

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS ANAEROBIOS Y
AEROBIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
ATRAVES DE HUMEDADES ARTIFICIALES

PRESENTADOR POR:

SEBASTIAN MAURICIO GONZALEZ JIMENEZ
ID: 000128123

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA: INGENIERIA CIVIL
REGIONAL GIRARDOT
2014

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS ANAEROBIOS Y
AEROBIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
ATRAVES DE HUMEDADES ARTIFICIALES

PRESENTADOR POR:

SEBASTIAN MAURICIO GONZALEZ JIMENEZ
ID: 000128123

DIRECTOR DEL PROGRAMA:
ING. NANCY LILIANA HURTADO

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA: INGENIERIA CIVIL
REGIONAL GIRARDOT
2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios y mi familia por el apoyo prestado, por la educación dada, los valores y virtudes que van a hacer de mi persona un gran profesional.

A los docentes que me guiaron y apoyaron en mis estudios, especialmente al ING. ABBAD JACK JIMMINK MURILLO, por su excelente orientación en el área y la motivación para superarnos como persona y como profesionales.

A mis compañeros de carrera por la amistad y ayuda prestada durante la formación académica profesional.

Contenido

INTRODUCCION.....	8
1. JUSTIFICACION	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	11
3.2. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA	11
3.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	11
3.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
4. MARCO REFERENCIAL	12
4.1. SISTEMAS ANAEROBIOS	12
4.1.1. UNIDADES DEL SISTEMA ANAEROBIO.....	14
4.1.1.1. TANQUE IMHOFF	14
4.1.1.2. TANQUE SEPTICO	15
4.1.1.3. PROCESO ANAEROBIO DE CONTACTO	16
4.1.1.4. PROCESO ASCENSIONAL DE MANTO DE LODOS ANAEROBIO	17
4.1.1.5. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO EN DESCENSO	17
4.1.1.6. REACTOR ANAEROBIO DE PANTALLAS.....	18
4.1.1.7. CONTROL Y MONITOREO	19
4.1.1.8. VENTAJAS	19
4.1.1.9. DESVENTAJAS.....	19
4.2. SISTEMAS AEROBIOS.....	20
4.2.1. AIREACION	20
4.2.1.1. EQUIPOS DE AIREACION.....	21
4.2.2. UNIDADES DEL SISTEMA AEROBIO	21
4.2.2.1. LODOS ACTIVADOS.....	21
4.2.2.2. ZANJONES DE OXIDACION.....	24
4.2.2.3. LAGUNAS AIREADAS.....	25

4.2.3.	VENTAJAS	25
4.2.4.	DESVENTAJAS.....	25
4.3.	HUMEDALES ARTIFICIALES.....	26
4.3.1.	TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	27
4.3.1.1.	SISTEMAS A FLUJO LIBRE	27
4.3.1.2.	SISTEMAS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	28
4.3.1.3.	COMPONENTES DEL HUMEDAL	29
4.3.1.4.	EL AGUA:	29
4.3.1.5.	SUBSTRATOS, SEDIMENTOS Y RESTOS DE VEGETACION:	29
4.3.1.6.	VEGETACION:	30
4.3.1.7.	MICROORGANISMOS	32
4.3.1.8.	ANIMALES	32
4.3.1.9.	REALCE DE LA ESTETICA Y DEL PAISAJE.....	32
4.3.2.	CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCION	33
4.3.2.1.	IMPERMEABILIZACION	33
4.3.2.2.	VEGETACION	33
4.3.3.	RENDIMIENTOS ESPERADOS	33
4.3.3.1.	REMOCION DE DBO.....	34
4.3.3.2.	REMOCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS.....	35
4.3.3.3.	REMOCION DE NITROGENO	35
4.3.3.4.	REMOCION DE FOSFORO	35
4.3.3.5.	REMOCION DE METALES.....	35
4.3.3.6.	REMOCION DE COLIFORMES FECALES.....	36
4.3.4.	OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL	36
4.3.4.1.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	36
4.3.4.2.	CONTROL.....	36
5.	METODOLOGIA	38
5.1.	EXPLORACION PREVIA.....	38
5.2.	ANALISIS	38
5.3.	DISEÑO DE LA PROPUESTA	38

5.4.	DEDUCCION DE LO DISEÑADO	38
6.	DESARROLLO DE LA PRUPUESTA	39
6.1.	BIOLOGIA DE LAS AGUAS RESIDUALES	39
6.1.1.	BACTERIAS.....	41
6.1.2.	COLIFORMES	42
6.1.3.	HONGOS.....	42
6.1.4.	ALGAS.....	43
6.1.5.	PROTOZOOS	43
6.1.6.	ROTIFEROS	43
6.1.7.	VIRUS.....	43
6.2.	OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	44
6.2.1.	PRETRATAMIENTO	45
6.2.2.	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	45
6.2.3.	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	45
6.2.4.	TRATAMIENTO TERCARIO Y AVANZADO.....	45
6.2.5.	REQUISITOS DE TRATAMIENTO.....	45
6.3.	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	46
6.3.1.	DISEÑO	46
6.3.2.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	48
6.4.	FORMULACION DE LA SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA.....	49
6.4.1.	DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL	50
6.4.2.	CALCULO DE UN PROTOTIPO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJOSUPERFICIAL	50
7.	BIBLIOGRAFIA.....	52
8.	CONCLUSIONES.....	53
8.1.	RECOMENDACIONES.....	53
8.2.	VENTAJAS	54
8.3.	DESVENTAJAS.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procesos anaerobios de tratamiento de aguas residuales y biosólidos.....	13
Tabla 2. Rendimiento típico de los procesos anaerobios	14
Tabla 3. Edades de lodos para diseño.....	14
Tabla 4. Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales	31
Tabla 5. Clasificación celular de los organismos	39
Tabla 6. Clasificación celular de los organismos	40
Tabla 7. Clasificación celular de los organismos	41
Tabla 8. Temperatura optima según tipo de bacteria	42
Tabla 9. Clasificación celular de los organismos	42
Tabla 10. Parámetros de calidad de un vertimiento.....	46
Tabla 11. Comparación entre sistemas de flujo de humedal	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso anaerobio de contacto	16
Figura 2. Lecho fijo de flujo en descenso.....	18
Figura 3. Reactor anaerobio de pantallas	18
Figura 4. Esquema del proceso convencional de lodos activados	23
Figura 5. Plantas de lodos activados.....	23
Figura 6. Plantas de tratamiento con lagunas aireadas.....	25
Figura 7. Plantas acuáticas comunes	26
Figura 8. Humedal a flujo libre.....	27
Figura 9. Humedal de flujo subsuperficial	28
Figura 10. Sección transversal de un humedal de flujo subsuperficial.....	28
Figura 11. Esquema típico de planta emergente	31
Figura 12. Procesos de depuración de los humedales artificiales	34

INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales no renovables más importante del planeta, siendo muy importante en el desarrollo de las comunidades, proporcionando alimento, trabajo, medio de transporte, etc. Por su gran importancia las comunidades están implementando diversos proyectos para la preservación de este recurso tan valioso para la existencia de los seres vivos.

En la actualidad los cauces de los ríos, quebradas, lagos, etc. Tienen niveles de contaminación muy elevados en su paso por el casco urbano de los municipios, por los vertimientos ilegales de aguas domésticas o industriales que no se le han dado el respectivo tratamiento para depurar agentes orgánicos o metales pesados que pueden contaminar los afluentes y que puedan afectar la salud de las comunidades que hagan uso de este recurso. Esto es consecuencia de la falta de cultura y atención de las entidades que vigilan los cuerpos de aguas.

Debido a esta necesidad en el ámbito nacional, se plantea el *“mejoramiento de la eficiencia de sistemas anaerobios y aerobios de tratamiento de aguas residuales domésticas a través de humedades artificiales”*, que se implementaran en las obras de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, de un municipio o condominio para un vertimiento en óptimas condiciones que no perjudique el agua de los cauces.

1. JUSTIFICACION

Este trabajo tiene el fin de implementar un humedal artificial como complemento en los sistemas anaerobios y aerobios de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de origen DOMESTICO, para mejorar la eficiencia en cuanto al agua tratada que se vaya a verter al lecho de un cauce.

Se busca que estos complementos produzcan un agua óptima en calidades química, física y biológica para evitar más vertimientos contaminantes en las fuentes hídricas y que se pueda aprovechar esta agua para cultivos u ornatos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios y diseños ingenieriles previsto para el mejoramiento de la eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de sistemas anaerobios y aerobios. Con el propósito de establecer los niveles de eficiencia.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer los niveles de eficiencia de remoción del sistemas anaerobio.
- Establecer los niveles de eficiencia de remoción del sistema aerobio.
- Identificar las características del proceso de tratamiento a través de humedales.
- Elaborar los diseños y cálculos del humedal artificial para el sistema anaerobio y aerobio.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El descubrimiento de la conexión entre enfermedades, como el cólera, y la calidad de las aguas revolucionaron la forma de gerenciar los sistemas acuáticos. Se construyeron canales cerrados y conductos para transportar las aguas servidas y alejarlas de las áreas urbanas. El sistema de colección de aguas residuales continuó su expansión y cada vez mayores cantidades de aguas residuales se fueron depositando en zonas específicas, lejos de los cuerpos de aguas. Esto constituyó el paso más importante hacia la solución de los problemas de las epidemias transportadas por el agua, pero surgió entonces un nuevo problema: el tratamiento de esas aguas contaminadas.

3.2. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

Con la proliferación de la industrialización se incrementó el consumo de agua y la facilidad de la disposición final de las aguas residuales trajo aparejado un rápido crecimiento de los impactos en los ecosistemas acuáticos. A fines del siglo XIX comenzaron los descubrimientos de los efectos de las aguas residuales en los cauces de agua y, consecuentemente, los experimentos en el campo de la purificación de las aguas. La preocupación principal fue la de mejorar su aspecto físico, concentrando los esfuerzos en los procesos de filtrado y sedimentación, a los que le siguió el tratamiento químico. Los procesos de barros activados se desarrollaron a comienzos del siglo XX.

3.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente estudio se hace necesario conjugar y por tanto, estudiar y profundizar principalmente en dos disciplinas de la ingeniería. En primera instancia es fundamental el estudio de los procesos de tratamiento de aguas residuales; más específicamente, el estudio y entendimiento de los mecanismos de depuración biológica ya sea por sistemas anaerobios y aerobios de aguas residuales y las distintas alternativas estructurales comúnmente en uso. Paralelamente, se debe abordar el estudio y aplicación de técnicas de modelación para desarrollar, implementar y resolver modelos de síntesis y diseño a través de algoritmos eficientes.

3.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Con la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas a través de sistemas anaerobios y aerobios implementando humedales artificiales se llegara a eficiencias por encima del 90%?

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. SISTEMAS ANAEROBIOS

El proceso anaerobio o fermentación lo definió Pasteur como la vida sin aire. Es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos, en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. El proceso anaerobio es menos eficiente en producción de energía que el aerobio, puesto que la mayoría de la energía liberada en el catabolismo anaerobio proveniente de la sustancia descompuesta aún permanece en los productos finales orgánicos reducidos como el metano, generándose una cantidad de biomasa mucho menor que la producida en el proceso aerobio.

En el tratamiento anaerobio se puede considerar, por tanto, que ocurren los procesos básicos de la descomposición anaerobia, es decir, Desnitrificación de nitratos, respiración de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica.

La estabilización o remoción biológica anaerobia de DBO ocurre en la etapa de formación de metano, porque este es poco soluble en el agua y se evapora con el gas que sale del reactor. En términos de DQO, la producción de metano en la digestión anaerobia fue esquematizada por McCarty, según dicho esquema, aproximadamente un 72% del metano formado proviene de la descomposición del acetato por las bacterias acetoclásticas, un 13% del ácido propiónico y un 15% de otros productos intermedios. Según McCarty las condiciones óptimas para un proceso anaerobio eficiente son las siguientes:

- Nutrientes suficientes.
- pH entre 6,5 y 7,6
- temperatura en el intervalo mesofílico de 30 – 38°C o en el intervalo termofílico de 50 – 60°C
- ausencia de oxígeno
- ausencia de sustancias tóxicas

Los usos principales del tratamiento biológico anaerobio son el de remoción de materia orgánica de las aguas residuales y el de oxidación y estabilización de lodos orgánicos o biosólidos producidos en el tratamiento biológico.

Desde 1850 Mouras inicio el desarrollo del diseño de tanques para separar y retener sólidos. La primera observación de la producción de metano, al licuar solidos de aguas residuales, la hizo Donald Cameron al construir el primer tanque séptico en Exeter (Inglaterra), en 1895. En 1904 Travis introdujo el primer tanque con cámaras independientes para sedimentación y digestión de lodos, en Hampton (Inglaterra); en este mismo año Karl Imhoff obtuvo la patente para el tanque que lleva su nombre.

TIPO	NOMBRE COMUN	USO
Crecimiento suspendido	Digestión anaerobia: tasa estándar, tasa alta, una y dos etapas. Proceso anaerobio de contacto.	Estabilización, remoción de DBOC, remoción de SSV. Remoción de DBOC.
	Lagunas anaerobias.	Remoción de DBOC, remoción de SS.
Hibrido	Tanque séptico	Tratamiento primario, remoción de grasas, remoción de DBOC, remoción de solidos suspendidos.
	Proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio; PAMLA, RAFA o UASB.	Remoción de DBOC, remoción de SS.
	Tanque Imhoff	Remoción de grasas, remoción de DBOC, remoción de SS y digestión anaerobia de dichos sólidos.
Crecimiento Adherido	Filtro anaerobio	Remoción de DBOC, estabilización
	Procesos de lecho fluidizado	Remoción de DBOC
	Procesos de lecho expandido	Remoción de DBOC

Tabla 1. Procesos anaerobios de tratamiento de aguas residuales y biosólidos

Los procesos de tratamiento anaerobio tienen aplicación principalmente en aguas residuales de concentración alta, con DBO mayor a 1000 mg/L, donde los compuestos orgánicos y el CO₂ se usan como aceptadores finales de electrones, para que las bacterias metanogénicas produzcan metano, el cual tiene un valor calorífico de aproximadamente 36500 kJ/m³. Si la variación de carga o caudal es mayor de cuatro se recomienda proveer un tanque de igualamiento.

Para aguas residuales con contenido de solidos predominantemente solubles, se considera aceptable suponer una eficiencia de tratamiento como la siguiente:

PARAMETRO	VALOR
Remoción de DBO (%)	80 - 90
Remoción de DQO (mg/L)	1,5 x DBO removida
Producción de biogás	0,5 m ³ /kg de DQO removida
Producción de metano	0,35 m ³ /kg de DQO removida
Producción de lodo	0,05 - 0,10 kg SSV/g DQO removida

Tabla 2. Rendimiento típico de los procesos anaerobios

La edad mínima de lodos requerida en un reactor anaerobio no depende grandemente de la naturaleza del agua residual, a menos que contengan contaminantes tóxicos. En aguas residuales con gran proporción de material orgánico particulado, la hidrólisis de dicho material insoluble puede constituir la etapa limitante del proceso y requerir edades de lodos de cuatro a diez días para el intervalo mesofílico. Para fermentación anaerobia de residuos solubles, con acetato como el principal contaminante orgánico, se requieren edades de lodos de 2,5 a 5 días porque el crecimiento de las bacterias acetotróficas metanogénicas constituye la etapa limitante.

La eficiencia del proceso anaerobio es función de la edad de lodos, por ello se recomiendan los valores siguientes:

TEMPERATURA DE OPERACIÓN (°C)	MINIMA (DIAS)	DISEÑO (DIAS)
18	11	28
24	8	20
29	6	14
35	4	10
41	4	10

Tabla 3. Edades de lodos para diseño

4.1.1. UNIDADES DEL SISTEMA ANAEROBIO

4.1.1.1. TANQUE IMHOFF

El tanque Imhoff es un sistema de tratamiento anaerobio de dos pisos. El tanque consta de un compartimiento inferior para digestión de los sólidos sedimentados y de una cámara superior de sedimentación. Los sólidos sedimentados pasan a través de la abertura del compartimiento superior hacia la zona de digestión. La espuma se acumula en la zona de sedimentación y en las zonas de ventilación adyacentes a las cámaras de sedimentación. El gas producido en el proceso de

digestión, en la cámara de lodos, escapa a través de la zona de ventilación. Entre las ventajas del tanque Imhoff se señalan las siguientes:

- Simple de operar
- No requiere personal técnico especializado
- La operación consiste en remover diariamente la espuma y en descargarla sobre la zona de ventilación, así como en extraer periódicamente los lodos hacia los lechos de secado.

La remoción de sólidos suspendidos puede ser de 45 a 70% y la reducción de DBO de 25 a 50%. Sin embargo, la remoción es variable, dependiendo de las características del residuo y de las condiciones de diseño y de operación.

4.1.1.2. TANQUE SEPTICO

El tanque séptico se caracteriza porque en él la sedimentación y la digestión ocurren dentro del mismo tanque; con lo anterior, se evitan los problemas de complejidad de construcción y excavación profunda del tanque Imhoff. La función más utilizada del tanque séptico es la de acondicionar las aguas residuales para disposición subsuperficial en lugares donde no existe un sistema de alcantarillado sanitario. En estos casos sirve para:

- Eliminar sólidos suspendidos y material flotante.
- Realizar el tratamiento anaerobio de los lodos sedimentados.
- Almacenar lodos y material flotante.

La remoción de DBO en un tanque séptico puede ser del 30 – 50%, de grasas y aceites un 70 – 80%, de fósforo un 15% y de un 50 – 70% de SS, para aguas residuales domésticas típicas. Para la localización de un tanque séptico se recomienda tener en cuenta los siguientes criterios:

- Para proteger las fuentes de agua, el tanque debe localizarse a más de 15 m de cualquier fuente de abastecimiento.
- El tanque debe encontrarse a una distancia mayor de 2 m de cualquier fuente de abastecimiento.
- El tanque debe estar expuesto a inundación y debe disponer de espacio suficiente para la construcción del sistema de disposición o tratamiento posterior a que haya lugar.
- El tanque debe tener acceso apropiado para que su limpieza y mantenimiento sean fáciles.

4.1.1.3. PROCESO ANAEROBIO DE CONTACTO

En el proceso anaerobio de contacto se mezclan aguas residuales crudas con lodos recirculados y se digieren en un reactor sellado, sin entrada de aire.

Este proceso fue desarrollado en 1955 por Schroepfer y otros, para tratar aguas residuales con tiempos de retención cortos y edades de lodos prolongadas. El proceso es considerado muy sensible y de control difícil, no apropiado para tratar afluentes de concentración muy variable. Se recomienda mantenerlo con carga hidráulica y carga orgánica relativamente constante, para evitar problemas operacionales.

El contenido del reactor se mezcla completamente, por medio de agitadores mecánicos o por la inyección de biogás, y el efluente del mismo se separa en un tanque de sedimentación o de flotación. El sobrenadante del sedimentador se descarga o se trata adicionalmente; el lodo anaerobio sedimentado se recircula al reactor. La existencia de la recirculación de sólidos permite incrementar la edad de lodos, en forma semejante a la de un proceso de lodos activados.

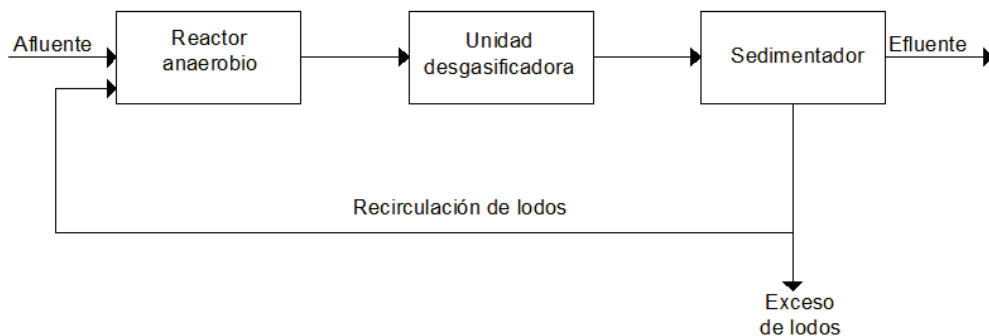


Figura 1. Proceso anaerobio de contacto

En el proceso anaerobio de contacto pueden presentarse problemas de flotación del lodo, debido a la adherencia de las burbujas de gas formando en los flocs biológicos, haciendo necesario considerar un proceso de flotación como alternativa para separar el efluente. También se ha utilizado un mecanismo de desgasificación: arrastre del gas, agitación o vacío, antes del sedimentador, para mejorar la sedimentabilidad del lodo. En general, la cantidad de lodo disponible es mínima.

4.1.1.4. PROCESO ASCENSIONAL DE MANTO DE LODOS ANAEROBIO

El reactor o proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio, conocido en inglés como UASB y en español como RAFA o PAMLA, es un proceso en el cual el agua residual se introduce por el fondo del reactor y fluye a través de un manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos. El proceso fue desarrollado por Lettinga y otros en 1980, y aplicado en Holanda para el tratamiento de residuos de concentraciones media y alta de origen agrícola, tales como las aguas residuales del azúcar de remolacha.

La estructura de los gránulos depende de la naturaleza del sustrato; entre los microorganismos importantes para formar un buen granulo se considera importante la bacteria acetoclástica *Methanothrix*. El UASB es un reactor económico cuando se forma un lodo de buen asentamiento, lo cual es factible con aguas residuales ricas en carbohidratos como las de las industrias de almidón, azúcar, papa, cervecerías y papel.

En este caso el tiempo de retención hidráulica depende principalmente de la temperatura. Los siguientes son los valores recomendados:

- Para temperaturas de 16 a 19°C (10-14 horas)
- Para temperaturas de 22 a 26°C (7-9 horas)
- Para temperaturas mayores de 26°C (>6 horas)

4.1.1.5. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO EN DESCENSO

El reactor de película fija y flujo en descenso, anaerobio, fue desarrollado en Canadá. En este reactor las bacterias crecen sobre superficies orientadas verticalmente, con el afluente aplicado por la parte superior del tanque y con el efluente extraído por el fondo. El proceso es semejante al filtro anaerobio de flujo ascendente, pues utiliza medios de arcilla o de poliéster con canales de 1 a 2,5 cm y áreas específicas de 100 a 150 m²/m³ con volumen de vacíos del 60 al 90% del volumen total del reactor.

El flujo descendente y los canales verticales permiten tratar aguas residuales con sólidos suspendidos. Entre sus ventajas se señalan las de soportar cargas volumétricas altas con tiempos hidráulicos de retención bajos y su estabilidad ante cargas choque, mientras que entre las desventajas se tienen las de pérdida posible de sólidos suspendidos en el efluente, medio de soporte de crecimiento biológico costoso y necesidad de recirculación.

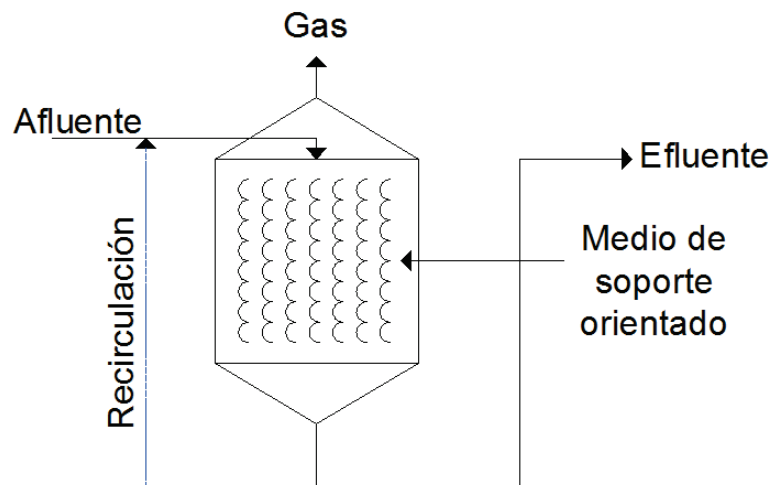


Figura 2. Lecho fijo de flujo en descenso

4.1.1.6. REACTOR ANAEROBIO DE PANTALLAS

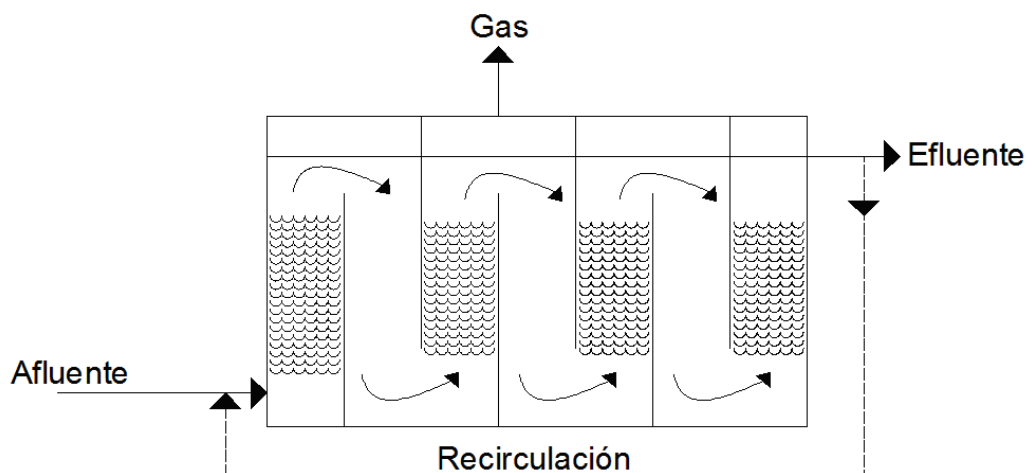


Figura 3. Reactor anaerobio de pantallas

El reactor anaerobio de pantallas, en el cual el agua fluye por encima y por debajo de una serie de pantallas, surgió en 1980 cuando se evaluó el reactor biológico rotatorio de los discos no era necesario. En este reactor, la biomasa sube y cae pero sin movimiento horizontal a través del reactor, para que las bacterias permanezcan dentro del tanque.

El reactor anaerobio de flujo en pistón (RAP) es una modificación del reactor anaerobio de pantallas, abierto al aire, con medio de plástico de porosidad alta para soporte de crecimiento biológico, dotado de pantallas que obligan al efluente

a subir y bajar dentro del tanque y de un sedimentador para remover los sólidos suspendidos del efluente.

4.1.1.7. CONTROL Y MONITOREO

Generalmente el proceso anaerobio requiere más control y monitoreo que el proceso aerobio. Para un control apropiado hay que determinar pH, DQO, SSV, alcalinidad, ácidos volátiles y composición del gas. Para determinar ácidos volátiles y composición del gas se necesita un cromatógrafo de gas, puesto que este es factible determinar el contenido de metano y CO_2 del gas.

La operación en el rango termofílico requiere calentamiento y no es recomendable por el alto consumo de energía. Preferiblemente, la temperatura debe ser estable para obtener una operación sin sobresaltos y, en consecuencia, estable.

El arranque o puesta en marcha de un reactor anaerobio toma generalmente un largo periodo debido a la baja tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas, a la necesidad de adaptación al sustrato y a crear un floc o un lodo granulado o película activa en concentración suficiente. El arranque puede requerir varios meses, aun en los casos en que se utilizan semillas importadas de otros reactores con actividades metanogénicas mayores de 0,6 g DQO – $\text{CH}_4/\text{g SSV.d}$.

4.1.1.8. VENTAJAS

- Tasa baja de síntesis celular y, por consiguiente poca producción de lodos.
- El lodo producido es razonablemente estable y puede secarse y disponerse por métodos convencionales.
- No requiere oxígeno. Por tanto, usa poca energía eléctrica y es especialmente adaptable a aguas residuales de alta concentración orgánica.
- Produce metano, el cual puede ser útil como energético. El metano tiene un valor calorífico de aproximadamente 36500 kJ/m^3 . El biogás de los digestores contiene aproximadamente un 65% de metano y un valor calórico de solo 22400 kJ/m^3 , muy inferior al gas natural, mezcla de metano, propano y butano, con un valor calórico de 37300 kJ/m^3 .
- Tiene requerimientos nutricionales bajos.

4.1.1.9. DESVENTAJAS

- Para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas.
- El medio es corrosivo.
- Tiene riesgos de salud por H_2S .

- Exige un intervalo de operación de pH bastante restringido.
- Requiere concentraciones altas de alcalinidad.
- Es sensible a la contaminación con oxígeno.
- Puede presentar olores desagradables por H₂S, ácidos grasos y amidas.

4.2. SISTEMAS AEROBIOS

El proceso aerobio es un proceso de respiración de oxígeno en el cual el oxígeno libre es el único aceptador final de electrones; el oxígeno es reducido y el carbono es oxidado, al igual que la materia orgánica o inorgánica. Todos los organismos que usan oxígeno libre como aceptador de electrones son aerobios.

Usualmente, las bacterias son los organismos más importantes en el tratamiento aerobio de las aguas residuales porque son excelentes oxidadores de la materia orgánica y crecen bien en aguas residuales siendo capaces de formar una capa floculenta gelatinosa de muy buenas características para la remoción de la materia orgánica. Tanto en los procesos de lodos activados como en filtros percoladores son comunes: *Zooglea ramigera*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* y *Alcaligenes*.

4.2.1. AIREACION

La aireación es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. Su función principal, en el tratamiento de aguas residuales, consiste en proporcionar oxígeno y mezcla en los procesos de tratamiento biológico aerobio. Las funciones más importantes de la aireación, son:

- Transferencia de oxígeno disuelto
- Remoción de sustancias volátiles productoras de olores y sabores
- Remoción de dióxido de carbono
- Remoción de H₂S
- Remoción de hierro y manganeso
- Remoción de metano, cloro y amoníaco
- Remoción de compuestos orgánicos volátiles

Los procesos de tratamiento biológico aerobio, como los procesos de lodos activados, requieren concentraciones de oxígeno disuelto –generalmente de 0,2 a 2,0 mg/L- con el fin de asegurar un suministro apropiado de oxígeno para el consumo de los microorganismos responsables del tratamiento. Sin embargo, los requerimientos de mezcla generalmente determinan la potencia requerida de los equipos de aireación.

4.2.1.1. EQUIPOS DE AIREACION

Los equipos de aireación empleados en el tratamiento de aguas residuales son de tres tipos:

- Equipos de aireación difusa o de aire comprimido, en los que el aire se rompe en burbujas y se dispersa a través del tanque.
- Sistemas de turbina, en los cuales se dosifica aire debajo de las paletas de rotación de un impulsor sumergido.
- Sistemas de aireación superficial, en los cuales un equipo colocado en la superficie del agua ejecuta la transferencia de oxígeno mediante turbulencia superficial y aspersion del agua.

La aireación difusa se define como la inyección de gas, aire u oxígeno, bajo presión, por la parte inferior de la superficie libre del fluido. Los difusores lanzan, a través del agua o fluido, burbujas de aire provenientes de toberas o distribuidores colocados en el fondo del tanque de aireación.

La aireación difusa se ha empleado desde comienzos del siglo XX, para tratamiento de aguas residuales, introduciendo el aire a través de tuberías perforadas localizadas en el fondo del tanque de aireación. Desde 1916 se usan difusores de placas porosas en el proceso de lodos activados y sistemas de orificios fijos y burbuja grande.

Los difusores se usan en tanques con profundidades de 2,5 a 5,0 m, ancho entre tres y nueve metros y una relación de ancho/profundidad menor de dos para asegurar una mezcla apropiada. Se colocan a lo largo de una pared del tanque para producir mezcla apropiada.

4.2.2. UNIDADES DEL SISTEMA AEROBIO

4.2.2.1. LODOS ACTIVADOS

El proceso de lodos activados fue desarrollado en Inglaterra, en 1914, por Arden y Lockett. Todos los procesos de lodos activados tienen en común el contacto de aguas residuales con floc biológico previamente formado en un tanque de aireación. El lodo activado consiste en una masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos; tiene la propiedad de poseer una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, a la cual debe su nombre de *activado*.

Las bacterias constituyen el grupo más importante de microorganismos, en el proceso de lodos activados, por su función en la estabilización del material orgánico y en la formación del floc de lodo activo. Se ha encontrado una gran variedad de especies de bacterias en lodos activados, siendo muy comunes la de los géneros *Alcaligenes flavobacterium*, *Bacillus* y *Pseudomonas*. En el proceso de purificación son importantes las bacterias nitrificantes; tales como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, al igual que la *Zooglea ramigera*, considerada por algunos autores como organismo principal en la formación del lodo activo por su gran habilidad para formar floc biológico, sin que esto indique que es el único organismo capaz de formar floc. Básicamente, la comunidad de los lodos activados puede ser muy variable y depende de:

- Naturaleza del suministro alimenticio
- Concentración del alimento
- Turbulencia
- Temperatura
- Tiempo de aireación
- Concentración de lodos

Las aguas residuales crudas fluyen en el tanque de aireación con su contenido de materia orgánica (DBO) como suministro alimenticio. Las bacterias metabolizan los residuos produciendo nuevas bacterias, utilizando oxígeno disuelto y liberando dióxido de carbono. Los protozoos consumen bacterias para obtener energía y reproducirse.

SISTEMA CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS

El esquema específico de flujo del proceso biológico convencional de lodos activados (tanque de aireación, sedimentador y recirculación de lodos activados). Los lodos recirculados y el agua residual proveniente del sedimentador primario, si lo hay, entran en el tanque de aireación, donde son aireados y mezclados a medida que la mezcla líquida (lodos + agua residual) fluye a lo largo del tanque.

Los microorganismos estabilizan aeróbicamente la materia orgánica en el tanque de aireación y fluyen al sedimentador secundario donde el floc biológico es separado del agua residual, dejando un efluente claro de bajo contenido orgánico. Una porción de los lodos es recirculada al tanque de aireación como simiente y, el exceso, enviado al sistema de tratamiento y disposición de lodos.

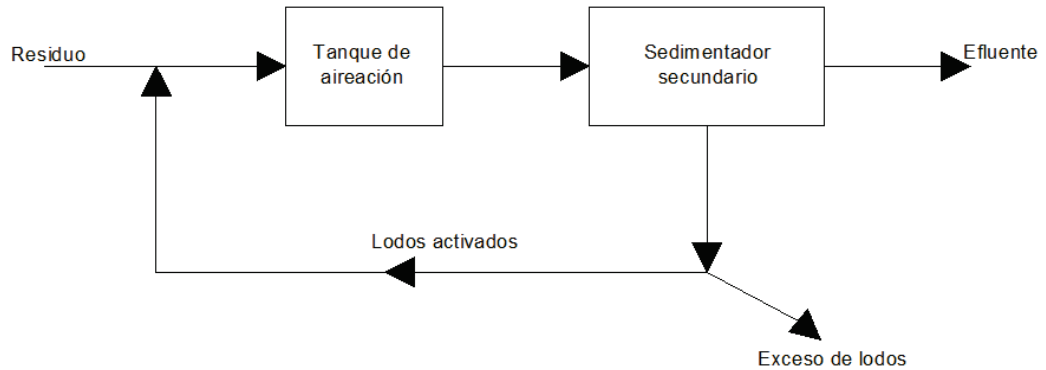


Figura 4. Esquema del proceso convencional de lodos activados

El tamaño del tanque de aireación, en un proceso de lodos activados, debe ser suficiente para permitir que los microorganismos alcancen la fase endógena durante los periodos de caudal máximo y máxima carga orgánica. Si el tanque de aireación no es lo suficientemente grande como para que esto ocurra el efluente se hará turbio, pues se perderán microorganismos.

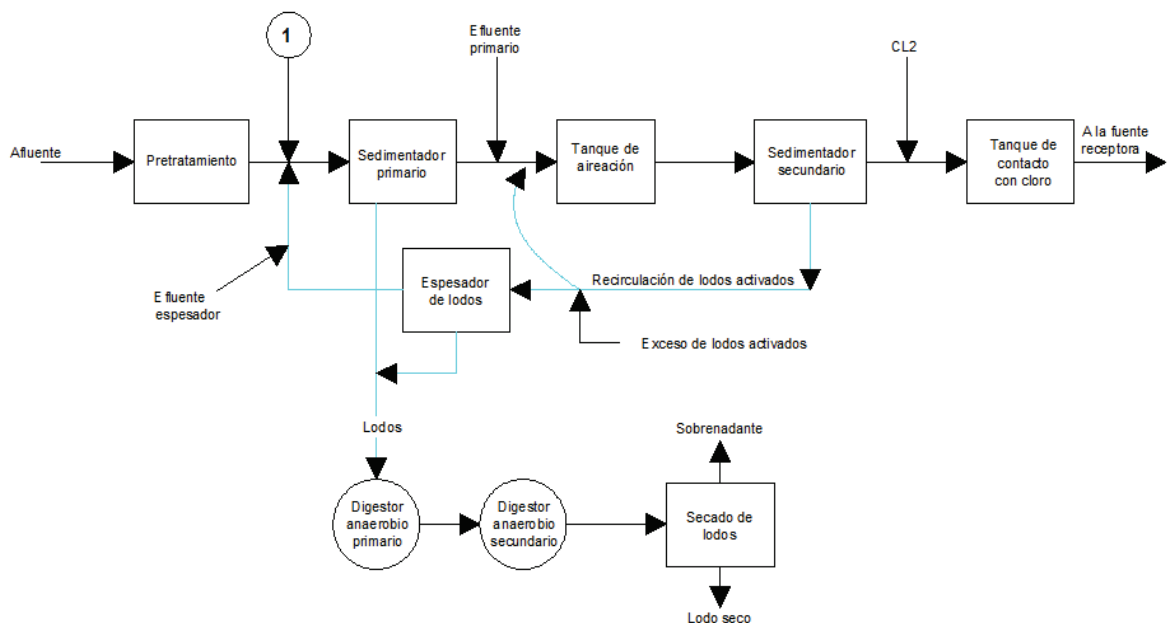


Figura 5. Plantas de lodos activados

CONTROL OPERATIVO

El control operativo busca, entre otros, los siguientes efectos:

- Mejorar las características de sedimentabilidad de los lodos.
- Mantener una concentración óptima de biomasa en el reactor biológica.
- Obtener una nitrificación más rápida en el reactor.
- Posibilidad de aplicar cargas hidráulicas más altas al sedimentador sin disminuir su eficiencia.
- Mejorar la eficiencia de tratamiento del proceso.

Los controles operativos más utilizados son:

- Mantener un índice volumétrico de lodos (IVL) menor de 150 mL/g, aunque cada planta tiene un valor específico óptimo de IVL, el cual debe determinarse de acuerdo con la experiencia operativa previa.
- Mantener una relación alimento/microorganismos apropiada.
- Mantener una edad óptima de lodos.
- Identificar los grupos principales de microorganismos de los lodos activados y establecer su abundancia relativa para evaluar la calidad del lodo.

4.2.2.2. ZANJONES DE OXIDACION

El zanjón de oxidación es un proceso de lodos activados, del tipo de aireación prolongada, que usa un canal cerrado, con dos curvas, para la aireación y mezcla. Como equipo de aireación y circulación del licor mezclado usa aireadores mecánicos del tipo cepillos horizontales, de jaula o de discos.

La planta típica de un zanjón de oxidación no incluye sedimentación primaria, utiliza un solo canal concéntrico, un sedimentador secundario y lechos de secado de lodos. Los canales de aireación tienen profundidades entre 1,2 y 1,8 m con paredes laterales a 45°; sin embargo, se construyen también canales más profundos de 3 a 3,6 m. En general el zanjón se reviste de concreto o de otro material apropiado para prevenir la erosión y la infiltración.

El zanjón de oxidación, adecuadamente diseñado y operado, provee remociones promedio de DBO y SS mayores del 85% con aguas residuales municipales; tienen capacidad de efectuar un nivel alto de nitrificación por el tiempo de retención prologado (24 horas) y contar con edades de lodos mayores de diez días.

4.2.2.3. LAGUNAS AIREADAS

Una laguna aireada es un estanque de 2 a 5 m de profundidad hecho para el tratamiento biológico de aguas residuales. En el sistema de tratamiento se usa un equipo de aireación mecánica con el objeto de suministrar oxígeno y mezcla.

Las lagunas aireadas facultativas son las más usadas porque producen un buen efluente, los niveles de potencia son inferiores, requieren control mínimo y la remoción de lodos es poco frecuente, cada diez años o más.

Las lagunas aireadas surgieron, alrededor de 1957, como solución a los problemas de malos olores existentes en lagunas naturales de oxidación sobrecargadas excesivamente y para mejorar la calidad de los efluentes. Un sistema de tratamiento de aguas residuales, con lagunas aireadas, permite obtener remociones de DBO mayores del 90% y remociones de coliformes fecales de 90 al 95%, con periodos de aireación de 2 a 6 días.

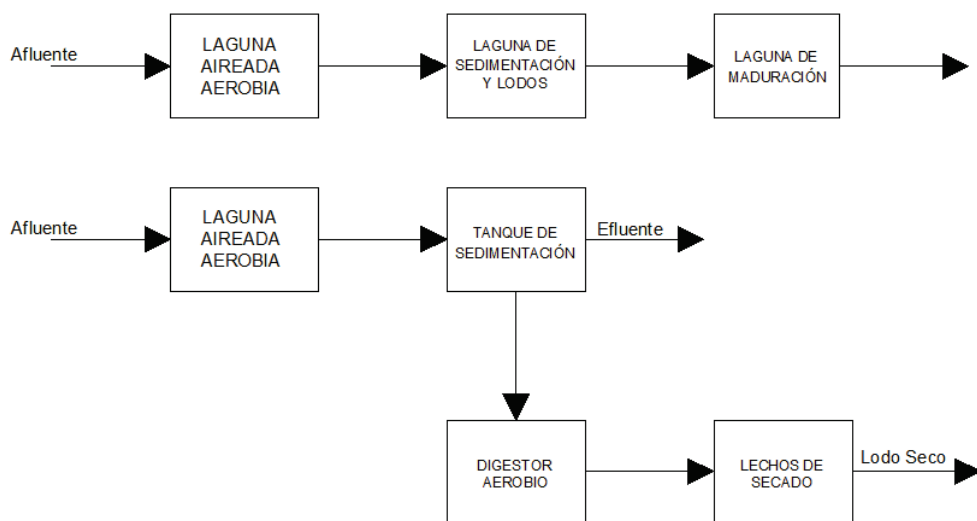


Figura 6. Plantas de tratamiento con lagunas aireadas

4.2.3. VENTAJAS

- Ausencia de olores.
- Mineralización de todos los compuestos biodegradables.

4.2.4. DESVENTAJAS

- Tasa alta de síntesis celular y, por consiguiente, alta producción de lodos.
- Requiere mucha energía eléctrica para oxigenación y mezcla.

- Gran proporción de células en los lodos que hace, en algunos casos, necesaria su digestión, antes de secarlos y disponerlos.

4.3. HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.

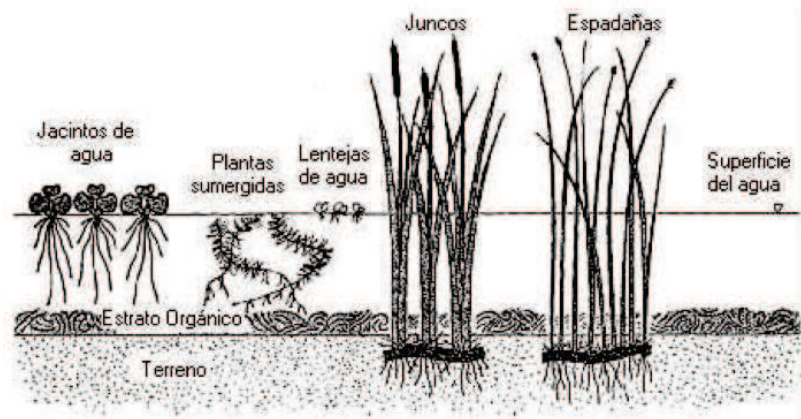


Figura 7. Plantas acuáticas comunes

Las mismas especies de vegetales se usan para los dos tipos de humedales artificiales.

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, son estas:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Además de las aguas residuales municipales, los humedales construidos han sido usados para una variedad de industrias, escurrientías de aguas agrícolas y de

lluvias, lixiviados de vertederos, rebose de alcantarillados combinados, drenaje de minas y aguas residuales domésticas en pequeños humedales tras tanques sépticos convencionales.

En cuanto al rendimiento de los humedales, se puede decir que pueden tratar con eficiencia niveles altos de DBO, SS y nitrógeno (rendimientos superiores al 80%), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. No ocurre lo mismo con la eliminación de fósforo que es mínima en estos sistemas.

4.3.1. TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

4.3.1.1. SISTEMAS A FLUJO LIBRE

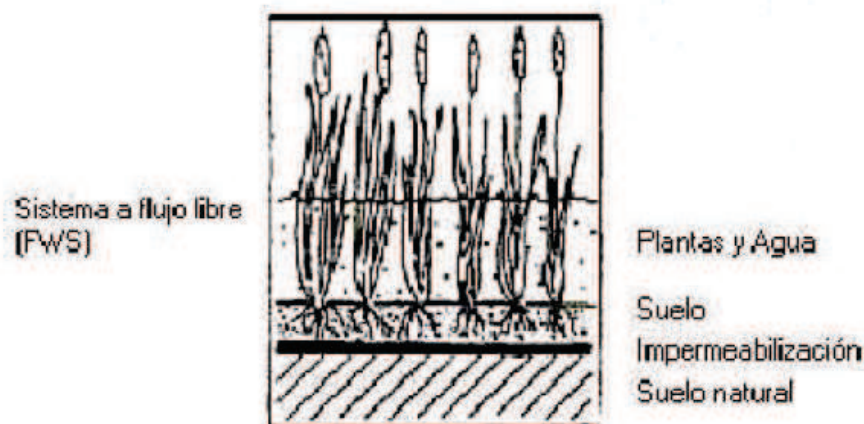


Figura 8. Humedal a flujo libre

El nivel de agua está sobre la superficie del terreno; la vegetación está sembrada y fija y emerge sobre la superficie del agua; el flujo de agua es principalmente superficial. Se les aplica agua residual pre tratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo libre también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos. Esta clase de sistemas suele incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar hábitats de cría para aves acuáticas.

4.3.1.2. SISTEMAS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL



Figura 9. Humedal de flujo subsuperficial

El nivel del agua está por debajo de la superficie del terreno; el agua fluye a través de la cama de arena o grava; las raíces penetran hasta el fondo de la cama. Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie de grava.

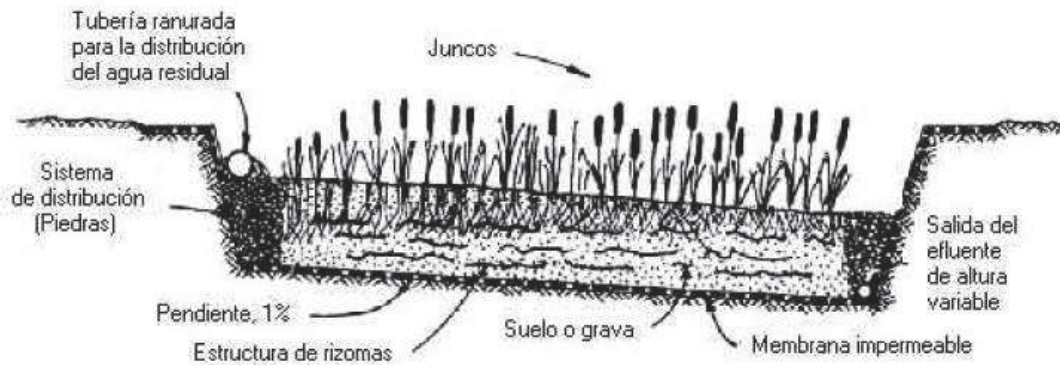


Figura 10. Sección transversal de un humedal de flujo subsuperficial

El lecho de grava tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Como el nivel de agua está por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. Tampoco se presentan inconvenientes con el acceso de público, así como se

evitan problemas de climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

4.3.1.3. COMPONENTES DEL HUMEDAL

Los humedales construidos consisten en el diseño correcto de una cubeta que contiene agua, sustrato, y la mayoría normalmente, plantas emergentes. Estos elementos pueden manipularse construyendo un humedal. Otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente.

4.3.1.4. EL AGUA:

Es probable que se formen humedales donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. Mientras la hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales y cercanas a la superficie, difiere en aspectos importantes:

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíproco y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por la evaporación de superficie de agua y pérdida a través de la transpiración de las plantas).
- La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través del tallo, hojas, raíces, y rizomas, y segundo, bloqueando la exposición al viento y al sol.

4.3.1.5. SUBSTRATOS, SEDIMENTOS Y RESTOS DE VEGETACION:

Los sustratos 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 sustrato, sedimentos, y los restos de 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.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del substrato.
- El substrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- 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 substratos se alteran cuando se inundan. En un substrato 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 en la atmosfera, puede darse lugar a la formación de substrato anóxico, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.

4.3.1.6. VEGETACION:

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los 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. Lo más importante en los humedales de flujo subsuperficial; es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en lo que hemos llamado restos de vegetación, que sirven como substrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento de agua residual y escurrentía 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 atmosfera y los sedimentos.

- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- 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.

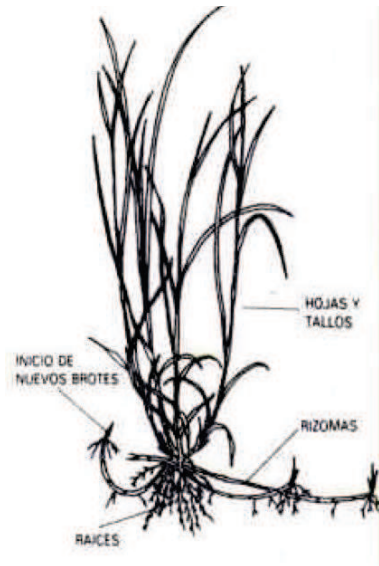


Figura 11. Esquema típico de planta emergente

FAMILIA	NOMBRE LATINO	NOMBRES COMUNES	TEMPERATURA		MAXIMA SALINIDAD TOLERABLE PPT	RANGO EFECTIVO DE pH
			DESEABLE	GERMINACION 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	4-5
Gramíneas	<i>Glyceria fluitans (L.) R. Br.</i>	Hierba del Mana	-	-	-	-
	<i>Phragmites australis (cav) Trin. Ex Steudel (*)</i>	Carrizo	12-23	10-30	45	2-8
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Lirio amarillo	-	-	-	- 31
Juncáceas	<i>Juncus sp.</i>	Juncos	16-26	-	20	5-7,5
Tifáceas	<i>Thypha sp (*)</i>	Espadañas	10-30	12-24	30	4-10

Tabla 4. Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales

4.3.1.7. MICROORGANISMOS

Una característica fundamental 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 o insolubles.
- Altera las condiciones de potencial reducción-oxidación del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

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.

4.3.1.8. ANIMALES

Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados. Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando el detritus al consumir materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia durante sus fases larvales. Los invertebrados también tienen varios papeles ecológicos; por ejemplo, las ninfas de la libélula son rapaces importantes de larvas de mosquito.

4.3.1.9. REALCE DE LA ESTÉTICA Y DEL PAISAJE

Aunque los humedales son principalmente sistemas de tratamiento, proporcionan beneficios intangibles aumentando la estética del sitio y reforzando el paisaje. Visualmente, los humedales son ambientes extraordinariamente ricos. Introduciendo el elemento agua en el paisaje, el humedal construido, tanto como el natural, agrega diversidad al paisaje. Pueden construirse humedales artificiales siguiendo las formas que tienen los contornos naturales del sitio, hasta el punto de que algunos humedales para el tratamiento de aguas son indistinguibles, a simple vista, de los humedales naturales.

4.3.2. CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCION

Los aspectos más importantes para tener en cuenta para la construcción de humedales son, básicamente la impermeabilización de la capa subsuperficial del terreno, la selección y colocación del medio granular para el caso de los sistemas de flujo subsuperficial, el establecimiento de la vegetación, y por ultimo las estructuras de entrada y salida.

4.3.2.1. IMPERMEABILIZACION

Los dos tipos de humedales requieren generalmente que se coloque una barrera impermeable para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o el agua subterránea. Algunas veces esta barrera está presente naturalmente por una capa de arcilla o por los materiales que se encuentran in situ y que pueden ser compactados hasta un estado cercano al impermeable. El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si este es del tipo de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse. La membrana impermeabilizante, si se usa, debe colocarse directamente en la totalidad de la superficie de la celda. El medio granular, en el caso de los humedales de sistema de flujo subsuperficial, será colocado directamente sobre la membrana que debe tener las propiedades mecánicas necesarias para soportarlo sin necesidad de perforarse.

La selección del material granular para el humedal de flujo subsuperficial es crítica para el éxito del sistema. Puede usarse roca triturada y seca, pero durante el transporte en los camiones, existe el problema de la segregación de finos, que más tarde darán lugar a posibles estancamientos, por lo que es preferible la utilización de piedra lavada o grava.

4.3.2.2. VEGETACION

En la construcción de los dos tipos de humedales, es de vital importancia establecer la vegetación con la densidad apropiada. Si están disponibles, deben ser preferidas las plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del sitio.

4.3.3. RENDIMIENTOS ESPERADOS

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, compuestos orgánicos trazas y patógenos. La remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo.

Los mecanismos básicos del tratamiento son los antes citados, e incluyen sedimentación, precipitación química, absorción e interacción biológica con la DBO y el nitrógeno, así como la captación por parte de la vegetación. Si no se práctica la poda, se encuentra una fracción de la vegetación que se descompone y que permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal.

En la siguiente figura se pueden ver los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.

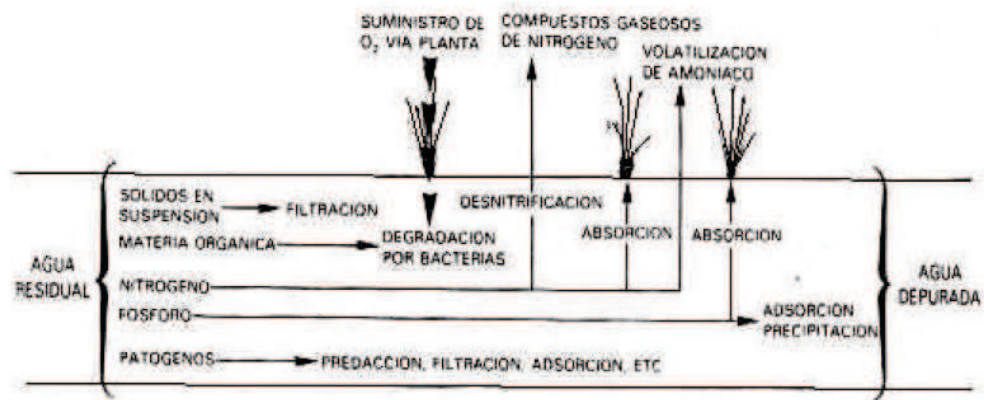


Figura 12. Procesos de depuración de los humedales artificiales

4.3.3.1. REMOCION DE DBO

En los sistemas de humedales la remoción de materia orgánica sedimentable es muy rápida, debido a la poca velocidad de los sistemas de flujo libre y a la deposición y filtración en los sistemas de flujo subsuperficial, donde cerca del 50% de la DBO aplicada es removida en los primeros metros del humedal. El resto de la DBO se encuentra en estado disuelto o en forma coloidal y continua siendo removida del agua residual al entrar en contacto con los microorganismos que crecen en el sistema.

Esta actividad puede ser aeróbica cerca de la superficie del agua en los sistemas de flujo libre y cerca de las raíces y rizomas en los sistemas de flujo subsuperficial, pero la descomposición anaerobia prevalece en el resto del sistema.

En climas relativamente cálidos, la remoción de DBO observada durante los primeros días es muy rápida y puede ser razonablemente aproximada a una relación de flujo de pistón de primer orden. La remoción subsiguiente está más limitada y se cree que está influida por la producción de DBO residual debida a la

descomposición de los residuos de las plantas y otra materia orgánica natural presente en el humedal. Esto hace a estos sistemas únicos, ya que se produce DBO dentro del sistema y a partir de fuentes naturales; por tanto, no es posible diseñar un sistema para una salida de cero DBO, independientemente del tiempo de retención hidráulica. En términos generales la DBO del efluente puede estar entre 2 y 7 mg/L.

4.3.3.2. REMOCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS

La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los dos tipos de humedales artificiales, produciendo efluentes con concentraciones inferiores a 20 mg/L, que es el valor de referencia. La remoción de sólidos en humedales es más o menos rápida, y se estima que ocurre en gran parte entre el 12 y el 20% inicial del área.

4.3.3.3. REMOCION DE NITROGENO

La remoción de nitrógeno puede ser muy efectiva en ambos tipos de sistemas de humedales artificiales y los principales mecanismos de eliminación son similares para los dos casos. Aunque ocurre la asimilación de nitrógeno total puede ser eliminada por esta vía. La remoción de nitrógeno en humedales puede alcanzar valores por encima del 80%. En climas o estaciones cálidas serán necesarios tiempos de retención hidráulica de 6 a 8 días para lograr los niveles de nitrificación deseados.

4.3.3.4. REMOCION DE FOSFORO

La remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales artificiales no es muy eficaz, debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno. Si es requisito del proyecto una importante remoción de fósforo, se necesitara entonces un área de terreno muy grande o métodos de tratamiento alternativos.

4.3.3.5. REMOCION DE METALES

Los mecanismos de eliminación de metales en humedales artificiales son similares a los descritos anteriormente para el fósforo, incluyendo asimilación por parte de las plantas, adsorción y precipitación. Como los sedimentos orgánicos e inorgánicos están aumentando continuamente (a una velocidad lenta) en los humedales, la disponibilidad de sitios de adsorción frescos también está aumentando. Los dos tipos de humedales artificiales tienen la misma capacidad potencial de remoción de metales y esta capacidad se mantiene durante todo el periodo de funcionamiento del sistema.

4.3.3.6. REMOCION DE COLIFORMES FECALES

Los humedales artificiales son, en general, capaces de una reducción de coliformes fecales de entre uno a dos logaritmos con tiempos de retención hidráulica de 3 a 7 días que en muchos casos no es suficiente para satisfacer los requisitos de vertido que a menudo especifican $<200\text{NMP}/100\text{ ml}$. Serían necesarios tiempos de retención superiores a 14 días para lograr reducciones de 3 o 4 logaritmos. Cuando se presentan eventos intensos de lluvias, los picos de caudal influyen negativamente en la eficiencia de remoción de coliformes fecales. Como resultado, la mayoría de los sistemas utilizan alguna forma de desinfección final. En la instalación antes citada, que cuenta como medio con grava fina de río, los coliformes fecales se han reducido de $8 \times 10^4\text{ NMP}/100\text{ml}$ a $10/100\text{ml}$ de media.

4.3.4. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL

4.3.4.1. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación es muy importante si se quieren obtener buenos resultados. Por tanto, debe contarse con un plan de operación y mantenimiento que debe escribirse durante la etapa de diseño final del sistema. La operación y mantenimiento debe enfocarse a los factores más importantes para el rendimiento del tratamiento:

- Proporcionar una amplia oportunidad para el contacto del agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.
- Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.
- Mantener un ambiente saludable para los microbios.
- Mantener un crecimiento vigoroso de vegetación.

4.3.4.2. CONTROL

La supervisión es una herramienta operacional importante que:

- Proporciona datos para mejorar el rendimiento del tratamiento.
- Identifica problemas.
- Documenta la acumulación de sustancias potencialmente tóxicas antes que sean bioacumulables.
- Determina el cumplimiento de los requisitos reguladores.

El control necesita medir si el humedal está obteniendo los objetivos y para indicar su integridad biológica. Esta supervisión permite identificar los problemas temprano, cuando la intervención es más eficaz.

El nivel del detalle del control dependerá del tamaño y la complejidad del sistema de humedales y puede cambiar cuando el sistema madura y se conoce mejor su comportamiento.

- **Control para cumplir exigencias de descarga:**

El control para cumplir con las limitaciones del permiso de descarga representa el mínimo para el muestreo y análisis. La frecuencia del muestreo y los parámetros a medir dependerán de dichas exigencias.

- **Control del rendimiento del sistema:**

El rendimiento del humedal es normalmente evaluado para determinar:

- 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 entrada por concentración del contaminante) y la de salida (volumen de la descarga por concentración contaminante). Los parámetros de interés son:

- DBO
- Nitrógeno
- Fosforo
- Sólidos suspendidos totales
- Metales pesados
- Bacterias (totales o coliformes fecales)

Si el agua residual pudiera contener contaminantes tóxicos, como pesticidas o metales pesados, deben analizarse los sedimentos una o dos veces al año para supervisar el aumento potencial de estos contaminantes en los sedimentos del humedal.

- **Control de la salud del humedal:**

Los humedales deben controlarse periódicamente para observar las condiciones generales del sitio y para descubrir cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación

indeseable. Debe supervisarse la vegetación periódicamente para evaluar su salud y abundancia.

La composición de las especies y densidad de las plantas se determina fácilmente, inspeccionando parcelas cuadradas, normalmente de 1m x 1m, dentro del humedal. Los cambios a tener en cuenta incluyen un aumento en el número de especies no deseadas o agresivas, una disminución en la densidad de la capa vegetativa, o señales de enfermedad en las plantas.

El aumento de los sedimentos acumulados así como de la capa de residuos, disminuye la capacidad de almacenamiento de agua, afectando la profundidad de esta en el humedal y posiblemente alterando los caminos de flujo.

5. METODOLOGIA

5.1. EXPLORACION PREVIA

Durante esta etapa, se recopilara y clasificara información acerca de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales (anaerobio y aerobio) para agua domésticas.

5.2. ANALISIS

Con los datos recopilados, se analizara la eficiencia de cada uno de los sistemas anaerobio y aerobio de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, determinando sus virtudes y debilidades.

5.3. DISEÑO DE LA PROPUESTA

Se diseñara un humedal artificial con unas especificaciones especiales que pueda aumentar la eficiencia en cada uno de los sistemas de tratamiento ya sea anaerobio o aerobio, a su vez, se implementara un elemento para compensar el trabajo realizado por el humedal. Estos diseños se ejecutan siguiendo las normas y decretos establecidos en el ámbito nacional.

5.4. DEDUCCION DE LO DISEÑADO

De acuerdo a lo diseñado y los resultados obtenidos por la propuesta se establecerán las respectivas conclusiones de lo planteado.

6. DESARROLLO DE LA PRUPUESTA

6.1. BIOLOGIA DE LAS AGUAS RESIDUALES

ORGANISMOS DEL AGUA RESIDUAL

Los principales organismos encontrados en el agua se clasifican, de acuerdo con sus características celulares, como se indica en la Tabla XX. Su importancia radica, además, en su existencia en residuos humanos, en su patogenicidad, en uso como indicadores de contaminación y en su función como ejecutores del tratamiento biológico, como puede visualizarse en las tablas XX:

GRUPO	ESTRUCTURA CELULAR	CARACTERISTICAS	MIEMBROS REPRESENTATIVOS
EUCARIOTAS	EUCARIOTICA (Contiene núcleo verdadero encerrado dentro de una membrana nuclear)	Multicelulares con diferenciación amplia de células y tejido.	Plantas Animales
		Unicelulares o miceliales con poca o ninguna diferenciación de tejido.	Protistas (algas, hongos, protozoos)
EUBACTERIAS	PROCARIOTICA (Sin membrana nuclear)	Química celular similar a las eucariotas	Bacterias
ARQUEBACTERIAS	PROCARIOTICA (Sin membrana nuclear)	Química celular características	Metanogenas Halófilas Termacidófilas

Tabla 5. Clasificación celular de los organismos

ANIMAL	Millones / c.d		RELACION CF/EF
	COLIFORMES FECALES	ESTREPTOCOCOS FECALES	
POLLO	240	620	0,4
VACA	5.400	31.000	0,2
PATO	11.000	18.000	0,6
HUMANO	2.000	450	4,4
CERDO	8.900	230.000	0,04
OVEJA	18.000	43.000	0,4
PAVO	130	1.300	0,1

Tabla 6. Clasificación celular de los organismos

ORGANISMOS	ENFERMEDAD	SINTOMATOLOGIA
BACTERIAS		
Escherichia coli (entero patógena)	Gastroenteritis	Diarrea
Legionella pneumophila	Legionelosis	Enfermedad respiratoria aguda
Leptospira (150 spp)	Leptospirosis	Ictericia, Fiebre
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Fiebre, Diarrea, Ulceras
Salmonella (>1.700 spp)	Salmonelosis	Envenenamiento
Shigella (4 spp)		Disentería
Vibrio cholerae	Cólera	Diarrea, Deshidratación
Yersinia enterocolitica	Yersinosis	Diarrea
VIRUS		
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedad respiratoria	
Enterovirus (67 tipos)	Gastroenteritis	
Polio (3 tipos)	Poliomielitis, meningitis	Fiebre
Coxsackie A (24 tipos)	Herpangina, meningitis	Fiebre
Coxsackie B (6 tipos)	Anomalías cardiacas, meningitis	Fiebre
Echo (34 tipos)	Meningitis, enfermedades respiratorias	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosa	Ictericia, Fiebre
Agente Norwalk	Gastroenteritis	Vómito y Diarrea
Reo (3 tipos)	Gastroenteritis	
Rota	Gastroenteritis	Vómito y Diarrea
PROTOZOOS		
Balantidium coli	Balantidiasis	Diarrea
Cryptosporidium	Criptosporidiosis	Diarrea
Entamoeba histolytica	Amibiasis	Diarrea

Giardia lamblia	Giardiasis	Diarrea, nausea, indigestión
NEMATODOS		
Ascaris lumbricoides	Ascariasis	Lombrices
Enterobius vericularis	Enterobiasis	Oxiuros
Fasciola hepatica	Fascioliasis	Lombriz del hígado
PLATELMINTOS		
Hymenolepis nana	Himenolepiasis	Tenia enana
Taenia saginata	Teniasis	Tenia vacuna
Taenia solium	Teniasis	Tenia del cerdo
Trichuris trichiura	Tricuriasis	

Tabla 7. Clasificación celular de los organismos

6.1.1. BACTERIAS

Las bacterias son eubacterias procariotas, típicamente unicelulares (sin membrana celular). Morfológicamente son redondas (cocos), cilíndricas (bacilos), curvadas (vibriones), en espiral (espirillas o espiroquetas) o filamentosas.

Las bacterias constituyen el grupo más importante de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales, utilizan sustrato en solución, son heterótrofas o autótrofas, aerobias, anaerobias o facultativas. Un centímetro cúbico de agua residual puede contener miles de millones de bacterias. Conteos típicos de bacterias en aguas son los siguientes:

- **Agua potable:** < 1 célula/L
- **Agua manantial:** 100 células/mL
- **Agua limpia de río:** 10³ células/mL
- **Agua contaminada de río:** 10⁴ células/mL
- **Aguas residuales:** >10⁶ células/mL

El crecimiento óptimo de bacterias ocurre generalmente a pH entre 6,5 y 7,5 y la mayoría no toleran pH mayor de 9,5 o inferior a 4,0.

La temperatura afecta en forma importante la actividad bacteriana; en general se afirma que la tasa de crecimiento bacteriana se dobla para un incremento de 10°C, hasta que se alcanza la temperatura óptima. De acuerdo con la temperatura óptima de funcionamiento, las bacterias se clasifican así:

TIPO	TEMPERATURA (°C)		
	MINIMA	OPTIMA	MAXIMA
Psicrofilas	(-5) - 5	15 - 30	19 - 35
Mesófilas	10 - 15	30 - 45	35 - 47
Termófilas	40 - 45	55 - 75	60 - 80

Tabla 8. Temperatura optima según tipo de bacteria

6.1.2. COLIFORMES

Los coliformes son un grupo de bacterias que incluye los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El hecho de que los *Aerobacter* y ciertos *Escherichia* pueden crecer en el suelo, no permite afirmar siempre que la presencia de coliformes la cause la contaminación fecal. Sin embargo, en aguas de consumo humano la presencia de coliformes se usa como el indicador de contaminación, puesto que el agua no debe tener contacto con el suelo.

Dentro del grupo de coliformes se considera a la *Escherichia coli* de origen fecal exclusivamente, y por ello es el organismo indicador preferido de contaminación fecal. Con base en el ensayo de coliformes, un agua puede clasificarse como se indica en la Tabla:

CLASE	NMP / 100 MI
1. Agua apta para la purificación con solo desinfección	< 50
2. Agua apta para purificación con tratamiento convencional	50 - 5.000
3. Agua contaminada que requiere tratamiento especial	5.000 - 50.000
4. Agua contaminada que requiere tratamiento muy especial	> 50.000

Tabla 9. Clasificación celular de los organismos

6.1.3. HONGOS

Los hongos son eucarióticos, aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterótrofos. La mayoría son saprofitos, pues obtienen su alimento de materia orgánica muerta. Junto con las bacterias, pueden tolerar ambientes de humedad baja y pH ácido. La mayoría de los hongos son aerobios, tienen un pH óptimo de crecimiento de 5,6 con un intervalo de 2 a 9; pueden descomponer celulosa y son importantes en el tratamiento de residuos industriales y en la descomposición de residuos sólidos mediante composteo (*compostin*).

6.1.4. ALGAS

Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, autótrofas, fotosintéticas. En agua para abastecimiento pueden producir olores y sabores, en aguas para recreación son indeseables y, algunas especies, son nocivas en aguas para piscicultura. En lagunas de estabilización son importantísimas por su actividad simbiótica con las bacterias y por la generación consecuente de oxígeno para la estabilización de la materia orgánica.

Existen tres grandes grupos de algas, caracterizadas por su color: verdes, carmelitas y rojas. Las algas azules verdosas o cianobacterias son un grupo de algas o bacterias que incluye varias especies capaces de producir hepatotoxinas y neurotóxicas.

6.1.5. PROTOZOOS

Los protozoos son protistas eucariontes (contienen núcleo verdadero), unicelulares, microscópicos, generalmente aerobios o facultativos anaerobios, heterótrofos, aunque algunos pocos son anaerobios. Entre los más importantes se encuentran las amibas, los flagelados y los ciliados libres y adheridos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos, así como de materia orgánica particulada. Son esenciales en la operación de plantas biológicas de tratamiento y en los ríos, pues mantienen un balance entre los diferentes grupos de microorganismos.

6.1.6. ROTIFEROS

Los rotíferos son animales microscópicos, multicelulares, aerobios, heterótrofos, muy efectivos en el consumo de bacterias y de partículas pequeñas de materia orgánica. Se encuentra en efluentes aerobios de plantas de tratamiento de aguas residuales. Derivan su nombre del hecho de poseer dos series de cilios rotantes sobre su cabeza, los cuales usan para moverse y capturar el alimento. Su presencia en un efluente indica un proceso de tratamiento biológico aerobio eficiente.

6.1.7. VIRUS

Son “algo” que contiene en si mismo toda la información necesaria para su reproducción. Constituidos por DNA o RNA, con un recubrimiento proteínico, invaden una célula viva donde el material viral genético redirige las actividades celulares hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de la célula huésped. Cuando una célula infectada muere se emite una gran cantidad de virus que infectaran otras células; los virus requieren un huésped, y para sobrevivir

cuando se dispersan en el ambiente son metabólicamente inertes. Poseen una gran resistencia a la inactivación por agentes ambientales adversos, a la desinfección con cloro u ozono y son inmunes a los antibióticos.

6.2. OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo básico del tratamiento de aguas es proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad. El retorno de las aguas residuales a nuestros ríos o lagos nos convierte en usuarios directos o indirectos de las mismas, y a medida que crece la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente.

En la concepción clásica del problema de la polución del agua, los ríos se consideran los receptores naturales de las aguas residuales, con su correspondiente carga de contaminantes y nutrientes. Las cargas, o concentración de contaminantes y nutrientes, constituyen el objeto de la regulación, por parte de leyes, decretos y normas, para establecer la calidad apropiada del agua, de acuerdo con los diferentes usos aplicables a ella. La legislación colombiana pertinente esta diseminada en diferentes textos legales, pero principalmente en el Decreto 1594 de 1984.

En la formulación, planeamiento y diseño de un sistema de tratamiento se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias mínimas y, eventualmente, motivaciones ecológicas.

En un desarrollo gradual de sistemas de tratamiento se pueden considerar, como objetivos iniciales principales del tratamiento de aguas residuales, los siguientes:

- Remoción de DBO
- Remoción de sólidos suspendidos
- Remoción de patógenos

La complejidad del sistema de tratamiento es, por tanto, función de los objetivos propuestos. Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para tratamiento de aguas, es común hablar de pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado en aguas residuales.

6.2.1. PRETRATAMIENTO

Tiene como objetivo remover del agua residual aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores o que, en algunos casos, no pueden tratarse conjuntamente con los demás componentes del agua residual.

6.2.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

Se refiere comúnmente a la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otro medio, y constituye un método de preparar el agua para el tratamiento secundario. Por lo regular, el tratamiento primario remueve alrededor del 60% de los sólidos suspendidos del agua residual cruda y un 35 a 40% de la DBO.

6.2.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Se usa principalmente para remoción de DBO soluble y sólidos suspendido e incluye, por ello, los procesos biológicos de lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas y sedimentación.

6.2.4. TRATAMIENTO TERCIARIO Y AVANZADO

Supone generalmente la necesidad de remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorar la calidad de un efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su reusó.

6.2.5. REQUISITOS DE TRATAMIENTO

En lo referente a protección del sistema de tratamiento, las restricciones se refieren principalmente a:

- DBO y Sólidos Suspendidos excesivamente altos
- pH indeseable, menor de cinco o mayor de nueve
- Temperatura excesiva
- Grasas y aceites en concentración excesiva
- Sustancias tóxicas inhibitorias del proceso biológicos

El artículo 72 del decreto 1594 de 1984 establece que todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, las siguientes normas:

REFERENCIA	USUARIO EXISTENTE	USUARIO NUEVO
pH	5-9	5-9
Temperatura	≤ 40°C	≤ 40°C
Material Flotante	Ausente	Ausente
Grasas y Aceites	Remoción ≥ 80% en carga	Remoción ≥ 80% en carga
Sólidos suspendidos, Domésticos o Industriales	Remoción ≥ 50% en carga	Remoción ≥ 50% en carga
DBO:		
- Para desechos domésticos	Remoción ≥ 30% en carga	Remoción ≥ 80% en carga
- Para desechos industriales	Remoción ≥ 20% en carga	Remoción ≥ 80% en carga

Tabla 10. Parámetros de calidad de un vertimiento

6.3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda
- La calidad requerida del efluente
- La disponibilidad de terreno
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento
- La confiabilidad del sistema de tratamiento
- La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes

La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas y con los costos de cada una de las posibles soluciones técnicas. En la Tabla se resumen las características y eficiencias obtenibles de los principales procesos cuando operan en condiciones apropiadas.

6.3.1. DISEÑO

La solución de un problema de tratamiento de aguas residuales incluye, generalmente, cinco etapas principales:

- Caracterización del agua residual cruda y definición de las normas de vertimiento

- Diseño conceptual de los sistemas de tratamiento propuestos, incluyendo la selección de los procesos de cada sistema, los parámetros de diseño y la comparación de costos de las alternativas propuestas
- Diseño detallado de la alternativa de costo mínimo
- Construcción
- Operación y mantenimiento del sistema construido

Las condiciones óptimas de operación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales dependen de las características físicas, sociales y económicas prevalentes en el sitio de localización de la planta, las cuales deben tenerse en cuenta al definir el diseño del sistema, porque ellas establecen la confiabilidad, flexibilidad, requerimientos de personal técnico, grado de automatización y control de proceso, y costos de la operación y mantenimiento.

En resumen, los principales factores de importancia en la selección de procesos y operaciones de tratamiento son los siguientes:

- **Factibilidad:** el proceso debe ser factible y, por consiguiente, compatible con las condiciones existentes de dinero disponible, terreno existente y aceptabilidad del cliente o de la comunidad propietaria del mismo.
- **Aplicabilidad:** el proceso debe ser capaz de proveer el rendimiento solicitado, es decir, estar en capacidad de producir un efluente con la calidad requerida para el rango de caudales previsto.
- **Confiabilidad:** el proceso deber ser lo más confiable posible, esto es, que sus condiciones óptimas de trabajo sean difíciles de alterar, que tenga capacidad de soporte de cargas y caudales extremos y mínima dependiendo de la tecnología u operación compleja.
- **Costos:** el proceso ha de ser de costo mínimo. La comunidad o el propietario debe estar en capacidad de costear todos los compuestos del sistema de tratamiento, así como su operación y mantenimiento.
- **Características del afluente:** estas determinan la necesidad de pre tratamiento primario o tratamiento secundario, tipo de tratamiento (físico, químico, biológico o combinado), necesidad de neutralización o de igualamiento, así como el tamaño, cinética y tipo de reactor.
- **Procesamiento y producción de lodos:** la cantidad y calidad del lodo producido determina la complejidad del tratamiento requerido para su disposición adecuada. Procesos sin problemas de tratamiento y disposición de lodos son los ideales.

- **Requerimiento de personal:** procesos sencillos requieren menos personal, menor adiestramiento profesional y, por tanto, son mas ventajosas.

En un país como Colombia es esencial seleccionar sistemas de tratamiento de aguas residuales con base en el siguiente principio básico de diseño:

- ❖ El dinero disponible para tratamiento de aguas residuales es escaso, por lo que las obras de control de polución deben satisfacer los requerimientos de tratamiento a un costo de operación y mantenimiento mínimo.

6.3.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Todo sistema de tratamiento de aguas residuales debe estar diseñado de tal manera que, cuando se opere adecuadamente, produzca en forma continua el caudal y calidad de efluente requerido.

El mantenimiento se define como el arte de mantener los equipos de la planta, las estructuras y todos los accesorios en condiciones adecuadas para prestar los servicios para los cuales fueron propuestos, por lo cual es esencial para lograr una operación eficiente del sistema de tratamiento.

El mantenimiento preventivo, además de estar constituido por el mantenimiento programado para prevenir las fallas o eventuales salidas del servicio de un componente del sistema de tratamiento, es esencial para reducir fallas no programadas, eliminar las emergencias y reducir los costos de operación y de mantenimiento. Dependiendo del tipo de sistema de tratamiento, todo programa de mantenimiento debe incluir las labores relacionadas con:

- **Buen aseo general:** la planta, equipos, corredores, laboratorios, deben permanecer limpios y en orden, con una apariencia estética agradable.
- **Lubricación:** hay que asegurar que todo equipo este lubricado adecuadamente y posea un cronograma de lubricación acorde con las instrucciones del fabricante.
- **Refrigeración:** se debe verificar el estado de funcionamiento de cualquier equipo, asegurando su operación a la temperatura apropiada y el reemplazo de empaques o rodamientos de acuerdo con el programa de rutina de revisión e inspección.

- **Almacenamiento:** se ha de mantener un inventario apropiado de repuestos y equipos de reemplazo, en tal forma que no haya interrupciones de servicio ni periodos de espera prolongados entre reparaciones.

6.4. FORMULACION DE LA SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA

Observando y analizando los datos investigados:

- Los sistemas anaerobios permiten una eficiencia del 60% en cuanto a la remoción de DBO y SS.
- Los sistemas aerobios permiten una remoción del 90% de la DBO y SS, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fosforo, metales pesados ni organismos patógenos.
- Los humedales artificiales generan una eficiencia en la remoción del 10-20%.

	FLUJO SUPERFICIAL	FLUJO SUBSUPERFICIAL
TRATAMIENTO	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ejemplo: Lagunas, biodiscos, lodos activados, etc.)	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas, ejemplos: Tanques Imhoff, pozos sépticos)
OPERACIÓN	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de carga orgánica
OLOR	Puede ser controlado	No existe
INSECTOS	Control es costoso	No existe
PROTECCION TERMICA	Mala; las bajas temperaturas afectan el proceso de remoción	Buena; por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante
AREA	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño
COSTO	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar el precio hasta un 30%
VALOR ECOSISTEMA	Mayor valor como ecosistemas para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna
USOS GENERALES	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente para casas aisladas y núcleos menores a 200 habitantes
OPERACIÓN	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad de agua)	Puede usarse como tratamiento secundario

Tabla 11. Comparación entre sistemas de flujo de humedal

Observando las cualidades del sistema de humedal artificial de flujo superficial, proponiendo este para la utilización para mejorar la eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento anaerobias y aeróbicas, generando una mejor calidad del vertimiento, ayudando a mitigar y retribuir el daño generado al medio ambiente y un beneficio para la comunidad que le de uso al efluente donde se vierte el agua residual domestica tratada.

6.4.1. DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL

En el diseño convencional del tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales se requiere entre 1-5 m² por persona cuando es en una casa de veraneo, puede tener relación 2:1 o 3:1.

Volumen de agua en el humedal:

$$V_h = Area * Profundidad$$

Longitud interna total:

$$L_{int} = \sqrt{\frac{2 * V_h}{Profundidad}}$$

Ancho interno total:

$$W = \frac{L_{int}}{2}$$

6.4.2. CALCULO DE UN PROTOTIPO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJOSUPERFICIAL

Se calculara las dimensiones de un humedal artificial de flujo superficial, para un conjunto residencial de 30 casas, donde en cada vivienda pueden habitar un promedio de 5 personas en temporada alta; según los parámetros establecidos, diseñar el humedal:

Relación 2:1

- Área para el humedal:

$$Area = Habitantes * (Area * habitante)$$

$$Area = 150 \text{ hab} * (3 \text{ m}^2 * \text{hab})$$

$$Area = 450 \text{ m}^2$$

- *Volumen de agua en el humedal:*

$$V_h = \text{Area} * \text{Profundidad}$$

$$V_h = 450 \text{ m}^2 * 0,40 \text{ m}$$

$$V_h = 180 \text{ m}^3$$

- *Longitud interna total del humedal:*

$$L_{int} = \sqrt{\frac{2 * V_h}{\text{Profundidad}}}$$

$$L_{int} = \sqrt{\frac{2 * 180 \text{ m}^3}{0,40 \text{ m}}}$$

$$L_{int} = 30 \text{ m}$$

- *Ancho interno total del humedal:*

$$W = \frac{L_{int}}{2}$$

$$W = \frac{30}{2}$$

$$W = 15 \text{ m}$$

Ver anexos planos del prototipo.

7. BIBLIOGRAFIA

- ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. “*Tratamiento de aguas residuales*”, *Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. 1233 p. ISBN: 958-8060-13-3.
- LARA BORRERO, Jaime Andrés. “Depuración de aguas residuales Municipales con Humedales Artificiales”. Barcelona, España. Mayo de 1999
<http://www.aprchile.cl/pdfs/Humedales.pdf>
- DELGADILLO, Oscar. CAMACHO, Alan. PEREZ, Luis. ANDRADE Mauricio: “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”. Serie Técnica. Edición: Nelson Antenquera Duran. Cochabamba, Bolivia, 2010. ISBN: 978-99954-766-2-5.
http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf

8. CONCLUSIONES

- Los humedales artificiales son una tecnología viable para la depuración de aguas residuales, especialmente si éstas son de origen doméstico, y puede llegar a tener un gran futuro en países en vías de desarrollo que tengan climas tropicales o subtropicales, como en el caso de la región donde se realizó este proyecto que es un ecosistema de bosque seco tropical.
- Donde las condiciones económicas de los proyectos a desarrollarse (necesidades de terreno, relativamente menores costes de instalación, operación y mantenimiento), pueden ser determinantes a la hora de emprender o no la depuración de las aguas residuales domésticas, si a este punto adicionamos las condiciones climáticas que favorecerían los rendimientos, se tendría una interesante posibilidad de solución.
- Es necesario concientizar a la población sobre la necesidad de tratar las aguas residuales disminuyendo la contaminación de las fuentes de agua.
- El mejoramiento de la eficiencia de sistemas anaerobios y aerobios de tratamiento de aguas residuales domésticas a través de humedales artificiales puede ser muy efectivo, generando grandes rendimientos de estos sistemas, que por sus características los hace interesante su aplicación.

8.1. RECOMENDACIONES

Generales:

- Aplicar humedales en climas donde su eficiencia sea óptima.
- Proporcionar una buena área en cuanto a sus dimensiones donde se vea necesario la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en cuanto a proyectos a desarrollarse.
- Proponer el uso de humedales artificiales para mejorar la calidad del vertimiento y mitigar el daño al medio ambiente.

8.2. VENTAJAS

- Fácil de construir y operar
- No requiere de mano de obra calificada
- Las labores de mantenimiento pueden limitarse al retiro de los sólidos retenidos en las unidades de pre tratamiento
- Inexistencia de averías por la carencia de equipos mecánicos
- No demanda electricidad
- Se integra de forma armónica al ambiente natural

8.3. DESVENTAJAS

- Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparado con los tratamientos convencionales. El tratamiento con humedales puede ser relativamente más barato que otras opciones, solo en el caso de tener terreno disponible y asequible.
- El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional. El rendimiento del sistema puede ser estacional en respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.
- Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y los pesticidas que llegan a ser tóxicos.
- Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos.