 8				9 / 9		2	0	153
Zona residencial	3 / 6									1	0	18
AFECTACIONES POSITIVAS	2	1	1	2	1	1	1	3	1	COMPROBACION 775		
AFECTACIONES NEGATIVAS	0	4	2	2	1	1	2	3	0			
AGREGACIÓN DE IMPACTO	99	44	67	144	76	61	39	173	72			

Tabla 8.5. Matriz de Leopold

La graficación de los resultados de matriz en coordenadas cartesianas ofrece una excelente manera de destacar la posición general del impacto. Para esto en las abscisas se colocan los valores correspondientes a la magnitud de los efectos y en las ordenadas los valores de la importancia (a la cual se le asigna el mismo signo de la magnitud para obtener una nube en el primer y tercer cuadrante y poder visualizar mejor, por contraposición, los efectos que la acción causaría en el medio), se obtiene un gráfico de puntos de fácil interpretación como se muestra mas adelante.

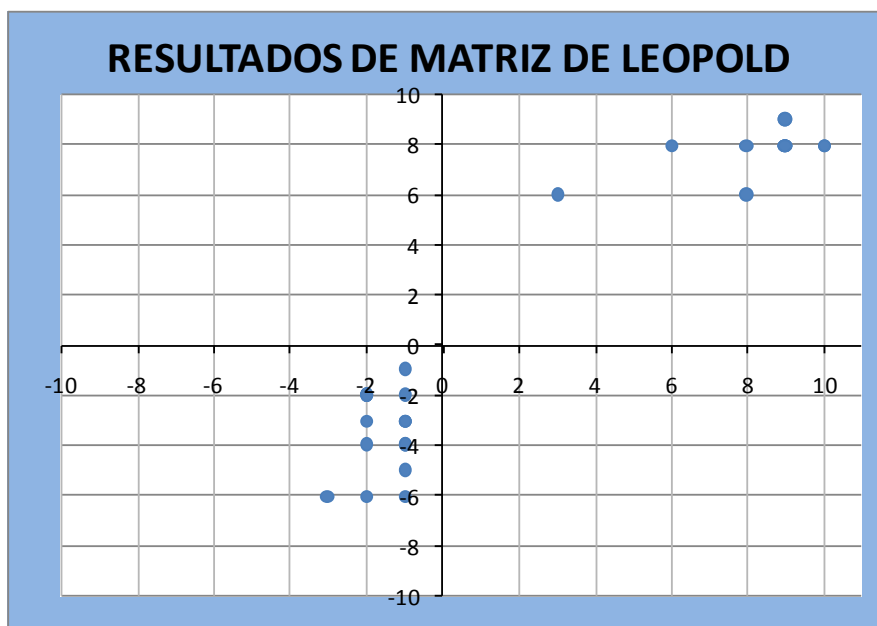
Los pares ordenados que salieron de la matriz son los siguientes:

-2	3	-1	3	-2	2	-1	3	-2	2
-1	3	-2	2	-2	2	-2	4	-1	4
-1	4	6	8	-1	6	9	9	9	8
9	8	8	8	8	6	10	8	10	8
9	8	9	8	-2	6	-1	5	-3	6
-1	2	-1	2	9	8	9	9	3	6

donde cada par, indica signo, magnitud e importancia.

Haciendo el cambio de signo para que los valores queden en el primer y tercer cuadrante del plano cartesiano los pares ordenados que se graficarían serían los siguientes:

-2	-3	-1	-3	-2	-2	-1	-3	-2	-2
-1	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-4	-1	-4
-1	-4	6	8	-1	-6	9	9	9	8
9	8	8	8	8	6	10	8	10	8
9	8	9	8	-2	-6	-1	-5	-3	-6
-1	-2	-1	-2	9	8	9	9	3	6



Graficación de los resultados de matriz de Leopold

En la tabla cartesiana de resultados de la matriz de Leopold se observa con facilidad que los pares negativos se encuentran en mayor cantidad pero con poca magnitud y e importancia, a diferencia de los pares positivos, los cuales son pocos pero se observa que tienen gran magnitud e importancia bastante grande.

Por lo que se indica la ejecución obra resulta beneficiosa.

8.7. Plan de manejo ambiental.

El plan de manejo ambiental está orientado a cristalizar las acciones que permitan evitar, mitigar, corregir, restaurar y compensar los daños por el proyecto en sus fases de pre-construcción, construcción, operación y mantenimiento, por lo cual se lo diseña cuando se ha identificado la alternativa óptima del proyecto, que en la mayoría de casos ocurre cuando se ha iniciado la fase de diseños definitivos del mismo.

Las medidas correctoras utilizadas en un impacto ambiental son:

Medidas de nulificación: Este tipo contemplan las modificaciones parcial o total del proyecto para evitar llevar a cabo las acciones que podrían causar los detrimentos identificados, se las emplea generalmente cuando el proyecto está en sus primeras etapas de planificación.

Medidas de mitigación: Este tipo de medidas tienden a minimizar los efectos negativos mediante la ejecución de una serie de acciones subsidiarias, este tipo de medida puede ser aplicada en cualquier etapa de planificación en la que se encuentre el proyecto.

Medidas de prevención: Son medidas que identifican impactos negativos, y se toman para evitar que ellos sucedan a través de la realización de acciones subcidiarias del proyecto.

Medidas de compensación: Existen ciertos factores ambientales que no pueden ser prevenidos y que tampoco son susceptibles de mitigación. En estos casos puede ser necesario que se tomen medidas de compensación. Las medidas de compensación tienden a retituir las condiciones del ambiente antes de la aplicación del proyecto o a producir situaciones similares para no afectar la vida de los directamente involucrados por los efectos negativos identificados.

Medidas de contingencia: Este tipo de medidas son las que se realizan frente a riesgos.

Medidas de estimulación: Son aquellas acciones que se toman para producir un incremento en los impactos positivos, y lograr aun más la optimización del proyecto en cuestión.

8.7.1. Medidas esperadas en la ejecución del proyecto.

En las siguientes tablas se citan las medidas esperadas en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.

Acapite	Medida	Efecto	Responsable		Costo	Tipo de medida
			Ejecucion	Control		
Planificación de logística constructiva	*Dar charlas orientadas a trabajadores	Desorientación, retrasos, descontento, riesgo y falta de seguridad	Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	\$ 300,00	Preventiva/Mitigación
	*Planificar vías y accesos de ingreso de material, maquinaria y desalojo		Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	sc	Preventiva/Mitigación
	*Mantener coordinación con los fiscalizadores, constructores, guardianes, contatistas y autoridades en cargadas de la obra		Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	sc	Preventiva/Mitigación
	*Difusión por parlantes para informar a la comunidad		Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	\$ 200,00	Preventiva
Señalización	*Colocar letreros para el tránsito vehicular y peatonal referente a la zona de construcción	Riesgo, seguridad y accidentes; salud pública y ocupacional	Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	\$ 450,00	Preventiva
	*Informar a todas las personas sobre las zonas restringidas alrededor de la construcción.		Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	\$ 150,00	Preventiva
Salud y Seguridad	*Proveer equipos adecuados y servicios de primeros auxilios a trabajadores cumpliendo así con normas de seguridad e higiene.	Daños a la salud pública, prevención de accidentes, evitar sitios sucios	Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	\$ 120,00	Preventiva
	*Proveer Servicios higienicos y sitios donde comer a trabajadores		Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	\$ 1.000,00	Preventiva
	*Dotar de equipos de seguridad para proteger la integridad física de los trabajadores y operadores de equipos pesados (cascos, guantes, botas, mascarillas, cinturones, etc).		Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	\$ 2.500,00	Preventiva
Transporte adecuado de materiales para la construcción hacia la obra y desechos	*Eliminación adecuada del desalojo en lugares asignados po el municipio	Suciedad, impacto visual negativo, polvo, malos olores.	Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades competetes	sc	Correctiva
	*Controlar el traslado de material de construcción hacia la obra y el sitio de desalojo, emplear a los vehículos con lonas ara cubriri los baldes y evitar que se derrame el material en la vía		Constructora/contratista-Transportistas	Fiscalizador-Autiridades competetes	\$ 4.000,00	Preventiva
Contaminación	Humedecimiento de tierra	Polvo, enfermedades, Ruido, polvo, accidentes, enfermedades	Constructora/contratista	Fiscalizador-Autiridades	\$ 390,00	Correctiva
	Mantener en buen funcionamiento y calibración la maquinaria y equipos pesados utilizados, de manera que no se presenten ruidos ni gases fuera de lo normal.		Constructora/contratista-Transportistas	Fiscalizador-Autiridades competetes	sc	Preventiva

Tabla 8.6. Medidas esperadas en la etapa de construcción

Acapite	Medida	Efecto	Responsable		Costo	Tipo de medida
			Ejecucion	Control		
Control adecuado para el funcionamiento del humedal	Verificar por semana de parte de la institución encargada	Observar que el flujo del humedal alcance todas las partes del mismo	Contratista	Autoridades competentes	sc	De control
	Dictar charlas y dar información para indicar los beneficios y perjuicios del proyecto.	Falta de colaboración por parte de la comunidad	Contratista	Autoridades competentes	\$ 510,00	Preventiva
	Tener personal calificado para remover especies invasoras	Mantener limpio el humedal para su buen funcionamiento	Contratista	Autoridades competentes	\$ 300,00	De control

Tabla 8.7. Medidas esperadas en la etapa de operación y mantenimiento.

Sin duda alguna los principales efectos o impactos positivos esperados son dos los principales:

- Mejorar la calidad de vida del recinto San Eloy
- Crear fuentes de trabajos para la población e incrementar la economía del sector.

8.8. Costos ambientales.

A continuación se detalla el presupuesto del plan de manejo ambiental

ITEM	Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Planificación de logística constructiva				
	Charlas e instructivos	Global	1	\$ 300,00	\$ 300,00
	Difusión por parlantes	U	8	\$ 25,00	\$ 200,00
2	Señalización				
	Letreros y carteles	U	10	\$ 45,00	\$ 450,00
3	Salud y Seguridad				
	Botiquín de primeros auxilios	Global	1	\$ 120,00	\$ 120,00
	Letrina y pozo séptico	Global	1	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
4	Transporte adecuado de materiales para la construcción hacia la obra y desechos				
	Cascos, guantes, botas, mascarillas, cinturones, etc	U	50	\$ 50,00	\$ 2.500,00
5	Contaminación				
	Humedecimiento de tierra	U	15	\$ 26,00	\$ 390,00
TOTAL					\$ 4.960,00

Tabla 8.8. Presupuesto referencial del plan de manejo ambiental-fase de construcción

	Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
6	Control adecuado para el funcionamiento del humedal				
	Dictar charlas y dar información para indicar los beneficios y perjuicios del proyecto.	Global	1	\$ 510,00	\$ 510,00
	Tener personal calificado para remover especies invasoras	Global	1	\$ 300,00	\$ 300,00
TOTAL					\$ 810,00

Tabla 8.9. Presupuesto referencial del plan de manejo ambiental-fase de operación y mantenimiento

	Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	FASE DE CONSTRUCCION	Unidad	1	\$ 4.960,00	\$ 4.960,00
	FASE DE OPERACIÓN Y MENTENIMIENTO	Unidad	1	\$ 810,00	\$ 810,00

TOTAL DE PRESUPUESTO DE PLAN DE MANEJO AMBIENTAL					\$ 5.770,00
---	--	--	--	--	--------------------

Tabla 8.10. Presupuesto referencial del plan de manejo ambiental-Resumen general- Fase de construcción y Fase de operación y mantenimiento.

8.9. Conclusiones y recomendaciones.

8.9.1. Conclusiones.

- ✓ Se realizó un estudio de las condiciones ambientales que se dan en la zona de estudio.
- ✓ Se identificaron las actividades que se pudieran dar y el medio que se podría afectar al construir el proyecto.
- ✓ Se evaluó mediante la Matriz de Leopold los impactos positivos y negativos que se pudieran dar en el proyecto en cuestión, tomando en cuenta la magnitud e importancia de cada impacto.
- ✓ Se describió las medidas correctivas a emplearse y se elaboró un plan de manejo ambiental.
- ✓ Con todo lo anotado y analizado anteriormente la conclusión más sobresaliente e importante es que sea factible construcción del proyecto.

8.9.2. Recomendaciones.

Fase de construcción.

- ✓ Se deberá contar con tanque de reserva para proveerse de agua durante la construcción.
- ✓ Cuando se encuentre en la fase constructiva del proyecto en lo posible solicitar hormigones prefabricados, ya que estos cumplen con las especificaciones técnicas y además evitan la contaminación que se realiza tanto con las envolturas de los cementos como del material propiamente dicho al combinarlos en mezcladoras, ya que éstas generan polvo y contaminación auditiva.
- ✓ Para evitar polvo, ruido, gases en la construcción se debe cumplir con las siguientes medidas:
 - Mantenimiento semanal de las maquinarias y equipos.
 - Humedecimiento del material para evitar el polvo.
 - La basura se almacenará en recipientes fijos para realizar su respectiva recolección y tratamiento a diario.
 - La ejecución de la obra deberá realizarse de acuerdo al cronograma de obra establecido por el constructor o

compañía constructora, para contribuir de manera inmediata con el mejoramiento de las condiciones sanitarias y por ende de la vida de los pobladores.

Fase de operación y mantenimiento.

- ✓ No permitir que se generen asentamientos alrededor del pantano y mucho menos sobre el pantano ya que se formarán cargas sobre el suelo que no están previstas y deteriorarían al reactor y su funcionamiento.
- ✓ No se debe tolerar que se utilice el área destinada al pantano para ningún otro tipo de siembra que no sea la especificada en los manuales de operación y mantenimiento.
- ✓ Para las épocas de fenómenos sobrenaturales (El niño) observar los niveles en que está trabajando el pantano, para que funcione con niveles como se especifican en los planos.
- ✓ Caso contrario y que esté trabajando con niveles por arriba de los indicados, mejor mantener el agua residual almacenada en las cámaras sépticas que preceden a este sistema.
- ✓ Capacitar a los trabajadores con seminarios de seguridad industrial para tratar de disminuir al máximo los riesgos

laborales.

- ✓ Inspección técnica permanente al reactor-ecosistema (pantano artificial).
- ✓ Solicitar a quien ejecute la obra dejar elaborados planos de como se ejecuta en sitio la obra, ya que pocas veces se cumple estrictamente lo que establecen los planos por imprevistos que se presentan.
- ✓ Exigir al personal que se encarga de la operación y mantenimiento que cumpla con las normas de seguridad industrial básicas.
- ✓ Tratar de imponer una tarifa que se cobrará a la comunidad por intermedio de la Municipalidad o al ente que corresponda, para así a través de éste fondo capacitar a personas de la comunidad para el cuidado y correcto funcionamiento del sistema de flujo libre.
- ✓ Inspeccionar periódicamente que las bacterias que se encargan de la descomposición o desdoblamiento de la materia orgánica posean las condiciones de vida necesaria para llevar a cabo su trabajo.
- ✓ Realizar un programa de Educación Ambiental a la población.

- ✓ La proliferación de mosquitos y el crecimiento de malas hierbas se debe a una sobrecarga orgánica y a que se presentan condiciones para las que no está diseñados este tipo de sistemas de flujo subsuperficial
- ✓ Se debe cuidar la reducción de la carga orgánica en las etapas previas.
- ✓ Para la eliminación de las malas hierbas no sería pertinente el uso de insecticidas o herbicidas; y debe tenerse en cuenta que el uso de este tipo de elementos puede hacer colapsar la vegetación y evitar su normal crecimiento.

CAPÍTULO 9

9. PRESUPUESTO.

En este capítulo se abordará el presupuesto referencial de construcción del sistema de tratamiento propuesto: presupuesto humedal de flujo libre, así como también el presupuesto del tanque séptico y filtro anaeróbico.

Este presupuesto servirá para tener una idea del costo del proyecto si se lo llegase a construir. El presupuesto contiene el análisis de costos unitarios de cada rubro incluido en la tabla de cantidades de la obra.

A continuación se describen los rubros, cantidades y precios unitarios.

9.1. Presupuesto referencial.

9.1.1. Presupuesto referencial de construcción del tanque séptico y filtro anaeróbico

PRESUPUESTO REFERENCIAL DE CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL RECINTO "SAN ELOY"

REFERENCIA: CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE SÉPTICO Y FILTRO ANAERÓBICO

ITEM	Rubro	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total
	Preliminares				
	Limpieza del terreno	m ²	226,90	\$ 0,70	\$ 158,83
	Trazado y replanteo	m ²	206,25	\$ 1,12	\$ 231,00
	Movimiento de tierra				
	Excavación para el tanque séptico	m ³	886,88	\$ 3,92	\$ 3.476,57
	Reconformacion del terreno	m ²	206,25	\$ 6,93	\$ 1.429,31
	Relleno compactado con material mejorado	m ³	30,94	\$ 11,03	\$ 341,27
	Desalojo de material	m ³	835,32	\$ 3,02	\$ 2.522,67
	Entibado de protección	Global	1,00	\$ 1.956,51	\$ 1.956,51
	Obra Civil				
	Replanteo de hormigón simple, e=5cm	m ²	160,55	\$ 10,22	\$ 1.640,82
	Hormigón Armado, f'c= 210 Kg./cm ² para tanque septico y filtro anaerobico (inc. Encofrado y enlucido)	m ³	148,16	\$ 397,85	\$ 58.945,46
	Tapas de grafito esferoidal	Unidad	7,00	\$ 645,47	\$ 4.518,29
	Cajas de revision de hormigon simple	m ³	2,29	\$ 205,47	\$ 470,53
	Tapas de hormigon armado para cajas de revision de 1,00x1,00m, e=0,20m	Unidad	3,00	\$ 76,62	\$ 229,86
	Provision y colocacion de grava	m ³	131,07	\$ 18,23	\$ 2.389,41
	Tuberias y accesorios				
	Tuberias y accesorios para tanque septico y filtro anaerobico	Global	1,00	\$ 2.249,76	\$ 2.249,76
	Accesorios varios (losetas perforadas prefabricadas, dados, escalera, etc)	Global	1,00	\$ 1.532,22	\$ 1.532,22

SUBTOTAL

\$ 82.092,51

9.1.2. Presupuesto referencial de construcción del humedal de flujo libre.

PRESUPUESTO REFERENCIAL DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL RECINTO "SAN ELOY" REFERENCIA: CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL DE FLUJO LIBRE

ITEM	Rubro	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total
	Preliminares				
	Limpieza del terreno	m ²	11410	\$ 0,70	\$ 7.987,00
	Trazado y replanteo	m ²	10410	\$ 1,12	\$ 11.659,20
	Movimiento de tierra				
	Excavación para pantano	m ³	14987,21	\$ 3,91	\$ 58.599,99
	Reconformacion del terreno	m ²	10570	\$ 6,93	\$ 73.250,10
	Desalojo de material	m ³	12873,21	\$ 3,02	\$ 38.877,09
	Obra Civil				
	Impermeabilizacion con geomembrana	m ²	4225,12	\$ 6,00	\$ 25.350,72
	Construcción del taludes para muros del pantano	m ³	3564,88	\$ 2,11	\$ 7.521,90
	Construcción de canal de distribución de hormigón armado de aguas residual	m ³	25,81	\$ 397,85	\$ 10.268,51
	Cajas de revision de hormigon simple	m ³	1,52	\$ 205,47	\$ 312,31
	Tapas de hormigon armado para cajas de revision de 1,00x1,00m, e=0,20m	Unidad	2	\$ 76,62	\$ 153,24
	Tuberías y accesorios				
	Tuberías, valvulas y accesorios para pantano	Global	1	\$ 1.700,00	\$ 1.700,00
	Vegetación				
	Implantacion de vegetación (Juncos)	Unidad	14810	\$ 2,87	\$ 42.504,70
SUBTOTAL					\$ 278.184,76

9.1.3. Resumen.

PRESUPUESTO REFERENCIAL DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL RECINTO "SAN ELOY"

RESUMEN					
	Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	TANQUE SEPTICO Y FILTRO ANAERÓBICO	Unidad	1	\$ 82.092,51	\$ 82.092,51
	HUMEDAL ARTIFICIAL	Unidad	1	\$ 278.184,76	\$ 278.184,76
CONTRUCCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO					\$ 360.277,27

9.1. Análisis de costos unitarios.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m²

REND H= 0.01

DETALLE: Limpieza del terreno
Preliminares

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07		0.00	
Retroexcavadora	1.00	25.00	25.00		0.25	
Volqueta	1.00	25.00	25.00		0.25	
SUBTOTAL M					0.50	86.84
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		0.02	
Machetero	2.00	1.51	3.02		0.03	
Oficial	2.00	1.51	3.02		0.03	
SUBTOTAL N					0.08	13.16
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
SUBTOTAL O						
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	-			
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					0.58	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	0.09 12.92
OTROS INDIRECTOS					5%	0.03 4.31
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.70	100.00
VALOR OFERTADO					\$	0.70

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL
DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m²

REND H= 0.2

DETALLE: Trazado y replanteo
Preliminares

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07		0.01	
Teodolito	1.00	1.50	1.50		0.30	
SUBTOTAL M					0.31	33.76
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Topografo	1.00	1.54	1.54		0.31	
Cadenero	1.00	1.53	1.53		0.31	
-		-				
SUBTOTAL N					0.61	66.24
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Cal	Libra					
-	-					
-	-					
-	-					
-	-					
-	-					
SUBTOTAL O						
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	-			
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					0.93	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	0.14 12.53
OTROS INDIRECTOS					5%	0.05 4.48
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1.12	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 1.12	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL
DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROponente: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m³

REND H= 0.1

DETALLE: Excavación para el tanque séptico
Movimiento de tierra

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07		0.01	
Retroexcavadora	1.00	25.00	25.00		2.50	
SUBTOTAL M					2.51	76.66
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.		%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55	0.16		
Albañil	2.00	1.53	3.06	0.31		
Oficial	2.00	1.51	3.02	0.30		
SUBTOTAL N					0.76	23.34
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
SUBTOTAL O						
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	-			
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					3.27	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	0.49
OTROS INDIRECTOS					5%	0.16
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3.92	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 3.92	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL
DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m²

REND H= 0.17

DETALLE: Reconformacion del terreno
 Movimiento de tierra

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07	0.01	
Compactador	1.00	1.25	1.25	0.21	
Retroexcavadora	1.00	25.00	25.00	4.25	
SUBTOTAL M				4.47	77.52
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55	0.26	
Albañil	2.00	1.53	3.06	0.52	
Oficial	2.00	1.51	3.02	0.51	
SUBTOTAL N				1.30	22.48
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	%
-	-	1.03			
-	-				
-	-				
-	-				
-	-				
SUBTOTAL O					
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	%
Transporte	u	1.0000	-		
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				5.77	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES				15%	0.87 12.55
OTROS INDIRECTOS				5%	0.29 4.18
COSTO TOTAL DEL RUBRO				6.93	100.00
VALOR OFERTADO				\$ 6.93	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL
DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROponente: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m³

REND H= 0.33

DETALLE: Relleno compactado con material mejorado
 Movimiento de tierra

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		0.02	
Compactador	1.00	1.25	1.25		0.41	
SUBTOTAL M					0.43	4.67
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.		%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55	0.51		
Albañil	2.00	1.53	3.06	1.01		
Oficial	2.00	1.51	3.02	1.00		
SUBTOTAL N					2.52	27.40
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Cascajo	m ³	1.03	6.00	6.18		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
SUBTOTAL O					6.18	67.26
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	0.06	0.06		
SUBTOTAL P					0.06	0.67
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					9.19	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	1.38 12.51
OTROS INDIRECTOS					5%	0.46 4.17
COSTO TOTAL DEL RUBRO					11.03	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 11.03	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL
DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m³

REND H= 0.1

DETALLE: Desalojo de material
Movimiento de tierra

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05	0.01	
Volqueta	1.00	25.00	25.00	2.50	
SUBTOTAL M				2.51	100.00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor		1.55			
Albañil		1.53			
Oficial		1.51			
SUBTOTAL N					
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	%
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
SUBTOTAL O					
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	%
Transporte	u	1.0000	-		
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				2.51	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES				15%	0.38 12.60
OTROS INDIRECTOS				5%	0.13 4.31
COSTO TOTAL DEL RUBRO				3.02	100.00
VALOR OFERTADO				\$ 3.02	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL
DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROponente: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: Global

REND H= 15

DETALLE: Entibado de protección
Movimiento de tierra

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07	0.98	
SUBTOTAL M				0.98	0.06
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55	23.25	
Albañil	2.00	1.53	3.06	45.90	
Oficial	2.00	1.51	3.02	45.30	
SUBTOTAL N				114.45	7.02
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	%
Entibado de protección	Global	1.00	1,500.00	1,500.00	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
SUBTOTAL O				1,500.00	92.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	%
Transporte	u	1.0000	15.00	15.00	
SUBTOTAL P				15.00	0.92
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				1,630.43	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES				15%	244.56
OTROS INDIRECTOS				5%	81.52
COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,956.51	100.00
VALOR OFERTADO				\$ 1,956.51	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL
DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROponente: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m³

REND H= 0.1

DETALLE: Excavación para pantano
Movimiento de tierra

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07		0.01	
Retroexcavadora	1.00	25.00	25.00		2.50	
SUBTOTAL M					2.51	76.80
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Plomero	1.00	1.53	1.53		0.15	
Ayudante de Plomero	2.00	1.51	3.02		0.30	
Oficial	2.00	1.51	3.02		0.30	
SUBTOTAL N					0.76	23.20
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
SUBTOTAL O						
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	-			
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					3.26	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	0.49 12.52
OTROS INDIRECTOS					5%	0.16 4.09
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3.91	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 3.91	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE
FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROponente: XAVIER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m²

REND H= 0.2

DETALLE: Replanto de hormigón simple, e=5cm
 Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07		0.01	
Vibrador	1.00	1.25	1.25		0.25	
Concretera	1.00	1.75	1.75		0.35	
SUBTOTAL M					0.61	7.20
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		0.31	
Albañil	2.00	1.53	3.06		0.61	
Oficial de Albañil	4.00	1.51	6.04		1.21	
Carpintero	1.00	1.53	1.53		0.31	
SUBTOTAL N					2.44	28.62
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Cemento tipo 1	Saco	0.30	5.80	1.74		
Arena gruesa	m ³	0.03	12.50	0.38		
Piedra ¾	m ³	0.04	14.60	0.58		
Agua	m ³	0.01	1.10	0.01		
Cañas rollizas	Unid	0.17	1.50	0.26		
Tablas para encofrado	Unidad	0.50	2.20	1.10		
Cuartón de encofrado 2" x 3" x 4m	Unidad	0.40	1.80	0.72		
Tira de encofrado 1 x 3 x 3.8 m	Unidad	0.14	1.20	0.17		
Clavos de 2" a 3 1/2"	Kg.	0.13	1.20	0.16		
Alambre recocado 18	Kg	0.18	1.00	0.18		
Plastocrete DM	Kg	0.15	0.80	0.12		
SUBTOTAL O					5.41	63.54
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	0.05	0.05		
SUBTOTAL P					0.05	0.64
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					8.51	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	1.28
OTROS INDIRECTOS					5%	0.43
COSTO TOTAL DEL RUBRO					10.22	100.00
VALOR OFERTADO					\$	10.22

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE

NOMBRE DEL PROPONENTE:

XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO:

UNIDAD: m³

REND H=

5.16

DETALLE:

Hormigón Armado, f'c= 210 Kg./cm² para tanque septico y filtro anaerobico (inc. Encofrado y enlucido)
Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07		0.34	
Vibrador	1.00	1.25	1.25		6.45	
Concretera	1.00	1.75	1.75		9.03	
SUBTOTAL M					15.82	4.77
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		8.00	
Albañil	2.00	1.53	3.06		15.79	
Oficial de Albañil	2.00	1.51	3.02		15.58	
Carpintero	3.00	1.53	4.59		23.68	
Fierrero	4.00	1.51	6.04		31.17	
SUBTOTAL N					94.22	28.42
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Cemento tipo I	Saco	7	5.80	40.60		
Arena gruesa	m ³	0.6	12.50	7.50		
Piedra ¾	m ³	0.9	14.60	13.14		
Agua	m ³	0.22	1.10	0.24		
Cañas rollizas	Unid	3.5	1.50	5.25		
Tablas para encofrado	Unidad	10	2.20	22.00		
Cuartón de encofrado 2" x 3" x 4m	Unidad	8	1.80	14.40		
Tira de encofrado 1 x 3 x 3.8 m	Unidad	2.7	1.20	3.24		
Clavos de 2" a 3 1/2"	Kg.	2.5	1.20	3.00		
Alambre recocido 18	Kg	3.5	1.00	3.50		
Hierro estructural 4200 kg/cm2	Kg	137	0.76	104.12		
Plastocrete DM	Kg	2.9	0.80	2.32		
SUBTOTAL O					219.31	66.15
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	2.19	2.19		
SUBTOTAL P					2.19	0.66
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					331.54	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	49.73
OTROS INDIRECTOS					5%	16.58
COSTO TOTAL DEL RUBRO					397.85	100.00
VALOR OFERTADO					\$	397.85

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: Unidad

REND H= 2.63

DETALLE: Tapas de grafito esferoidal
 Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		0.13	
SUBTOTAL M					0.13	0.02
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%	
Plomero	1.00	1.53	1.53	4.02		
Ayudante de Plomero	2.00	1.51	3.02	7.94		
Oficial	2.00	1.51	3.02	7.94		
SUBTOTAL N				19.91	3.70	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	%	
HCIP 800 Clase C250	Unidad	1.00	512.73	512.73		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
SUBTOTAL O				512.73	95.32	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	%	
Transporte	u	1.0000	5.13	5.13		
SUBTOTAL P				5.13	0.95	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				537.90	100.00	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				15%	80.68	12.50
OTROS INDIRECTOS				5%	26.89	4.17
COSTO TOTAL DEL RUBRO					645.47	100.00
VALOR OFERTADO				\$	645.47	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m³

REND H= 3.6

DETALLE: Cajas de revision de hormigon simple
 Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07		0.23	
Vibrador	1.00	1.25	1.25		4.50	
Concretera	1.00	1.75	1.75		6.30	
SUBTOTAL M					11.03	6.44
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		5.58	
Albañil	2.00	1.53	3.06		11.02	
Oficial de Albañil	4.00	1.51	6.04		21.74	
Carpintero	1.00	1.53	1.53		5.51	
SUBTOTAL N					43.85	25.61
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Cemento tipo 1	Saco	7.00	5.80	40.60		
Arena gruesa	m ³	0.60	12.50	7.50		
Piedra ¾	m ³	0.90	14.60	13.14		
Agua	m ³	0.22	1.10	0.24		
Cañas rollizas	Unid	3.50	1.50	5.25		
Tablas para encofrado	Unidad	10.00	2.20	22.00		
Cuartón de encofrado 2" x 3" x 4m	Unidad	8.00	1.80	14.40		
Tira de encofrado 1 x 3 x 3.8 m	Unidad	2.70	1.20	3.24		
Clavos de 2" a 3 1/2"	Kg.	2.50	1.20	3.00		
Alambre recocado 18	Kg	3.50	1.00	3.50		
Plastocrete DM	Kg	2.90	0.80	2.32		
SUBTOTAL O					115.19	67.27
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	1.15	1.15		
SUBTOTAL P					1.15	0.67
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					171.23	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	25.68 12.50
OTROS INDIRECTOS					5%	8.56 4.17
COSTO TOTAL DEL RUBRO					205.47	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 205.47	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: Unidad

REND H= 0.75

DETALLE: Tapas de hormigon armado para cajas de revision de 1,00x1,00m, e=0,20m
 Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		0.04	
Vibrador	1.00	1.25	1.25		0.94	
Concretera	1.00	1.75	1.75		1.31	
SUBTOTAL M					2.29	3.58
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		1.16	
Albañil	1.00	1.53	1.53		1.15	
Oficial de Albañil	2.00	1.51	3.02		2.27	
Carpintero	3.00	1.53	4.59		3.44	
SUBTOTAL N					8.02	12.56
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Cemento tipo 1	Saco	1.50	5.80	8.70		
Arena gruesa	m³	0.12	12.50	1.50		
Piedra ¾	m³	0.18	14.60	2.63		
Agua	m3	0.04	1.10	0.04		
Cañas rollizas	Unid	0.70	1.50	1.05		
Tablas para encofrado	Unidad	2.00	2.20	4.40		
Cuartón de encofrado 2" x 3" x 4m	Unidad	1.60	1.80	2.88		
Tira de encofrado 1 x 3 x 3.8 m	Unidad	0.54	1.20	0.65		
Clavos de 2" a 3 1/2"	Kg.	0.50	1.20	0.60		
Alambre recocido 18	Kg	0.70	1.00	0.70		
Hierro estructural 4200 kg/cm2	Kg	27.50	0.76	20.90		
Plastocrete DM	Kg	0.58	0.80	0.46		
Marco y contramarca para tapa de cajas de inspección	Global	1.00	8.50	8.50		
SUBTOTAL O					53.01	83.03
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	0.53	0.53		
SUBTOTAL P					0.53	0.83
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					63.85	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	9.58 12.50
OTROS INDIRECTOS					5%	3.19 4.16
COSTO TOTAL DEL RUBRO					76.62	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 76.62	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR
MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m³

REND H= 0.8

DETALLE: Provision y colocacion de grava
 Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		0.04	
SUBTOTAL M					0.04	0.26
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		1.24	
Albañil	2.00	1.53	3.06		2.45	
Oficial de Albañil	2.00	1.51	3.02		2.42	
SUBTOTAL N					6.10	40.17
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Piedra #4	m ³	1.03	8.70	8.96		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
SUBTOTAL O					8.96	58.97
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	0.09	0.09		
SUBTOTAL P					0.09	0.59
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					15.19	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	2.28
OTROS INDIRECTOS					5%	0.76
COSTO TOTAL DEL RUBRO					18.23	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 18.23	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR
MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN

NOMBRE DEL PROPONENTE:

XAVIER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO:

UNIDAD: m²

REND H=

0.1

DETALLE:

Impermeabilizacion con geomembrana
Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		0.01	
SUBTOTAL M					0.01	0.10
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		0.16	
Albañil	2.00	1.53	3.06		0.31	
Oficial de Albañil	2.00	1.51	3.02		0.30	
SUBTOTAL N					0.76	15.27
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Geomembrana	m ²	1.03	4.00	4.12		
Rollo de hilo de extrusion de polietileno de 7.8kg.	Unidad	0.00013	218.40	0.03		
Enbed channel de polietileno	ml	0.0022	17.00	0.04		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
SUBTOTAL O					4.19	83.79
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	0.04	0.04		
SUBTOTAL P					0.04	0.84
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					5.00	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	0.75 12.51
OTROS INDIRECTOS					5%	0.25 4.17
COSTO TOTAL DEL RUBRO					6.00	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 6.00	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR
MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: m³

REND H= 0.03

DETALLE: Construcción del taludes para muros del pantano
 Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		0.00	
Compactador		1.25				
Retroexcavadora	1.00	25.00	25.00		0.75	
rodillo	1.00	26.00	26.00		0.78	
SUBTOTAL M					1.53	87.00
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		0.05	
Albañil	2.00	1.53	3.06		0.09	
Oficial	2.00	1.51	3.02		0.09	
SUBTOTAL N					0.23	13.00
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
-	-	-	-			
SUBTOTAL O						
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	-			
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					1.76	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	0.26 12.32
OTROS INDIRECTOS					5%	0.09 4.26
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2.11	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 2.11	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR
MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN

NOMBRE DEL PROPONENTE:

XAVIER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO:

UNIDAD: m³

REND H=

5.16

DETALLE:

Construcción de canal de distribución de hormigón armado de aguas residual
 Obra Civil

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.13	0.50	0.07		0.34	
Vibrador	1.00	1.25	1.25		6.45	
Concretera	1.00	1.75	1.75		9.03	
SUBTOTAL M					15.82	4.77
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1.00	1.55	1.55		8.00	
Albañil	2.00	1.53	3.06		15.79	
Oficial de Albañil	2.00	1.51	3.02		15.58	
Carpintero	3.00	1.53	4.59		23.68	
Ferrero	4.00	1.51	6.04		31.17	
SUBTOTAL N					94.22	28.42
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%
Cemento tipo I	Saco	7	5.80	40.60		
Arena gruesa	m ³	0.6	12.50	7.50		
Piedra ¾	m ³	0.9	14.60	13.14		
Agua	m ³	0.22	1.10	0.24		
Cañas rollizas	Unid	3.5	1.50	5.25		
Tablas para encofrado	Unidad	10	2.20	22.00		
Cuartón de encofrado 2" x 3" x 4m	Unidad	8	1.80	14.40		
Tira de encofrado 1 x 3 x 3.8 m	Unidad	2.7	1.20	3.24		
Clavos de 2" a 3 1/2"	Kg.	2.5	1.20	3.00		
Alambre recocido 18	Kg	3.5	1.00	3.50		
Hierro estructural 4200 kg/cm2	Kg	137	0.76	104.12		
Plastocrete DM	Kg	2.9	0.80	2.32		
SUBTOTAL O					219.31	66.15
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%
Transporte	u	1.0000	2.19	2.19		
SUBTOTAL P					2.19	0.66
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					331.54	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	49.73
OTROS INDIRECTOS					5%	16.58
COSTO TOTAL DEL RUBRO					397.85	100.00
VALOR OFERTADO					\$	397.85

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL
DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: Global

REND H= 26.2

DETALLE: Tuberías y accesorios para tanque septico y filtro anaerobico
Tuberías y accesorios

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		1.31	
SUBTOTAL M					1.31	0.07
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%	
Plomero	1.00	1.53	1.53	40.09		
Ayudante de Plomero	2.00	1.51	3.02	79.12		
Oficial	2.00	1.51	3.02	79.12		
SUBTOTAL N				198.33	10.58	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	%	
Tubería de PVC Desagüe de 200mm.	Metro	36.00	11.37	409.32		
Codo de PVC Desagüe de 90 ° x 200 mm	Unidad	1.00	24.67	24.67		
Tee de PVC desagüe ø 200 mm	Unidad	6.00	25.25	151.50		
Tapón H. de PVC Desagüe de 200 mm	Unidad	1.00	8.42	8.42		
Soportes para tubería tipo pera ø 200mm	Unidad	7.00	6.60	46.20		
Varilla roscada galvanizada de 3/8 x 0.40 m	ml.	7.00	3.20	22.40		
Tubería de PVC Desagüe de 75mm.	Metro	2.00	2.74	5.48		
Codo de PVC Desagüe de 90 ° x 75 mm	Unidad	2.00	1.24	2.48		
Malla	Unidad	1.00	2.50	2.50		
Válvula de compuerta ø 8”	Unidad	1.00	850.00	850.00		
Brida ø 8	Unidad	2.00	60.23	120.46		
Polipega	Litro	1.00	11.89	11.89		
Pollimpia	Litro	0.50	6.50	3.25		
SUBTOTAL O				1,658.57	88.47	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	%	
Transporte	u	1.0000	16.59	16.59		
SUBTOTAL P				16.59	0.88	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				1,874.80	100.00	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				15%	281.22	12.50
OTROS INDIRECTOS				5%	93.74	4.17
COSTO TOTAL DEL RUBRO				2,249.76	100.00	
VALOR OFERTADO				\$ 2,249.76		

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ
POR MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL
ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: Global

REND H= 37.3

DETALLE: Accesorios varios (losetas perforadas prefabricadas, dados, escalera, etc)
 Tuberías y accesorios

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		1.87	
SUBTOTAL M					1.87	0.15
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%	
Plomero	1.00	1.53	1.53	57.07		
Ayudante de Plomero	2.00	1.51	3.02	112.65		
Oficial	2.00	1.51	3.02	112.65		
SUBTOTAL N				282.36	22.11	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	%	
Losetas Perforadas	Unidad	36.00	18.50	666.00		
Dados para apoyo de losetas	Unidad	144.00	2.20	316.80		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
SUBTOTAL O				982.80	76.97	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	%	
Transporte	u	1.0000	9.83	9.83		
SUBTOTAL P				9.83	0.77	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					1,276.85	100.00
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	191.53
OTROS INDIRECTOS					5%	63.84
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,532.22	100.00
VALOR OFERTADO					\$ 1,532.22	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ
POR MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL
ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: Global

REND H= 19

DETALLE: Tuberías, valvulas y accesorios para pantano
Tuberías y accesorios

EQUIPOS							
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%	
Herramienta Menor	0.10	0.50	0.05		0.95		
SUBTOTAL M					0.95	0.07	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA		COSTO UNIT.	%	
Plomero	1.00	1.53	1.53		29.07		
Ayudante de Plomero	2.00	1.51	3.02		57.38		
Oficial	2.00	1.51	3.02		57.38		
SUBTOTAL N					143.83	10.15	
MATERIALES							
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		%	
Tubería de PVC Desagüe de 200mm.	Metro	20.00	11.37	227.40			
Válvula de compuerta ø 8"	Unidad	1.00	850.00	850.00			
Brida ø 8	Unidad	2.00	60.23	120.46			
Tubería de PVC Desagüe de 160mm.	Metro	3.00	7.10	21.30			
Polipega	Litro	1.00	11.89	11.89			
Pollimpia	Litro	0.50	6.50	3.25			
Pantalla de madera	Unidad	1.00	25.00	25.00			
-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-			
SUBTOTAL O					1,259.30	88.89	
TRANSPORTE							
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		%	
Transporte	u	1.0000	12.59	12.59			
SUBTOTAL P					12.59	0.89	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					1,416.67	100.00	
INDIRECTOS Y UTILIDADES					15%	212.50	12.50
OTROS INDIRECTOS					5%	70.83	4.17
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,700.00	100.00	
VALOR OFERTADO					\$ 1,700.00		

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA
PROVINCIA DE MANABÍ POR MEDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE”.

NOMBRE DEL PROPONENTE: XAVER SALTOS & XAVIER ZAMBRANO

RUBRO: UNIDAD: Unidad

REND H= 0,14

DETALLE: Implantación de vegetación (Juncos)
Vegetación

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%
Herramienta Menor	0,10	0,50	0,05	0,01	
SUBTOTAL M				0,01	0,29
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	COSTO UNIT.	%
Maestro Mayor	1,00	1,55	1,55	0,22	
Albañil	2,00	1,53	3,06	0,43	
Oficial de Albañil	2,00	1,51	3,02	0,42	
SUBTOTAL N				1,07	44,73
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	%
Plnatas emergentes(Juncos)	Unidad	1,00	1,30	1,30	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
SUBTOTAL O				1,30	54,43
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	%
Transporte	u	1,0000	0,01	0,01	
SUBTOTAL P				0,01	0,54
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)				2,39	100,00
INDIRECTOS Y UTILIDADES				15%	0,36 12,55
OTROS INDIRECTOS				5%	0,12 4,18
COSTO TOTAL DEL RUBRO				2,87	100,00
VALOR OFERTADO				\$ 2,87	

CAPÍTULO 10

10. Conclusiones y recomendaciones.

10.1. Conclusiones.

- Al realizarse el proyecto propuesto, se alcanzará un gran beneficio para el ecosistema y un aporte valioso para el desarrollo de la población por la importancia que tiene la depuración de las aguas residuales domésticas.
- El sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto es completamente natural, no habrían ruidos por motores, consumo de energía eléctrica, contaminación del aire, etc.
- Después de los cálculos realizados se observa que la remoción “teórica” de SST y DBO del sistema es aproximado entre el 70% y 80% en ambos casos, valores que están por debajo del valor permitido por la legislación ambiental (100 mg/l), valor que se espera obtener en la construcción del sistema.

- Se realizó el análisis de remoción para los constituyentes más importantes como son, DBO, SST, N y P, luego de los resultados se escogió el área de remoción de Nitrógeno, siendo ésta 6627 m², donde las dimensiones del Humedal Artificial de Flujo Libre serían: L=141m, W=47m, H=0.40m.
- En el presupuesto referencial se observa que este tipo de tratamiento puede resultar más económico que los tratamientos convencionales aireados, ya que no necesita de energía eléctrica para su funcionamiento (no es necesario el uso de bombas, turbinas, blowers, paletas, etc). Talvés el costo de inversión o costo inicial del HAFL sea mayor que los mencionados anteriormente, pero puede ser que en el primer año de funcionamiento ya exista compensación y hasta un ahorro por nuestro sistema propuesto, ya que un sistema convencional aireado para esta población necesita aproximadamente de \$10.000 mensuales para su funcionamiento, debido al gran uso de energía eléctrica.
- La operación y mantenimiento también resulta poco costosa, ya que no necesita de mano de obra especializada para ello.

10.2. Recomendaciones.

- Lastimosamente este sistema ha sido estudiado en su mayor parte en países con climas muy fríos por lo que se recomienda realizar más estudios e investigaciones para adecuar los modelos de diseño a las condiciones locales y analizar sus comportamientos con otros factores aparte de la temperatura que pueden variar las eficiencias como lo son las plantas autóctonas, tipos de suelo, entre otros.
- Es muy importante que exista una buena fase de operación y mantenimiento ya que por tratarse de un sistema poco común en el medio es preferible que no se presenten inconvenientes.
- El mismo sistema propuesto puede llegar a remover coliformes fecales, sin embargo es recomendable utilizar un sistema de desinfección (cloración, ozono, UV, etc.) a la salida del HAFL, para garantizar que exista mayor remoción de coliformes fecales, y que éstos salgan con valores permitidos por las normativas locales. En nuestro medio se utiliza mucho la cloración para la desinfección, sin embargo, cuando el cloro no es bien controlado, puede aparecer trihalometano, que afectaría la vida acuática del cuerpo receptor, por lo que el

cloro que esté presente debe estar debajo del valor de la norma.

- El sistema tratamiento de esta tesis consta como se mencionó en el desarrollo de la misma de un sistema primario compuesto de un tanque séptico y un filtro anaeróbico, lo que nos sirve como factor de seguridad, ya cuando se calculó del HAFL, todos los contaminantes del afluente se asumió que llegaron directamente al humedal sin haber pasado por el sistema primario, lo que hace un sistema conservador; pero aún así, si en el futuro se quisiera construir alguna fábrica en el sitio San Eloy (fábrica de pintura, atunera, etc.), es necesario que dicha fábrica o industria conste de su propia planta de tratamiento de sus aguas residuales, dependiendo de los contaminantes a remover y el grado de remoción de los mismos, así como también los caudales a tratar, ya que la ley así lo exige que cada industria debe tratar sus aguas residuales antes de botar los efluentes a cuerpos receptores, además el tratamiento de este tipo de aguas necesita de un estudio especial que dependerá del tipo de industria.

- En el caso de que haya un crecimiento en la población, no habría problema, ya que el sistema de tratamiento de esta tesis está previsto para 20 años, o sea que después de ese tiempo habría que pensar que hacer si es que la población llegue a crecer en gran proporción.
- El mayor impacto negativo y de mayor importancia que resultó en el estudio de impacto ambiental fue el vector de enfermedades e insectos, aquí lo principal es la aparición de mosquitos en el humedal, para evitar esto es necesario dos cosas importantes, en la fase de operación y mantenimiento se debe inspeccionar que no haya agua estancada en el humedal, y que las plantas (juncos) estén sembradas en toda el área del HAFL sin que existan espacios libres, ya que los lugares abiertos con aguas estancadas son un excelente hábitat para los mosquitos.

BIBLIOGRAFÍA

1. METCALF & EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización, Tercera Edición, Volumen 1 y 2, 1995, Editorial Mc. Graw Hill
2. METCALF & EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales, Redes de Alcantarillado y Bombeo, Segunda Edición, 1995, Editorial Mc. Graw Hill
3. GEORGE TCHOBANOGLOUS, Sistema de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados, Tomos 1, 2 y 3 Segunda Edición, 2000, Editorial Mc. Graw Hill
4. RICARDO LÓPEZ C., Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados, Segunda Edición, 2003, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
5. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY *EPA*, Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Humedal de flujo libre superficial, 2000

6. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY *EPA*, Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Humedal de flujo libre subsuperficial, 2000
7. JUAN CARLOS PAEZ ZAMORA, Introducción a la evaluación del impacto ambiental.
8. IÑAQUI TEJERO MONZÓN, JOAQUÍN SUÁREZ LOPEZ, ALFREDO JÁCOME BURGOS, JAVIER TEMPRANO GONZALES, Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Tomo I, Primera Edición, 2001, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos.
9. INGENIERO JAIME ANDRÉS LARA BORRERO, Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales, Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999.
10. HERNÁN RICARDO CHÁVEZ REYES, REYNALDO GONZALO PITA SANTANA, Proyecto Para El Estudio y Diseño De Los Sistemas De Abastecimiento De AAPP, AASS, AALL, y Manejo De Aguas Residuales Del Sitio San Eloy Cantón Rocafuerte Provincia de Manabí, Tesis de Grado para la obtención del título de Ingenieros Civiles, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004.

ANEXO B

Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Aluminio	Al	mg/l	0.2
Amoniaco	N-Amónico	mg/l	1
Amonio	NH ₄	mg/l	0.05
Arsénico (total)	As	mg/l	0.05
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0.01
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0.1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.002
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	µg/l	0.0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1.5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0.1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0.05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0.05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0.01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO ₄ =	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o - 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de	mg/l	0.5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5
*Productos para la desinfección		mg/l	0.1
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	µg/l	10
Benzo(a)pireno		µg/l	0.01
Etilbenceno		µg/l	700
Estireno		µg/l	100
Tolueno		µg/l	1 000
Xilenos (totales)		mg/l	10 000
Pesticidas y herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración de PCBs totales	mg/l	0.1
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados	mg/l	0.01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados	mg/l	0.1
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	mg/l	0.2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	mg/l	0.05
Dicloropropano (1,2)	Concentración total de	mg/l	5
Diquat		µg/l	70
Glifosato		µg/l	200
Toxafeno		µg/l	5
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		µg/l	3
Dicloroetano (1,2-)		µg/l	10
Dicloroetileno (1,1-)		µg/l	0.3
Dicloroetileno (1,2-cis)		µg/l	70
Dicloroetileno (1,2-trans)		µg/l	100
Diclorometano		µg/l	50
Tetracloroetileno		µg/l	10
Tricloroetano (1,1,1-)		µg/l	200
Tricloroetileno		µg/l	30
Clorobenceno		µg/l	100
Diclorobenceno (1,2-)		µg/l	200
Diclorobenceno (1,4-)		µg/l	5
Hexaclorobenceno		µg/l	0.01
Bromoximil		µg/l	5
Diclorometano		µg/l	50
Tribrometano		µg/l	2

ANEXO C

Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren desinfección.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Aluminio total	Al	mg/l	0.1
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1
Arsénico (total)	As	mg/l	0.05
Bario	Ba	mg/l	1
Berilio	Be	mg/l	0.1
Boro (total)	B	mg/l	0.75
Cadmio	Cd	mg/l	0.001
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0.01
Cobalto	Co	mg/l	0.2
Cobre	Cu	mg/l	1
Color	color real	Unidades de color	20
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*
Cloruros	Cl-	mg/l	250
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0.002
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.05
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	2
Dureza	CaCO3	mg/l	500
E estaño	Sn	mg/l	2
Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0.3
Litio	Li	mg/l	2.5
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0.1
Materia Flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.001
Níquel	Ni	mg/l	0.025
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de
Plata (total)	Ag	mg/l	0.05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0.05
Potencial de Hidrógeno	pH		06-Sep
Selenio (total)	Se	mg/l	0.01
Sodio	Na	mg/l	200
Sulfatos	SO4=	mg/l	250
Sólidos disueltos totales		mg/l	500
Temperatura	°C		Condición Natural +/- 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Turbiedad		UTN	10
Uranio Total		mg/l	0.02
Vanadio	V	mg/l	0.1
Zinc	Zn	mg/l	5
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C6H6	mg/l	0.01
Benzo-a- pireno		mg/l	0.00001
Pesticidas y Herbicidas			
Organoclorados totales	concentración de organoclorados totales	mg/l	0.01
Organofosforados y carbamatos	Concentración de organofosforados	mg/l	0.1
Toxafeno		µg/l	0.01
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		mg/l	0.003
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	0.01
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	0.3

ANEXO D

Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Clorofenoles		mg/l	0.5	0.5	0.5
Bifenilos policlorados/PCBs	Concentración total de PCBs.	mg/l	0.001	0.001	0.001
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6, 5-9	6, 5-9	6, 5-9, 5
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H ₂ S	mg/l	0.0002	0.0002	0.0002
Amoníaco	NH ₃	mg/l	0.02	0.02	0.4
Aluminio	Al	mg/l	0.1	0.1	1.5
Arsénico	As	mg/l	0.05	0.05	0.05
Bario	Ba	mg/l	1	1	1
Berilio	Be	mg/l	0.1	0.1	1.5
Boro	B	mg/l	0.75	0.75	5
Cadmio	Cd	mg/l	0.001	0.001	0.005
Cianuro Libre	CN-	mg/l	0.01	0.01	0.01
Zinc	Zn	mg/l	0.18	0.18	0.17
Cloro residual	Cl	mg/l	0.01	0.01	0.01
Estaño	Sn	mg/l			2
Cobalto	Co	mg/l	0.2	0.2	0.2
Plomo	Pb	mg/l			0.01
Cobre	Cu	mg/l	0.02	0.02	0.05
Cromo total	Cr	mg/l	0.05	0.05	0.05
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0.001	0.001	0.001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3	0.3	0.3
Hierro	Fe	mg/l	0.3	0.3	0.3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0.5	0.5	0.5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAP	mg/l	0.0003	0.0003	0.0003
Manganeso	Mn	mg/l	0.1	0.1	0.1
Materia flotante visible			Ausencia	Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0.0002	0.0002	0.0001
Níquel	Ni	mg/l	0.025	0.025	0.1
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	10	10	10
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	µg/l	10	10	10
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0.05	0.05	0.05
Plata	Ag	mg/l	0.01	0.01	0.005
Selenio	Se	mg/l	0.01	0.01	0.01
Tensoactivos	Sustancias activas al	mg/l	0.5	0.5	0.5
Temperatura	°C		Condiciones naturales + 3 Máxima 20	Condiciones naturales + 3 Máxima 32	Condiciones naturales + 3 Máxima 32
Coliformes Fecales	nmp/100 ml 200 200 200		200	200	200

ANEXO E

Límites máximos permisibles adicionales para la interpretación de la calidad de las aguas.

Parámetros	Unidad	Límite máximo	
		Agua Marina	Agua Dulce
Clorobenceno	µg/l		15
Clorofenol (2-)	µg/l	30	7
Diclorobenceno	µg/l	2	2.5
Diclorobenceno (1,4-)	µg/l		4
Dicloroetano (1,2-)	µg/l	113	200
Dicloroetilenos	µg/l	224	12
Dicloropropanos	µg/l	31	57
Dicloropropenos	µg/l	0.8	2
Difenil Hidrazina (1,2)	µg/l		0.3
Dimetilfenol (2,4-)	µg/l		2
Dodecacloro + Nonacloro	µg/l	0.001	
Etilbenceno	µg/l	0.4	700
Fluoruro total	µg/l	1 400	4
Hexaclorobutadieno	µg/l	0.03	0.1
Hexaclorociclopentadieno	µg/l	0.007	0.05
Naftaleno	µg/l	2	6
Nitritos	µg/l	1 000	60
Nitrobenceno	µg/l	7	27
Nitrofenoles	µg/l	5	0.2
PCB (total)	µg/l	0.03	0.001
Pentaclorobenceno	µg/l		0.03
Pentacloroetano	µg/l	3	4
P-clorometacresol	µg/l		0.03
Talio (total)	µg/l	2	0.4
Tetraclorobenceno (1,2,3,4-)	µg/l		0.1
Tetraclorobenceno (1,2,4,5-)	µg/l		0.15
Tetracloroetano (1,1,2,2-)	µg/l	9	24
Tetracloroetileno	µg/l	5	260
Tetraclorofenoles	µg/l	0.5	1
Tetracloruro de carbono	µg/l	50	35
Tolueno	µg/l	50	300
Toxafeno	µg/l	0.005	0
Tricloroetano (1,1,1)	µg/l	31	18
Tricloroetano (1,1,2)	µg/l		94
Tricloroetileno	µg/l	2	45
Uranio (total)	µg/l	500	20
Vanadio (total)	µg/l		100

ANEXO F

Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0-25,0) % y de materia orgánica entre (0 - 10,0) %.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Arsénico (total)	As	µg/l	35
Bario	Ba	µg/l	338
Cadmio	Cd	µg/l	3,2
Cianuro (total)	CN-	µg/l	753
Cobalto	Co	µg/l	60
Cobre	Cu	µg/l	45
Cromo total	Cr	µg/l	16
Molibdeno	Mo	µg/l	153
Mercurio (total)	Hg	µg/l	0,18
Níquel	Ni	µg/l	45
Plomo	Pb	µg/l	45
Zinc	Zn	µg/l	433
Compuestos aromáticos.			
Benceno.	C ₆ H ₆	µg/l	15
Tolueno.		µg/l	500
Estireno		µg/l	150
Etilbenceno		µg/l	75
Xileno (Suma) ¹		µg/l	35
Fenol		µg/l	1 000
Cresol ²		µg/l	100
Hidroquinona		µg/l	400
Hidrocarburos aromáticos policíclicos.			
Naftaleno		µg/l	35
Fenantreno.		µg/l	2,5
Antraceno		µg/l	2,5
Fluoranteno		µg/l	0,5
Benzo(a)antraceno		µg/l	0,25
Criseno		µg/l	0,026
Benzo(k)fluoranteno		µg/l	0,026
Benzo(a)pireno		µg/l	0,026
Benzo(ghi)perileno		µg/l	0,025
Indenol (1,2,3 cd) pireno		µg/l	0,025
Hidrocarburos Clorados.			
Diclorometano		µg/l	500
Triclorometano		µg/l	200
Tetraclorometano		µg/l	5,0
1,1-dicloroetano		µg/l	1 300
1,2-dicloroetano		µg/l	200
1,1,1- tricloroetano		µg/l	275
1,1,2-tricloroetano		µg/l	750
Vinilclorado		µg/l	0,35
Cis-1,2- dicloeteno		µg/l	650
Tricloroeteno		µg/l	250
Tetracloroeteno		µg/l	20
Monoclorobenceno		µg/l	90
Diclorobenceno (Suma)		µg/l	25
Triclorobenceno (Suma)		µg/l	5
Tetraclorobenceno (Suma)		µg/l	1,26
Pentaclorobenceno		µg/l	0,5
Hexaclorobenceno		µg/l	0,26
Monoclorofenol (Suma)		µg/l	50
Diclorofenol (Suma)		µg/l	15
Triclorofenol (Suma)		µg/l	5
Tetraclorofenol		µg/l	5
Pentaclorofenol		µg/l	1,5
Cloronaftaleno		µg/l	3
PCBs (Suma) ³		µg/l	0,01
Pesticidas			
Organoclorados			
DDD, DDE, DDT (Suma) ⁴		µg/l	0,005
Drins (Suma) ⁵		µg/l	0,05
HCH-Compuestos (Suma) ⁶		µg/l	0,5
Carbamatos			
Carbaril		µg/l	0,06
Carbofuran		µg/l	0,06
Maneb		µg/l	0,05
Organonitrogenados			
Atrazina		µg/l	0,05
Compuestos remanentes			
Ciclohexanos		µg/l	7 500
Ftalatos (Suma) ⁷		µg/l	2,75
Hidrocarburos totales de petróleo		µg/l	325
Piridina		µg/l	1,75
Tetrahidrofurano		µg/l	0,75
Tetrahidrotiofeno		µg/l	15

ANEXO G

Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02

ANEXO H

Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1): CE (2) SDT (3)	Milimhos/cm	0,7	0,7	3,0	>3,0
		450	450	2000	>2000
Infiltración (4): RAS = 0 - 3 y CE RAS = 3 - 6 y CE RAS = 6 - 12 y CE RAS = 12 - 20 y CE RAS = 20 - 40 y CE		0,7	0,7	0,2	< 0,2
		1,2	1,2	0,3	< 0,3
		1,9	1,9	0,5	< 0,5
		2,9	2,9	1,3	< 1,3
		5,0	5,0	2,9	< 2,9
Toxicidad por ión específico (5): - Sodio: Irrigación superficial RAS (6) Aspersión - Cloruros Irrigación superficial Aspersión - Boro Efectos misceláneos (7): - Nitrógeno (N-NO3) - Bicarbonato (HCO3) pH		3,0	3,0	9	> 9,0
	meq/l	3,0	3,0		
		4,0	4,0	10,0	> 10,0
	meq/l	3,0	3,0		
		0,7	0,7	3,0	> 3,0
	mg/l	5,0	5,0	30,0	> 30,0
	meq/l	1,5	1,5	8,5	> 8,5
	Rango normal	6,5 - 8,4			

*Es un grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

ANEXO I

Criterios de calidad para aguas de uso pecuario

Parámetros	Expresado como	Unidad	Valor máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,2
Bario	Ba	mg/l	1,0
Boro (total)	B	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Carbamatos (totales)	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0,2
Cinc	Zn	mg/l	25,0
Cobre	Cu	mg/l	0,5
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	1,0
Litio	Li	mg/l	5,0
Materia flotante	visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,5
Molibdeno	Mo	mg/l	0,005
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Nitratos + nitritos	N	mg/l	10,0
Nitritos	N-nitrito	mg/l	1,0
Níquel	Ni	mg/l	0,5
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	3,0
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plata	Ag	mg/l	0,05
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	10,0
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		Menor a 1 000
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		Promedio mensual menor a 5 000

ANEXO J

Criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		200
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación y no menor a 6 mg/l
Materia flotante	visible		Ausencia
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 - 8,5
Metales y otras sustancias tóxicas		mg/l	cero
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1 (para cada compuesto detectado)
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2 (para cada compuesto detectado)
Residuos de petróleo	visibles		Ausencia
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi			Mínimo 2,0 m.
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

ANEXO K

Crterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario

Parámetros	Expresado como	Unidad	Valor máximo permisible
Coliformes totales	nmp/100 ml		4 000
Coliformes fecales	nmp/100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Metales y otras -sustancias tóxicas		mg/l	Cero
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Residuos de petróleo Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Sólidos flotantes	visible		Ausencia
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:01

ANEXO L

Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Acidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO3	mg/l	0,1
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN-	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO4=	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

ANEXO M

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN-	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl-	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		⁸ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color mg/l	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ =	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura		°C	< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

ANEXO N

Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas		mg/l	0,3
Arsénico total	As	mg/l	0,5
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,2
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		*Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Fósforo Total	P	mg/l	10
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	TPH	mg/l	20,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total kjedahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,2
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05

Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite máximo permisible
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,25
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Zinc	Zn	mg/l	10

ANEXO Ñ

Fotografía de la Población "San Eloy"



ANEXO O

Fotografía de la Capilla de la Población "San Eloy"



ANEXO P

Fotografía de la Vía Portoviejo-Charapotó-Bahía de Caráquez.



ANEXO Q

Fotografía de la Cabina de Pacifitel de SanEloy.



ANEXO R

Fotografía de la Escuela Vicente Rocafuerte "San Eloy".

