

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales
Domésticas para el Conjunto Residencial Matisse utilizando un
Humedal Artificial**

Fernando David González Escobar

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ingeniería Civil

Quito,

Diciembre de 2011

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingenierías “El Politécnico”**

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas
Residenciales Domésticas para el Conjunto Residencial Matisse
utilizando un Humedal Artificial**

Fernando David González Escobar

Miguel Araque, Ingeniero Civil.
Director de la Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, Ph.D.
Decano del Colegio de “El Politécnico”

.....

Quito, Diciembre de 2011

© Derechos de autor

Fernando David González Escobar

2011

DEDICATORIA

Quiero iniciar dedicando esta tesis a mi querida madre, quien ha sido mi mayor apoyo y por quien me he esforzado toda mi vida para ser quien soy.

Dedico esta tesis también a mi padre, quien nunca ha permitido que me falte nada. Asimismo a mis hermanas, quienes me enorgullecen cada día con su constante esfuerzo, a pesar de todos los problemas de la vida.

Por último quiero dedicar esta tesis a todas las personas que me conocen y que de alguna manera han sido parte de mi vida; a mis amigos del Colegio Atenas con los que aún comparto; a mis amigos de la Universidad San Francisco de Quito que han sido un gran apoyo; y a mis dos más cercanos grupos de amigos de Ambato y de Quito que han llenado de gozo a mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial a mis padres, pues gracias al fruto de su trabajo incansable es que he tenido la dicha de estudiar, viajar y disfrutar de la mejor manera a lo largo de mi existencia.

Agradezco a Dios por haber creado todo lo que rodea mi vida.

Un especial agradecimiento a todos los profesores de la USFQ! En especial a Enrique, Fabricio, Fernando, Miguel y Cesar (+), quienes no solo han sido profesores sino amigos.

Gracias a mis compañeros de clase, con quienes estudiamos, farreamos, jugamos y hoy somos colegas.

Me permito aquí recordar a una persona especial (AM), quien me hizo ver la vida de una forma diferente y me hizo crecer en varios aspectos para bien.

Un agradecimiento grande a Carlitos, mi amigo, en cuyo establecimiento pasé incontables horas compartiendo con muchos amigos; y quien además se ha portado de una manera excepcional con mi familia.

Quiero también agradecer a la “Seño Moni” de la Pirámide, quién de alguna manera siempre estaba dispuesta a escuchar y compartir un minuto entre clases.

Por último, pero no menos importantes, quiero agradecer a ese selecto grupo de personas que me han ayudado y dado fuerzas para realizar esta tesis.

RESUMEN

En este trabajo se realiza el diseño de un humedal artificial de flujo sub-superficial como tratamiento secundario para las aguas residuales domésticas del Conjunto Habitacional Matisse ubicado en el Valle de Tumbaco. Debido a su aspecto ecológico y su bajo costo de mantenimiento y operación, se ha escogido este método de depuración con la finalidad de promover el uso de tecnologías ecológicas dentro de la construcción. Además, el uso de humedales artificiales se a expandido rápidamente en la última década en todo el mundo. Los principales lugares de investigación y uso de los humedales artificiales siguen siendo Europa y Estados Unidos. Sin embargo, por el bajo y fácil costo de construcción, los humedales artificiales han sido utilizados principalmente en zonas rurales en la mayoría de países de Latinoamérica. La gran ventaja de estos sistemas es que las plantas y los microorganismos crean una “película purificadora” que se alimenta de los contaminantes, como la DBO, los SST, el nitrógeno del amoníaco y el fósforo.

ABSTRACT

This work focuses on the design of a subsurface flow constructed wetland as a secondary treatment for domestic wastewater for the Residential Development Matisse, which is located in the Tumbaco Valley. Due to its ecological value and low operation and maintenance costs, this depuration method has been chosen to promote the use of environmentally friendly technologies and in-situ wastewater treatment. Furthermore, the use of constructed wetlands has increased rapidly throughout the world in the last decade. Europe and the United States are still the main users and researchers of this technology. Nonetheless, the low cost and relatively easy construction have made many countries in Latin America to use these wetlands mainly in rural areas. The huge advantage of using these constructed wetlands is that the plants and microorganisms form a “bio-purifying film” that nurtures on contaminants such as the BOD, the TSS, the ammonia nitrogen and the phosphorus.

TABLA DE CONTENIDO

1	CAPÍTULO - GENERALIDADES	1
6.1	Antecedentes	1
6.2	Descripción del Proyecto	2
6.3	Importancia del Proyecto	3
6.4	Ubicación y Descripción de la Zona de Estudio	5
2	CAPÍTULO – MARCO TEÓRICO	7
2.1	Definición de Aguas Residuales	7
2.2	Fuentes de Aguas Residuales.....	7
2.3	Características de las Aguas Residuales	8
2.3.1	Características Físicas	8
2.3.2	Características Químicas	11
2.3.3	Características Biológicas	15
2.4	Objetivos del Tratamiento de Aguas Residuales.....	17
2.5	Marco Legal para el Tratamiento de Aguas Residuales.....	18
2.5.1	Definiciones	18
2.5.2	Planta Piloto de Tratamiento	20
2.5.3	Criterios de calidad para aguas subterráneas.....	20
2.6	Ubicación de la Planta de Tratamiento Piloto.....	21
3	CAPÍTULO – PROCESO DE TRATAMIENTO DE ARD.....	22
3.1	Tratamientos Primarios.....	22
3.2	Tratamientos Secundarios.....	24
3.3	Tratamientos en el Mismo Sitio y Descarga Final	29
3.3.1	Tanque Séptico	30
3.3.2	Trampa para Grasas	31
3.3.3	Campos de Infiltración.....	31
3.3.4	Laguna de evaporación/infiltración.....	33
3.4	Proceso de Tratamiento para el Conjunto Residencial Matisse	33

4	CAPÍTULO – DEPURACION DE ARD CON HUMEDALES ARTIFICIALES ...	35
4.1	Tipos de Humedales Artificiales	35
4.1.1	Humedales de Flujo Libre FWS	35
4.1.2	Humedales de Flujo Sub-superficial SSF.....	36
4.2	Componentes del Humedal Sub-Superficial.....	37
4.3	Procesos Naturales Purificadores	39
4.4	Consideraciones Ambientales y de Salud	41
4.5	Consideraciones de Construcción	42
4.6	Rendimientos Esperados.....	43
5	CAPÍTULO – MODELO GENERAL DE DISEÑO.....	49
5.1	Modelo de Cálculo del Caudal de Diseño.....	49
5.2	Modelo de Dimensionamiento para Remoción de la DBO ₅	51
5.3	Modelo de Diseño Hidráulico.....	53
5.4	Modelo de Diseño para Remoción de SST	55
5.5	Modelo de Diseño para Remoción de Nitrógeno.....	56
5.6	Modelo de Diseño para Remoción de Fósforo	58
6	CAPÍTULO – DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	59
6.1	Diseño de un Tanque Séptico para Remoción de Sólidos Suspensos Totales	59
6.2	Diseño de un Humedal Artificial para Purificación Previo Descarga	60
6.3	Diseño de un Pozo de Absorción para Descarga Final	64
6.4	Guía de Construcción	64
6.4.1	Medio de Tratamiento – Lecho del Humedal	65
6.4.2	Implantación de la Totora.....	66
6.5	Guía de Operación, Mantenimiento y Control	67
6.5.3	Operación.....	67
6.5.4	Mantenimiento.....	68
6.5.5	Control.....	69
7	CAPÍTULO – PRESUPUESTO	71

8	CAPÍTULO – CONCLUSIONES	72
9	CAPÍTULO – RECOMENDACIONES	74
10	BIBLIOGRAFIA	75
11	ANEXOS	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ubicación Conjunto Matisse (autor)	6
Figura 2 - Vista Posterior del Terreno (autor).....	6
Figura 3 - Cono de Imhoff (www.steroglass.it).....	9
Figura 4 - Turbiedad del Agua (www.fondriest.com).....	11
Figura 5 - Tanque Séptico (www.bvsde.paho.org).....	31
Figura 6 - Pozo de Infiltración (www.itp-depuración.com).....	33
Figura 7 - Humedal de Flujo Libre (Llagas & Gómez)	36
Figura 8 - Humedal de Flujo Sub-superficial (Llagas & Gómez).....	37
Figura 9 - Humedal Artificial con Totorá [<i>Scirpus spp</i>] (www.flickr.com).....	39
Figura 10 - Afluente de DBO vs. Efluente (Reed & Brown)	44
Figura 11 - Remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulica (Reed & Brown)	45
Figura 12 - Afluente de SST vs. Efluente (Reed & Brown)	45
Figura 13 - Afluente de NH ₃ vs. Efluente (Reed & Brown).....	46
Figura 14 - Remoción de NH ₃ vs. Tiempo de Retención Hidráulico (Reed & Brown)	47
Figura 15 - Afluente de Fósforo vs. Efluente (Reed & Brown)	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Caudales Medios para ARD (Metcalf & Eddy)	50
Tabla 2 - Propiedades de Agregados (Metcalf & Eddy).....	54
Tabla 3 - Propiedades de Agregados (EPA).....	55

1 CAPÍTULO - GENERALIDADES

6.1 Antecedentes

La población produce grandes cantidades de aguas residuales o servidas, las mismas que deben ser depuradas adecuadamente para evitar la contaminación de los efluentes (ríos cercanos que sirven como abastecimiento de agua a otras poblaciones). El tratamiento de estas aguas residuales siempre ha sido un tema de gran importancia dentro del diseño y construcción de cualquier unidad habitable y comercial de la humanidad. Más aún, en cada país existen leyes que regulan la manera en que deben ser tratadas y posteriormente recuperadas dichas aguas servidas.

En el Distrito Metropolitano de Quito existen varias plantas de tratamiento para aguas residuales administradas por la EMAAPQ. Principalmente, éstas aguas son conducidas hacia grandes plantas de tratamiento a través de la red de alcantarillado de la ciudad. Sin embargo, en la constante búsqueda de la humanidad, de los ecuatorianos, y más específicamente de los quiteños por desarrollar construcciones sustentables es que se requiere la aplicación de los humedales artificiales para la depuración de estos líquidos contaminados.

Los humedales artificiales permiten la reproducción de un proceso natural y toman ventaja de estas características para reducir gastos en energía y evitar la utilización agentes químicos artificiales. Además, este es un proceso secundario al tratamiento de aguas residuales.

La ingeniería civil debe buscar constantemente la aplicación de nuevos sistemas ecológicos en las infraestructuras que permitan la recuperación de los

recursos naturales de manera que cada vez se reduzca aún más el impacto a la naturaleza.

6.2 Descripción del Proyecto

Para el tratamiento de las aguas residuales de una determinada población existen varios pasos, y para cada paso existen varios sistemas para lograr cada objetivo específico y llegar al objetivo final. El resultado de todo el proceso es la purificación del agua hasta un nivel aceptable para su devolución a los ríos o su utilización para sistemas de regadío. El sistema de tratamiento común es la conducción de las aguas servidas mediante tuberías hacia una planta de tratamiento general destinada a una población. Sin embargo, existen métodos de tratamiento naturales como es la utilización de humedales artificiales.

Los humedales artificiales no son otra cosa más que la imitación de un proceso natural que permite la purificación de aguas contaminadas mediante la intervención de microorganismos junto con procesos químicos y físicos.

“Estos seres vivos, junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos químicos tóxicos. Este proceso se da en los humedales naturales, en donde grandes cantidades de vegetación sumergida, flotante y emergente forman complejos mosaicos de láminas de agua. Los humedales también son zonas con un nivel freático cercano a la superficie y en los que el suelo se mantiene saturado durante un largo período en el año.

En depuración de aguas residuales, los humedales se consideran a aquellos sistemas que usan macrófitos (plantas que se ven a simple vista y no micrófitos algas)” (Lahora, 99).

En Holanda y España, países pioneros de esta propuesta ambiental, el sistema de humedales artificiales es cada vez más utilizado como el enlace entre el tratamiento básico de aguas residuales y la descarga final hacia los efluentes (Troncoso). En el Ecuador ya se ha realizado un estudio de las plantas que son adaptables para este tipo de tratamiento, así como los niveles de purificación que se consiguen con las mismas (Véase en bibliografía, tesis de la ESPE realizada por Erika Cevallos). También existen proyectos específicos desarrollados para poblaciones rurales como por ejemplo el trabajo desarrollado para la UTPL por los Ingenieros Cuenca y Villa. Empero, en el país todavía no existen proyectos enfocados a las zonas urbanas, y específicamente a los conjuntos residenciales como en este caso.

6.3 Importancia del Proyecto

Como es de conocimiento de todos, debido a la irresponsabilidad del hombre, el planeta tiene cada vez mayores problemas para recuperar sus recursos naturales. Considerando que apenas el 3% del total de agua del planeta es dulce (agua apta para el consumo humano) (USGS), la importancia en utilizar métodos ecológicos de recuperación de las aguas residuales es muy grande.

Los humedales artificiales presentan una gran ventaja para el futuro de la sociedad, la cual es que no utiliza productos químicos que presentan riesgos para

la salud. Este sistema se basa en materiales biodegradables (vegetación y microorganismos), evitando así cualquier posible contaminación por pequeños derrames o por falta de mantenimiento del mismo. Aclarando eso sí que como todo sistema de tratamiento requiere de un mantenimiento periódico para su correcto funcionamiento. Además, esta técnica es utilizada en varias partes del planeta y ha probado su éxito en el tratamiento de aguas servidas (Troncoso).

En el Distrito Metropolitano de Quito, éste sistema no es utilizado. Es por eso que se ha propuesto la aplicación del mismo para el tratamiento de aguas residuales de un conjunto residencial. En este conjunto residencial se han diseñado todos los aspectos para la construcción y funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales que incluye como paso secundario la depuración del agua mediante el uso de un humedal artificial. De esta manera se busca recuperar el agua a niveles que sean aptos para el riego del conjunto o su descarga segura sobre los pasos de agua de riego para zonas aledañas.

Algunas de las ventajas que presenta este sistema son:

- La necesidad mínima de personal, de equipos electromecánicos y de personal calificado, debido a la simplicidad de operación.
- El consumo energético en esta parte del tratamiento de las aguas residuales es casi nulo.
- El sistema apenas produce residuos, evitando así un tratamiento posterior.
- Mejora las condiciones paisajísticas y se integra dentro del medio natural.

- Menores costos totales de vida útil y de mantenimiento en relación con los sistemas tradicionales de tratamiento.

Cada ciudadano debe sentirse responsable por la generación de sus propios desechos y buscar colaborar o apoyar con iniciativas que permitan la reutilización o apropiada disposición de los mismos. En el caso del agua, que es el líquido vital de la humanidad, se debe buscar la manera de devolver las aguas residuales a los ríos después de haber sido tratadas para que estas no contaminen ni destruyan la fauna y flora marina, así como otras poblaciones que subsisten del mismo río aguas abajo.

Se espera que en el futuro se utilicen con más frecuencia los humedales artificiales, y que además se desarrollen nuevos métodos de tratamiento de aguas, similares a este en donde intervengan procesos naturales que no causen ningún impacto al ambiente y sean biodegradables.

6.4 Ubicación y Descripción de la Zona de Estudio

El Conjunto Residencial Matisse se encuentra ubicado en el sector de la Morita, en la parroquia de Tumbaco, del cantón Quito, de la provincia de Pichincha. Esta zona fue por muchas décadas una área de cultivo, y hasta hoy existen varios terrenos que se dedican a esta tarea. No obstante, con el gran crecimiento poblacional que ha sufrido el Valle de Tumbaco en las últimas décadas, esta zona se ha convertido paulatinamente en una zona residencial. Aquí se desarrollan cada vez más y más conjuntos habitacionales, los cuales tiene gran demanda por las características de la zona.

De acuerdo a la regulación municipal de esta zona, en planta baja se puede utilizar hasta el 31% de ocupación del suelo (COS) y en total el 71%. En el caso del Conjunto Matisse, se han desarrollado 15 casas en un área de 4.000 m². Cada casa tiene un área de construcción aproximada de 200 m², y tiene 3 dormitorios. En total se prevé que vivan en este conjunto un aproximado de unas 75 personas.



Figura 1 - Ubicación Conjunto Matisse (autor)



Figura 2 - Vista Posterior del Terreno (autor)

2 CAPÍTULO – MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de Aguas Residuales

De acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de la República del Ecuador (TULAS 287), las aguas residuales son: las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.

2.2 Fuentes de Aguas Residuales

En realidad no existen clases definidas de aguas residuales, sino más bien, de acuerdo al estudio que se está realizando, se pueden clasificarlas basándose en un parámetro específico. A continuación tenemos la clasificación de las aguas residuales realizada por el Ing. Jairo Romero en su libro “Tratamiento de Aguas Residuales” (17):

Aguas Residuales Domésticas (ARD): líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales.

Aguas Residuales Municipales: residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.

Aguas Residuales Industriales: líquidos provenientes de las descargas de industrias de manufactura.

Aguas Negras: líquidos provenientes de inodoros; transportan excrementos humanos y orinas, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

Aguas Grises: líquidos provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales.

Además de estos grupos, las aguas residuales también provienen de escorrentías de usos agrícolas y pluviales. Las escorrentías de usos agrícolas arrastran con ellas fertilizantes (fosfatos) y pesticidas. Las aguas pluviales en zonas urbanas pueden tener efectos contaminantes significativos (Ramalho 10).

En el caso del Conjunto Residencial Matisse, las aguas que serán evaluadas son ARD, es decir, aguas negras y grises, y aguas pluviales.

2.3 Características de las Aguas Residuales

Aunque las características de cada agua residual son únicas, aquellas provenientes de diferentes zonas y fuentes, existen caracterizaciones típicas de las mismas. Éstas se pueden resumir a continuación:

2.3.1 Características Físicas

Las principales características físicas son el contenido total de sólidos, el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

Sólidos Totales: Se definen como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre 103 y 105 °C (Metcalf & Eddy 59).

Los sólidos sedimentables, en cambio, son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente cónico (cono de Imhoff) en un período de una hora y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple. Los sólidos totales se dividen en solubles y no solubles, los primeros son aquellos con tamaño menor a 1,2 μm y los segundos los que tiene tamaño mayor. Por último, los sólidos volátiles son la fracción orgánica que se volatiliza a temperaturas de 550 ± 50 °C y son importantes en la determinación de lodos activados, crudos y digeridos. El residuo de esta calcinación en cambio son los sólidos fijos. Para tratamientos biológicos de aguas residuales se recomienda un límite de 16.000 mg/L de sólidos disueltos (Romero 68).



Figura 3 - Cono de Imhoff
(www.steroglass.it)

Olores: Estos se dan debido a la liberación de gases durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Su problemática está considerada como la principal causa de rechazo de la población para la instalación de plantas de

tratamiento en la vecindad de sus hogares. Los olores generan en realidad una tensión psicológica, más no un daño al organismo. Estos se manifiestan como reducción del apetito, menor consumo de agua, náuseas y vómitos, entre otros (Metcalf & Eddy 63)

Temperatura: La temperatura de las aguas residuales es siempre mayor a la de suministro. Esto se debe principalmente al agua caliente que se utiliza en hogares e industrias. Éste parámetro es muy importante por cuanto puede influir en el desarrollo de la vida acuática, así como en las reacciones químicas y sus velocidades. Como sabemos a mayor temperatura, más rápida es la reacción de ciertas sustancias. La temperatura óptima para el desarrollo de actividad bacteriana esta entre los 25 y los 35 °C (Romero 70).

Densidad: Se define como la masa del agua residual por unidad de volumen (kg/m^3). De esta característica depende la formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación u otras instalaciones de tratamiento. Tanto la densidad como el peso específico dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos (Metcalf & Eddy 72).

Color: Inicialmente las aguas residuales domésticas son de color gris, pero a medida que avanza el tiempo estas se vuelven más oscuras hasta llegar a un color negro. De esta manera se puede determinar la “edad” de una u otra agua residual. Además, por los colores de los contaminantes se pueden rastrear las mismas a su origen en plantas industriales (Romero 37).

Turbiedad: Se ha tratado de definir el grado de turbiedad mediante medidas ópticas realizadas sobre muestras empíricas. En el estudio de esta propiedad

existe bastante confusión y no existen pruebas precisas que nos permitan medir este parámetro. Sin embargo, uno de los métodos más utilizados para su estudio es el método de Dienert, el cual mide la cantidad de luz refractada utilizando montajes ópticos a 90° (Gomella & Guerree 28).

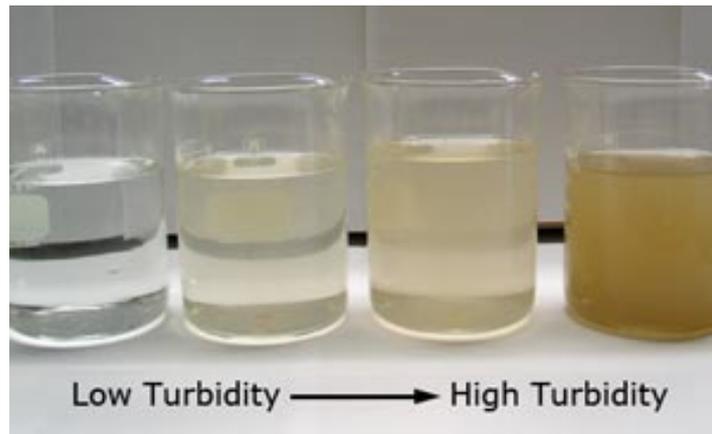


Figura 4 - Turbiedad del Agua (www.fondriest.com)

2.3.2 Características Químicas

Estas características pueden tratarse dentro de los siguientes grupos: materia orgánica, medición del contenido orgánico, materia inorgánica y los gases presentes en el agua residual.

Materia Orgánica: los sólidos suspendidos pueden contener un 75% de materia orgánica y los disueltos un 40%. La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON); con las proteínas (40 – 60%), carbohidratos (25 – 50%) y grasas y aceites (10%) como los grupos principales. Las altas concentraciones de materia orgánica en el agua se miden con ensayos diferentes a aquellas aguas con bajas concentraciones (Romero 60).

Medida del Contenido Orgánico: Se han establecido dos grupos de medición de acuerdo al grado de concentración de contenido orgánico. El primer grupo abarca concentraciones mayores de 1 mg/L, e incluye a la DBO, la DQO (Demanda Química de Oxígeno) y el COT (Carbono Orgánico Total). Además. Como complemento a estos ensayos también se usa la DTO (Demanda Teórica de Oxígeno). El segundo grupo abarca concentraciones entre 0,01 mg/L hasta 1 mg/L y se emplean métodos instrumentales como son la cromatografía de gases y la espectroscopia de masa. En cambio, la determinación de las concentraciones de pesticidas se lleva a cabo mediante el método de extracción con carbono-cloroformo, donde el agua pasa por una columna de carbón activado y los contaminantes son separados empleando el cloroformo (Metcalf & Eddy 77).

Demanda Bioquímica de Oxígeno: Éste es el parámetro más aplicado tanto a aguas residuales como a superficiales y es la DBO⁵ o la DBO a los 5 días. Lo que se mide es el oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Aunque tiene ciertas limitaciones, este ensayo es usado porque mediante el mismo se pueden determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento; y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (Metcalf & Eddy 80).

Demanda Química de Oxígeno: este ensayo mide el contenido de materia orgánica en las aguas naturales y las residuales. Se emplea un

agente químico fuertemente oxidante en el medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El dicromato potásico es muy usado como agente químico. Este ensayo también se emplea en la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. En muchos tipos de aguas residuales se puede obtener una relación entre la DBO y la DQO (Metcalf & Eddy 93).

Carbono Orgánico Total: Este es otro método para medir la materia orgánica presente en el agua. Se utiliza especialmente cuando existen pequeñas concentraciones de materia orgánica. El ensayo se lleva a cabo inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura o en un medio químicamente oxidante. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, la cual se mide cuantitativamente mediante un analizador de infrarrojos (Metcalf & Eddy 93).

Materia Inorgánica: Las concentraciones de sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto con formaciones geológicas como por las aguas residuales (tratadas y sin tratar) que a ella se descargan. Puesto que las concentraciones de varios constituyentes inorgánicos afectan a los usos del agua, es conveniente examinar la naturaleza de algunos de estos (Metcalf & Eddy 95).

pH: Es la medida de la concentración del ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de su concentración molar. A pH bajo el poder bactericida del cloro es mayor; y a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es el gas (NH_3), el cual es toxico

pero removible mediante arrastre de aire. El pH adecuado para procesos de tratamiento y la existencia de la vida biológica está entre 6,5 y 8,5 (Romero 66).

Cloruros: La contribución diaria por persona es de 6 a 9 gramos en aguas residuales. Altas concentraciones pueden causar problemas en calidad de agua de riego y en su sabor para su reuso. Los cloruros interfieren en el ensayo de la DQO, y en concentraciones mayores a 15.000 mg/L son considerados tóxicos para el tratamiento biológico convencional (Romero 36).

Alcalinidad: Esta característica expresa la concentración de iones bicarbonato, carbonato e hidróxido. Se analiza mediante los cambios de pH, por lo que se puede decir que ayuda a regular los mismos. En general el agua residual es alcalina (Gomella & Guerree 36).

Nitrógeno, Fósforo y Azufre: Los dos primeros son esenciales para el crecimiento de organismos protistas y plantas, razón por la cual son llamados nutrientes o bio-estimuladores. El azufre es necesario para la síntesis de proteínas, y el mismo luego será liberado en el procesos de degradación de las mismas (Metcalf & Eddy 97-100).

Metales Pesados: Entre estos se encuentran plata, bario, cadmio, cromo, cobre, cobalto, níquel, plomo, zinc, hierro, mercurio, titanio, vanadio, niobio, molibdeno y manganeso. Algunos residuos industriales pueden contener concentraciones apreciables de metales pesados y requieren de un pretratamiento para permitir su descarga al alcantarillado

municipal. En altas concentraciones, estos compuestos son tóxicos (Romero 60).

Gases: Los que se encuentran con mayor frecuencia en aguas residuales son el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el amoníaco (NH_3), y el metano (CH_4). Los tres primeros se encuentran en todas las aguas en contacto con la atmósfera, ya que estos gases forman parte de ella. Los tres últimos, en cambio, provienen de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales (Metcalf & Eddy 101).

2.3.3 Características Biológicas

Aquí podemos encontrar los principales grupos de microorganismos biológicos que se encuentran presentes y también los que intervienen en el tratamiento de las aguas residuales; los organismos patógenos; los organismos indicadores de contaminación; los métodos empleados para determinar organismos indicadores; y los métodos utilizados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas (Metcalf & Eddy 103)

Microorganismos: El impacto a la salud pública más grande es la disentería, causada por la calidad microbiológica del agua de consumo humano. Aquí se incluyen enfermedades infecciosas y parasíticas como el cólera, la tifoidea, la disentería, la hepatitis, la giardiasis, el gusano de guinea y la esquistosomiasis. La bacteria principal dentro de éste grupo es la E. Coli O157:H7, la cual produce una toxina que causa graves enfermedades. Los virus presentes en el agua contaminada también causan enfermedades como la gastroenteritis y la Hepatitis-

A entre otras. Los protozoos patógenos más importantes, en cambio, son los *Cryptosporidium* y la *Giardia* (Parsons & Jefferson 7).

Organismos Patógenos: Proceden de desechos humanos infectados o que son portadores de una determinada enfermedad. Los principales organismos patógenos son bacterias, virus, protozoos y el grupo de los helmintos (Metcalf & Eddy 106).

Presencia de Coliformes: Se utiliza el ensayo de fermentación en tubo múltiple y consta de tres fases. La primera es la fase de presunción y se basa en la capacidad de los coliformes para fermentar lactosa en medio fluido. La segunda fase es la de confirmación y se realiza un cultivo de bacterias coliformes en un medio que imposibilite el desarrollo y crecimiento de otros organismos. La tercera fase, que es el ensayo completo, relaciona los dos pasos anteriores (Metcalf & Eddy 100).

Ensayos de Toxicidad: Mediante estos ensayos se puede constatar la aptitud de las condiciones ambientales para el desarrollo de las determinadas formas de vida acuática; el establecimiento de concentraciones aceptables de los diferentes parámetros convencionales en las aguas receptoras, el estudio de la influencia de los parámetros de calidad sobre la toxicidad de la misma; la constatación de la toxicidad para diferentes especies de peces marinos y de agua dulce; entre otras medidas que permitan definir si puede o no existir alteración y muerte del ecosistema marino en general (Metcalf & Eddy 116).

2.4 Objetivos del Tratamiento de Aguas Residuales

Se pueden considerar diferentes objetivos para el tratamiento de ciertas aguas residuales específicas dependiendo del presupuesto, los conocimientos técnicos, las facilidades de descarga hacia los efluentes y la calidad legal del agua residual establecida para su descarga. En el Ecuador debemos regirnos mediante el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), aunque para el diseño de este humedal se utilizará la norma internacional para la DBO.

Como indica Jairo Romero en “Tratamiento de Aguas Residuales” se pueden considerar los siguientes objetivos generales para la purificación de las aguas servidas:

- remoción de DBO
- remoción de sólidos suspendidos
- remoción de patógenos

Luego

- remoción de nitrógeno y fósforo

Finalmente

- remoción de sustancias orgánicas refractarias (detergentes, fenoles y pesticidas)
- remoción de trazas de metales pesados
- remoción de sustancias inorgánicas disueltas

En el caso de los humedales artificiales, los objetivos específicos son la eliminación de la materia en suspensión y la DBO. Esto se debe a que se trata de un tratamiento secundario.

2.5 Marco Legal para el Tratamiento de Aguas Residuales

En el Libro VI Anexo I del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de la República del Ecuador, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua, se establecen los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en efluentes o sistemas de alcantarillado. Aquí también se establecen los criterios de calidad para los distintos usos del agua, así como los métodos para determinar la presencia de contaminantes en la misma.

2.5.1 Definiciones

Caracterización de un agua residual: Proceso destinado al conocimiento integral de las características estadísticamente confiables del agua residual, integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físico, químico, biológico y microbiológico (288).

Contaminación de aguas subterráneas: Cualquier alteración de las propiedades físico, química, biológica de las aguas subterráneas, que pueda ocasionar el deterioro de la salud, la seguridad y el bienestar de la población, comprometer su uso para fines de consumo humano, agropecuario, industriales, comerciales o recreativos, y/o causar daños a la flora, a la fauna o al ambiente en general (289).

Depuración: Es la remoción de sustancias contaminantes de las aguas residuales para disminuir su impacto ambiental (289).

Descargar: Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado en forma continua, intermitente o fortuita (289).

Polución o contaminación del agua: Es la presencia en el agua de contaminantes en concentraciones y permanencias superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente capaz de deteriorar la calidad del agua (291).

Toxicidad en agua: Es la propiedad de una sustancia, elemento o compuesto, de causar efecto letal u otro efecto nocivo en 4 días a los organismos utilizados para el bioensayo acuático (292).

Tratamiento convencional para potabilizar el agua: Son las siguientes operaciones y procesos: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (292).

Tratamiento convencional para efluentes, previa a la descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado: Es aquel que está conformado por tratamiento primario y secundario, incluye desinfección (292).

Tratamiento primario.- Contempla el uso de operaciones físicas tales como: Desarenado, mezclado, floculación, flotación, sedimentación, filtración y el desbaste (principalmente rejas, mallas, o cribas) para la eliminación de sólidos sedimentables y flotantes

presentes en el agua residual (292).

Tratamiento secundario.- Contempla el empleo de procesos biológicos y químicos para remoción principalmente de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos (292).

El tratamiento secundario generalmente está precedido por procesos de depuración unitarios de tratamiento primario (292).

2.5.2 Planta Piloto de Tratamiento

De acuerdo a estas definiciones, se realizará un tratamiento convencional a las aguas residuales del Conjunto Matisse. Para el tratamiento secundario se utilizará la depuración mediante el uso de un humedal artificial. Como ya se mencionó antes, existen varias ventajas para el uso de este sistema. Las características de diseño y funcionamiento de los humedales artificiales será descrita en el Capítulo 4 de ésta tesis. Después del tratamiento secundario, el agua purificada será devuelta al medio ambiente a través de un pozo de absorción.

2.5.3 Criterios de calidad para aguas subterráneas

Adjunto en el Anexo 1 se presenta la Tabla 12. Límites de descarga hacia un cuerpo de agua dulce (TULAS Libro VI 330-333). De acuerdo a los parámetros establecidos en esta tabla se diseñará el sistema depurador para alcanzar dichos

niveles y poder devolver el agua purificada al medio ambiente mediante el uso de pozo de absorción.

Además, el TULAS indica en su artículo 4.2.3.9 que: se prohíbe la descarga de efluentes hacia cuerpos de agua severamente contaminados, es decir aquellos cuerpos de agua que presentan una capacidad de dilución o capacidad de carga nula o cercana a cero. La Entidad Ambiental de Control decidirá la aplicación de uno de los siguientes criterios:

- a) Se descarga en otro cuerpo de agua
- b) Se exigirá tratamiento hasta que la carga contaminante sea menor o igual a 1,5 del factor de contaminación de la Tabla 14 adjunta en el Anexo 2 (Factores Indicativos de Contaminación)

2.6 Ubicación de la Planta de Tratamiento Piloto

La planta de tratamiento general: el tanque séptico (primaria) junto con el humedal artificial (secundaria) y el pozo de absorción (descarga final) estarán ubicados en la parte inferior del Conjunto Matisse con orientación hacia el noreste. Lógicamente, se ubico la planta piloto en este lugar para aprovechar la conducción del agua mediante la gravedad. La cota de este sitio se encuentra a – 5 m del nivel de la calle San Felipe.

Adjunto en el Anexo 3 se encuentra un plano de la implantación general del proyecto, donde se puede ubicar la Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales Mediante el Uso de un Humedal Artificial.

3 CAPÍTULO – PROCESO DE TRATAMIENTO DE ARD

Como se había mencionado antes, el TULAS indica que el proceso de tratamiento convencional para efluentes de aguas residuales domésticas consta de dos pasos principales más la descarga final. A continuación se describirán los varios métodos que existen para cada paso del proceso de tratamiento de aguas servidas.

3.1 Tratamientos Primarios

Se puede decir que los tratamientos primarios son los más sencillos, ya que su función es la de separar aquellas partículas de gran tamaño y de esta manera permitir el paso del líquido contaminado para los siguientes sistemas de tratamiento secundario que son de purificación en sí. El TULAS incluye dentro de este proceso a los siguientes: desarenado, mezclado, floculación, flotación, sedimentación, filtración y el desbaste o cribado.

Cribado, Desbrozo o Desbaste: Se utilizan rejillas y mallas para retener los sólidos en suspensión de distintos tamaños. Las materias recogidas se clasifican en finos y gruesos. Aunque puede llegarse a eliminar entre un 5 y un 25% de los sólidos en suspensión, con la sedimentación se puede llegar hasta el 60%. Debido a esto y a que las mallas finas pueden llegar a taponarse es que se prefiere el uso de sedimentadores o bien se utiliza el cribado como un paso anterior (Ramalho 92).

Desarenado: Los desarenadores se utilizan para remover arena, grava, partículas u otro material sólido que tenga velocidad de asentamiento o peso

específico bastante mayor que el de los sólidos orgánicos degradables de las aguas residuales. Estos, además, reducen la formación de depósitos pesados en tuberías y minimizan la frecuencia de limpieza en los digestores (Romero 294).

Sedimentación: En este paso se reciben las aguas residuales crudas antes del tratamiento biológico secundario, y es donde se separan los sólidos en suspensión de las mismas. La sedimentación puede darse una sola vez o en varias etapas de acuerdo al diseño de la planta de tratamiento y los objetivos finales de la misma. De acuerdo al Ing. Jairo Romero en el “Tratamiento de Aguas Residuales” existen tres tipos de tanques sedimentadores que son: tanques de flujo horizontal, tanques de flujo radial y tanques de flujo ascensional (634). Se pueden considerar también tres tipos de sedimentación: discreta, con floculación y por zonas.

Sedimentación discreta: Las partículas que se sedimentan mantienen sus propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico). Por ejemplo, la deposición de partículas de arena en los desarenadores (Ramalho 93).

Sedimentación con floculación: Las partículas se agrupan y por ello existen cambios en densidad y en la velocidad de sedimentación. Este tipo de sedimentación se lleva a cabo en clarificadores o sedimentadores primarios (Ramalho 93).

Sedimentación por zonas: Las partículas se aglomeran formando una especie de manto y se precipitan como una masa total formando una interfase distinta con la fase líquida. Por ejemplo, se da en los lodos activos en clarificadores secundarios y en la floculación de alúmina (Ramalho 93).

Flotación: Los efectos de la formación de espuma y la flotación pueden aparecer como efectos de la agitación violenta, la aireación o la ozonización. Este tratamiento se utiliza cuando el agua contaminada esta cargada de detergentes y materia orgánica, así como también de películas mono-moleculares de hidrocarburos (Gomella & Guerree 139).

Flotación por Aire Disuelto (FAD): esta se consigue introduciendo aire para la presurización del agua residual contenida en un tanque de retención cerrado. Después de ser presurizada se le permite salir a presión atmosférica y liberar el gas en exceso del de saturación. De esta manera se reduce la densidad de los materiales grasos y otros en suspensión mediante el contacto con las pequeñísimas burbujas de aire (Romero 345).

3.2 Tratamientos Secundarios

Al ser el segundo paso en el tratamiento del agua residual, el objetivo es la remoción de todas aquellas pequeñas partículas que no fueron retenidas en el tratamiento primario. Para este efecto se emplean sistemas que incluyen procesos biológicos (aerobios y anaerobios) y químicos para el tratamiento final del agua residual previo a su descarga. Vale recalcar una vez mas que para este proyecto específico, y debido a sus características, se ha escogido el tipo de tratamiento convencional que consta de dos pasos. Un tratamiento avanzado, como lo describe el TULAS, incluiría tratamientos terciarios como paso adicional en la purificación del agua.

Algunos de los tratamientos secundarios pueden ser el de lodos activos, lechos bacterianos o filtros percoladores, lagunas aireadas y los métodos naturales.

Lodos Activados: Es un proceso que se viene utilizando desde hace un siglo aproximadamente. Este tratamiento nació de la observación de que si somete a agua residual a aireación por algún tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, dejando como residuo un lodo floculento. Este lodo está compuesto por una población heterogénea de microorganismos que varían de acuerdo a las características del agua residual y a las condiciones ambientales (Ramalho 253 – 254). La masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos tiene una superficie altamente activa para la absorción de materiales coloidales y suspendidos. Una vez que se ha utilizado la capacidad de almacenamiento del lodo, éste deja de ser activo, y para recuperar su capacidad de absorción se debe someter al mismo a un período de aireación (Romero 421 – 422). Continuando, se realiza este proceso de reciclado del lodo residual una y otra vez, manteniéndolo activo para que pueda eliminar las partículas más pequeñas. En resumen, lo que sucede es que las bacterias se alimentan del material orgánico y otras bacterias inertes presentes, purificando así el agua. Lo que se debe tener muy en cuenta es el control del crecimiento bacteriano, para lo cual existen varias fórmulas empíricas que se han desarrollado a través de los años.

Filtros: En el proceso de filtración, el agua que contiene algunas impurezas físicas circula por un medio granular a una velocidad relativamente baja. Esta cama granular retiene la mayoría de contaminantes mientras el agua fluye

libremente. Las partículas retenidas son de diámetros muy pequeños (0,1 – 50 μm) comparado al diámetro de los componentes del lecho filtrante (500 – 2000 μm); de tal manera que no ocurre una simple retención, sino más bien las partículas colisionan entre sí y se adhieren a los gránulos del filtro (Parsons & Jefferson 72).

Filtros Percoladores: Su constitución es parecida a la de los filtros normales. La diferencia radica en que alrededor de cada granulo se forma una capa de limo biológico, la cual separa la materia orgánica y coloidal mediante oxidación aerobia, biosorción, coagulación y descomposición anaerobia. Los filtros percoladores pueden tener de 1 a 12m de profundidad, y están rellenos de materiales como roca, escorias (clinkers) y materiales sintéticos. Las propiedades más importantes de estos filtros son la superficie específica y el porcentaje de huecos. La superficie específica se refiere a los m^2 de relleno (superficie total de los gránulos) por m^3 de volumen total. Se entiende entonces que el limo biológico será mayor a mayor superficie específica. El porcentaje de huecos tiene que ver con los espacios existentes para que pueda circular el agua. Es decir, a mayor porcentaje de huecos mayor carga hidráulica. Además, solo los lechos de materiales sintéticos pueden tener profundidades entre 6 y 12m. Los lechos de roca y escoria solo pueden llegar hasta los 2,5m de profundidad (Ramalho 475).

Lagunas Aireadas: Se podría decir que este procedimiento es la transición entre los anteriores y los métodos naturales. Esto es por cuanto su funcionamiento y construcción es simple pero emplean la oxigenación mecánica. Las lagunas aireadas son piscinas artificiales poco profundas, entre 2 y 5m, excavadas e impermeabilizadas generalmente con alguna membrana sintética.

Los equipos de aireación mecánicos son usados para proveer de oxígeno al tratamiento biológico y también para mantener los sólidos en suspensión (Metcalf & Eddy 840).

De acuerdo al nivel de turbulencia se tienen dos clases de lagunas:

Lagunas de mezcla completa: Todos los sólidos se mantienen en suspensión y es posible proporcionar de oxígeno disuelto a todo el volumen del líquido. Es por esto que el tiempo de residencia del agua es menor a los tres días (Ramalho 437).

Lagunas facultativas: El nivel de turbulencia es insuficiente para mantener todos los sólidos suspendidos y apenas se logra suministrar de oxígeno disuelto a todo el volumen. Algunos de los sólidos sedimentan en el fondo y sufren descomposición anaerobia. Es por esto que el tiempo de retención supera los seis días (Ramalho 438).

Métodos Naturales: Son todos aquellos métodos “rudimentarios” que han sido adaptados de diferentes fenómenos naturales. Por ejemplo, el lagunaje se inspira de las charcas y estanques; los lechos vegetales imitan a los carrizales; la dispersión subterránea interpreta las reglas de las praderas húmedas; y la dispersión en bosque recrea a los bosques pantanosos. En todos estos métodos se combinan diferentes técnicas distinguidas por el modo de infiltración y circulación del agua: aéreo, subterráneo, vertical, horizontal o mixto. Dentro de estos métodos se encuentran las lagunas de macrófitas, los sistemas de circulación horizontal y vertical, y los humedales artificiales (Izembart & Le Boudec 24).

Lagunas de Macrófitas: Consiste en hacer circular las aguas residuales a través de una serie de grandes estanques impermeables y que cada vez son de menor profundidad, desde 1,20 hasta 0,50m. La depuración la realizan las bacterias presentes y existen plantas flotantes o arraigadas como juncos, carrizos, espadañas, jacintos de agua, entre otros. Esta vegetación frena la corriente y permite la sedimentación y la oxigenación del volumen. En el último estanque se plantan las macrófitas para limitar la proliferación de fitoplancton (Izembart & Le Boudec 25).

Sistemas de Circulación Horizontal: Fueron desarrollados en Alemania por el profesor Kickuth y es suficiente un solo estanque para su uso. El suelo puede ser llano o ligeramente inclinado y el sustrato está compuesto de grava, arena y elementos cohesionantes. También, el sustrato está saturado de agua y tiene varias zonas anaerobias, cuya única aportación de oxígeno la realizan las plantas acuáticas. Estos sistemas alcanzan los mínimos exigidos para la contaminación orgánica, por lo cual son usadas en tratamientos secundarios o terciarios (Izembart & Le Boudec 27).

Sistemas de Circulación Vertical: Asimismo fueron desarrollados en Alemania por el doctor Seidel y está basado en la utilización de carrizos y juncos, reproduciendo fenómenos anfibios en bordes de pantanos. Conocido también como “sistema de filtros vegetales”, utiliza varios estanques alimentados de forma alterna, lo cual facilita la oxigenación del medio filtrante (gravilla y/o arena). Sus niveles de depuración están muy por debajo que los obtenidos mediante lodos activados. Es por esta razón

que este tipo de planta se utiliza mayoritariamente en el tratamiento primario (Izembart & Le Boudec 29).

Humedales Artificiales: Son sistemas de tratamiento acuático que utilizan plantas y animales para la depuración de las aguas residuales. Pueden ser de flujo superficial (espejo de agua) o de flujo sub-superficial. Los de flujo superficial son pantanos en los que la vegetación emergente esta inundada hasta una profundidad de 10 a 45cm. En cambio, en los de flujo sub-superficial el agua fluye por debajo de un medio poroso sembrado con plantas emergentes. El medio en generalmente de grava gruesa y arena en espesores de 0,45 a 1m y con pendiente de 0 a 0,5%. Ambos humedales son utilizados en el tratamiento secundario o terciario de las aguas residuales domésticas o municipales, aguas de irrigación, lixiviados de rellenos sanitarios y residuos de tanques sépticos (Romero 893 y 898). Los humedales artificiales, que son el enfoque principal de esta tesis, serán discutidos a profundidad en el Capítulo 4.

3.3 Tratamientos en el Mismo Sitio y Descarga Final

Estos métodos se utilizan cuando no existe un alcantarillado sanitario al cual se pueda conectar la edificación planificada. Generalmente se trata de edificaciones en zonas rurales, pero también pueden ser edificaciones en zonas urbanas que por algún factor geológico no tienen acceso a un sistema de alcantarillado.

3.3.1 Tanque Séptico

Un tanque séptico es básicamente un sedimentador que tiene una descarga del líquido efluente hacia el suelo mediante un sistema de infiltración. Se construye principalmente con materiales impermeables como el concreto, la fibra de vidrio, el acero, el pino californiano o el polietileno (Romero 726). A este tanque pueden llegar tanto ARD como aguas grises provenientes de los lavabos y duchas de la edificación. Como es usual, el material orgánico sedimentado forma un lodo en su parte inferior, el cual debe ser extraído periódicamente para garantizar el normal funcionamiento del sistema. La eficiencia en la eliminación de los sólidos suspendidos depende del tiempo de retención, los dispositivos de entrada y salida, y la frecuencia de extracción de lodos (OPS 4).

Además, los líquidos menos densos como el aceite y la grasa flotan en la superficie formando una capa de espuma. La materia orgánica que se encuentra tanto en la capa de lodos como en la de grasas es descompuesta por bacterias anaerobias. El proceso de digestión aumenta con la temperatura llegando a un máximo alrededor de los 35 °C. Debido a que el efluente de los tanques sépticos contiene agentes patógenos, su descarga en canales o aguas superficiales no es permitido, así como tampoco su uso para riego (OPS 5).

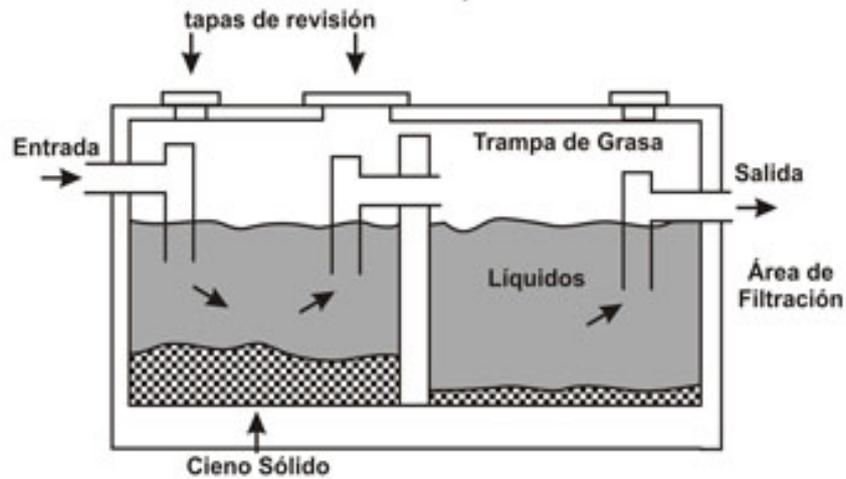


Figura 5 - Tanque Séptico (www.bvsde.paho.org)

3.3.2 Trampa para Grasas

Como su nombre lo indica, es utilizada cuando existe una producción apreciable de grasas. Esto sucede generalmente en lugares como estaciones de servicio, moteles, hospitales, restaurantes y hoteles. Su uso es a criterio del ingeniero diseñador, aunque por ser tan sencilla su construcción es ampliamente usada. Se atrapan las grasas con el objetivo de evitar el taponamiento de tuberías y el efecto deletéreo que puedan tener estas sobre la acción bacterial y la sedimentación en el tanque séptico. En ARD el contenido de grasas y aceites puede ser del orden de 30 a 50 mg/L y constituir alrededor del 20% de la DBO. Las grasas y aceites también causan obstrucción de las bombas, problemas de flujo en sedimentadotes y dificultan el secado de lodos (Romero 727).

3.3.3 Campos de Infiltración

Se utiliza la permeabilidad del suelo para el tratamiento y disposición sub-superficial del agua residual. Para poder usar un suelo como sistema de

disposición de aguas procedentes de un tanque séptico se debe hacer un ensayo de infiltración. Además, el nivel freático o la superficie de cualquier formación impermeable debe estar por debajo del metro de profundidad del fondo del sistema de infiltración a utilizar. Entre estos sistemas se encuentran las zanjas, los lechos y los pozos de infiltración (Romero 730).

Zanjas de Infiltración: Es básicamente una red de tuberías de 10 cm de diámetro tendidas de manera que el efluente pueda distribuirse de manera uniforme en todo el terreno destinado para el proceso. Los tubos son perforados o de junta abierta, los laterales no deben ser mayores a 18 m de largo y el vertical no debe ser mayor a 30 m . La pendiente varía entre el 1,5 y el 3%, y la profundidad debe ser entre 30 y 60 cm para que exista un mínimo de cama de grava y cobertura de suelo. La cama de grava debe ser de unos 15 cm, y el ancho de la zanja está entre 30 y 90 cm (Romero 733).

Lechos de Infiltración: Son prácticamente zanjas de infiltración con anchos mayores a 90 cm y que contienen varias líneas de tuberías de distribución. Estos lechos requieren menos área de terreno que las zanjas, su costo es menor y son aplicables a terrenos con hasta el 10% de pendiente (Romero 736).

Pozos de Infiltración: Se utilizan cuando el área de terreno para el tratamiento y disposición de las aguas servidas es reducido. Sus paredes son de ladrillo, bloque o algún otro material prefabricado colocados a junta abierta y rodeados de grava o piedra triturada. El agua residual que llega al pozo se infiltra al suelo a través de sus paredes (Romero 737).

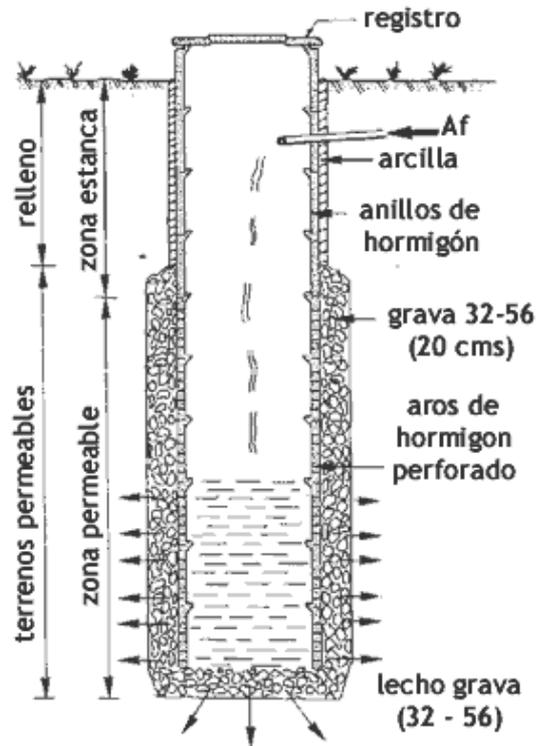


Figura 6 - Pozo de Infiltración
(www.itp-depuración.com)

3.3.4 Laguna de evaporación/infiltración

Se utilizan en áreas rurales donde por las características del suelo o la ubicación geológica no se pueden construir campos de infiltración. Pueden ser circulares o rectangulares y su diseño se basa en el caudal afluente, la precipitación, evaporación e infiltración de la zona, y la existencia de la capacidad suficiente para almacenar el agua que excede la tasa de evaporación e infiltración durante los períodos húmedos (Romero 751).

3.4 Proceso de Tratamiento para el Conjunto Residencial Matisse

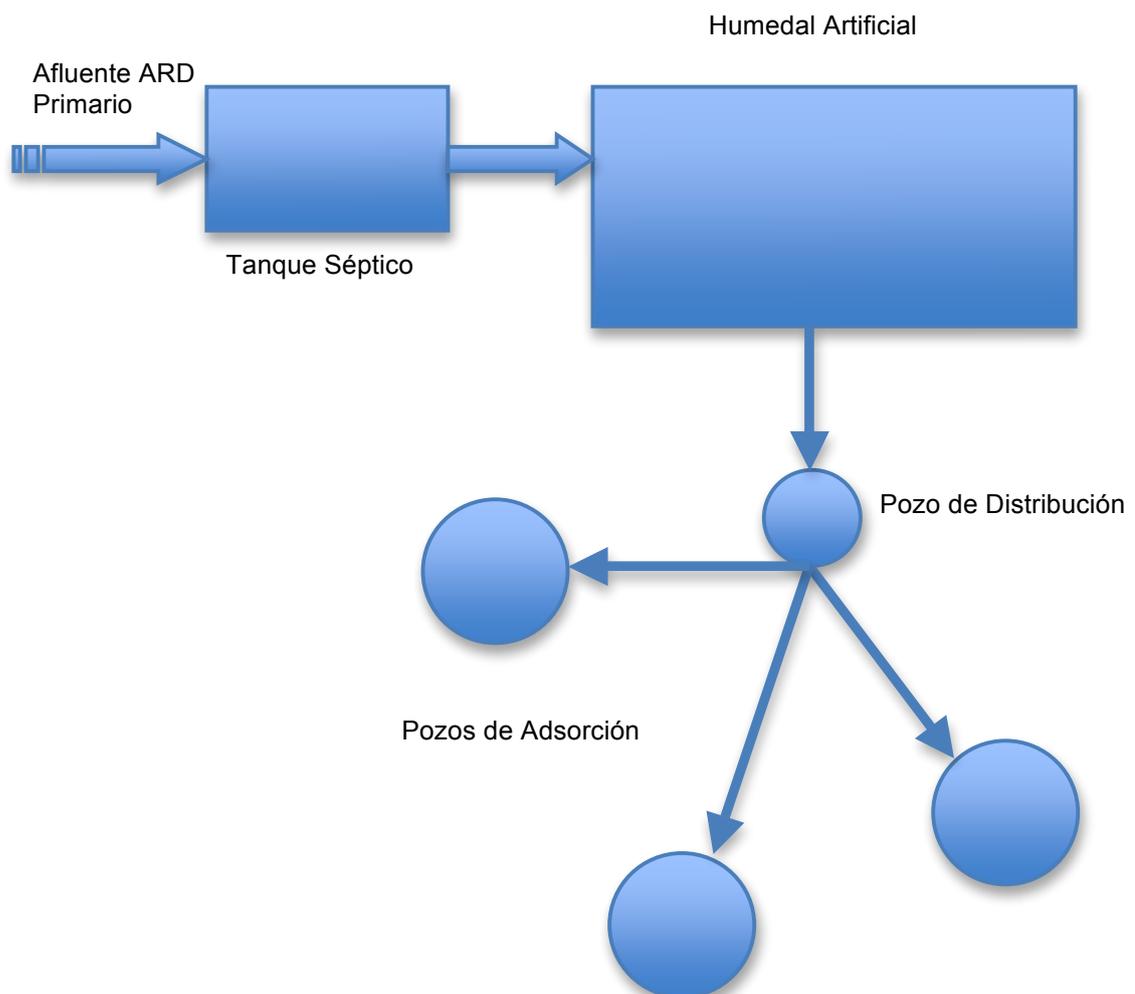
Considerando que para el tratamiento de las aguas residuales del Conjunto Matisse se realizará un tratamiento convencional, el cual incluye un tratamiento

primario, un tratamiento secundario y una descarga final; se utilizarán los siguiente sistemas para cada paso:

Para el tratamiento primario se utilizará como sedimentador un tanque séptico con una trampa para grasas.

Para el tratamiento secundario se utilizará como depurador a un humedal artificial de flujo sub-superficial para evitar olores.

Para la descarga final se utilizará un pozo de infiltración.



4 CAPÍTULO – DEPURACION DE ARD CON HUMEDALES ARTIFICIALES

Como se ha mencionado antes, los humedales artificiales son sistemas naturales que utilizan plantas acuáticas y animales para el tratamiento de las aguas residuales. Los mismos son construidos sobre el suelo y están completamente aislados del mismo mediante una membrana impermeable artificial.

Cada humedal artificial tiene ciertas características que son propias debido a varios factores físicos y químicos que han sido introducidos durante su construcción y futuro funcionamiento. Estos son: el sustrato casi siempre artificial o muy modificado; el tipo de vegetación implantada; otras especies vegetales elegidas según el tipo y función del humedal; los afluentes líquidos contaminados con varios productos; y el mantenimiento requerido o no del suelo y la vegetación (Seoáñez 307).

4.1 Tipos de Humedales Artificiales

Existen dos tipos principales de humedales artificiales que son los de flujo libre (Free Water Surface – FWS) y los de flujo sub-superficial (Subsurface Flow – SSF).

4.1.1 Humedales de Flujo Libre FWS

En este tipo de humedales la vegetación está parcialmente sumergida en el agua, que tiene una profundidad de 1 a 4,5 cm. El agua esta contenida en canales

o tanques con una barrera natural o artificial para evitar la percolación del agua. Las bacterias adheridas a las plantas se encargan de tratar el agua residual que fluye por la vegetación. Las plantas comunes utilizadas en este sistema son: eneas, carrizos, juncias y juncos (Crites & Tchobanoglous 565).

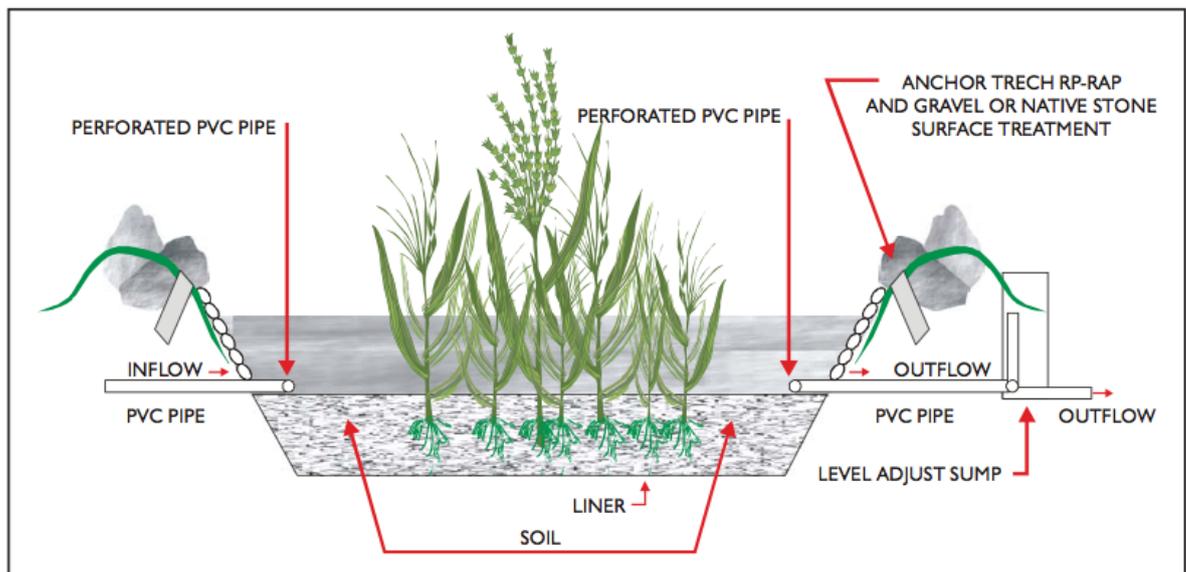


Figura 7 - Humedal de Flujo Libre (Llagas & Gómez)

4.1.2 Humedales de Flujo Sub-superficial SSF

Este sistema se encarga de tratar el agua residual a medida que esta fluye lentamente a través de un medio poroso. La vegetación emergente está plantada en este lecho hecho de grava gruesa y arena. El lecho tiene una profundidad entre 0,45 y 1m, y una pendiente característica entre 0 y 0,5% (Crites & Tchobanoglous 565). A medida que circula el agua residual se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. La zona aerobia se encuentra en la parte cercana a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Se forma entonces una bio-película alrededor de la grava y de las

raíces de las plantas gracias a los microorganismos presentes. Esto significa que el rendimiento del sistema será mejor cuanto mayor sea la densidad de microorganismos. Es por esto que el área requerida sea menor que en los humedales de flujo superficial, pero tiene un costo mayor por la cantidad de medio poroso que se debe utilizar (Mena 5).

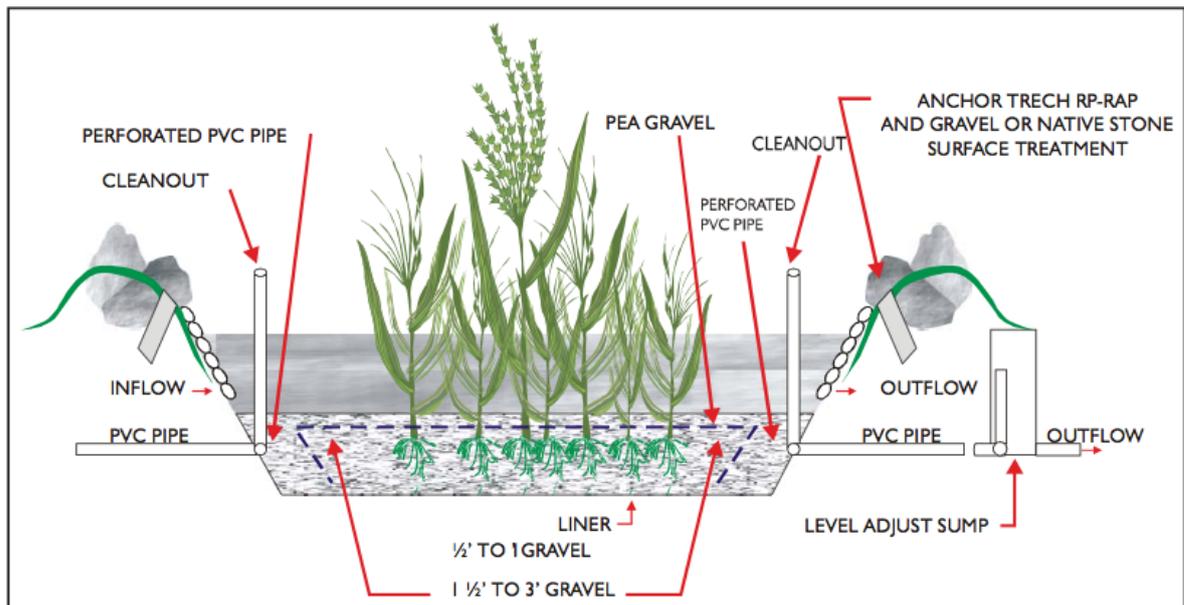


Figura 8 - Humedal de Flujo Sub-superficial (Llagas & Gómez)

4.2 Componentes del Humedal Sub-Superficial

Los componentes que forman parte del humedal son básicamente el agua, el relleno y la vegetación. Los microorganismos e invertebrados acuáticos aparecen luego de forma espontánea por el uso.

El Agua: Es el medio en donde suceden todas las reacciones físicas y químicas. Además, es el sistema de transporte de los contaminantes. La hidrología del sistema es un aspecto muy importante debido a que se debe

permitir un flujo constante a medida que los contaminantes son absorbidos. Es decir, varios factores como la ubicación de las raíces de las plantas y el tipo de material granular afectarán el tiempo de retención y la disponibilidad de los nutrientes y la salinidad (Mena 7) (Lara 6).

El Relleno: Es el medio de soporte donde se mezclan el material granular, los sedimentos y lixiviados por decaimiento de la vegetación. Debido a la baja circulación del agua y a la alta productividad de este sistema se acumulan sedimentos y restos de vegetación inerte (Lara 7). Cuando la masa vegetal muere, se transfieren al agua sustancias orgánicas solubles que se metabolizan rápidamente dentro del humedal (Crites & Tchobanoglous 579). El relleno también actúa como la estructura de soporte donde se forma la bio-película depuradora. Igualmente, como ya se ha establecido, es necesario balancear la cantidad y el tamaño del material granular para garantizar tanto el flujo como la propiedad de absorción dependiente de la población de microorganismos.

La Vegetación: El papel fundamental de la vegetación radica en la transmisión de oxígeno hacia la parte inferior del relleno por medio de sus raíces y rizomas. Las plantas utilizadas para el sistema SSF deben tener raíces que alcancen las profundidades necesarias del humedal artificial (Metcalf & Eddy 1127). Del mismo modo, las plantas estabilizan el sustrato, permiten un flujo lento del agua y dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos (Lara 8-9). De acuerdo a Marco Pérez-Olmedilla y a Carmen Rojo, en su boletín de SEHUMED de Junio del 2000, la capacidad depuradora de los macrófitos en los humedales artificiales llega a remover hasta el 99% de los nutrientes del agua. Dicen también que las especies de macrófitos emergentes más utilizados son: *Phragmites*

australis, Eichhornia cras sipes, Schoenoplectus validus o Typha spp; y otros en menor medida son: Juncus effusus, Sagitaria lancifolia, Scirpus spp., Lemna spp.



Figura 9 - Humedal Artificial con Totoras [scirpus spp]
(www.flickr.com)

Los Microorganismos: Las bacterias, los hongos y los protozoarios conforman principalmente este grupo. Al igual que en otros sistemas biológicos, los microorganismos se alimentan de los nutrientes y el carbono como fuente de energía y para formar nueva biomasa bacteriana. La velocidad de crecimiento de esta biomasa depende de la disponibilidad del sustrato y de las condiciones ambientales. Una característica importante de las poblaciones bacterianas es que se ajustan a cambios en los contaminantes del agua y pueden crecer rápidamente si las condiciones son adecuadas (Mena 9-10).

4.3 Procesos Naturales Purificadores

En el tratamiento de aguas residuales mediante el paso por un humedal artificial ocurren varios procesos naturales, que son los que logran purificar las

mismas. El Dr. Mariano Seoáñez Calvo discute algunos de estos procesos en su libro “Depuración de las Aguas Residuales por Tecnologías Ecológicas y de Bajo Costo”, y los divide por fases (316):

Acción Bacteriana: Aquí se da la conversión y transformación de contaminantes. En la transformación aerobia de los residuos orgánicos se consume oxígeno. Se realizan también transformaciones de productos orgánicos tóxicos y siempre se reduce la DBO.

Absorción de Oxígeno: Si la lámina líquida del humedal no está en saturación de oxígeno disuelto, lo toma de la atmósfera, en una aireación natural.

Desorción de Oxígeno: Es la situación contraria.

Sedimentación: Se debe al movimiento lento del líquido, que hace que los sólidos en suspensión se depositen en el fondo. En ciertos casos se produce una floculación. En otros se producen turbulencias (en la entrada) que hacen que estos sólidos se distribuyan uniformemente por todo el humedal.

Degradación Natural: La supervivencia de muchos organismos tiene un plazo limitado, por lo que gran parte de ellos muere pasado un período de tiempo en el humedal. Por otra parte, la acción fotoquímica provoca la oxidación de muchos componentes orgánicos.

Adsorción: Muchos contaminantes químicos tienden a unirse por adsorción con diversos sólidos, lo que dependerá, en gran parte, de la cantidad y composición de estos presentes en la fase líquida en forma de suspensión. Esta adsorción se complementa después casi siempre con la posterior sedimentación.

Volatilización: Los contaminantes volátiles presentes en el líquido se transfieren a la atmósfera.

Reacciones: Aparte de las reacciones fotoquímicas que ya hemos indicado en la degradación natural, en el humedal existen fenómenos de hidrólisis, oxidaciones diversas, reducciones, etc.

Evaporación: Aparte de la volatilización y de la deserción de oxígeno, muchos gases que se pueden aportar con el afluente se pueden evaporar, y lo mismo ocurre con parte de la masa del humedal, que puede ver reducido así su volumen.

4.4 Consideraciones Ambientales y de Salud

El principal objetivo del tratamiento de las aguas residuales es el de devolverlas al medio ambiente bajo ciertos parámetros, establecidos en el TULAS, que indican que el efluente no causará problemas al medio ambiente ni a la salud pública. Los principales constituyentes que afectan a la salud pública y a la naturaleza son (Romero 25):

Materia Orgánica Biodegradable: (DBO, DQO) produce la desoxigenación del agua y genera olores indeseables.

Materia Suspendida: (SST, SSV) causa turbiedad en el agua y deposita lodos que deben ser tratados.

Patógenos: (CF) hacen del agua insegura para el consumo y recreación humano.

Amoníaco: (NH_4^+ - N) desoxigena el agua, es tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas.

Fósforo: (Ortofosfatos) estimula el crecimiento de algas.

Materiales Tóxicos: son peligrosos para la vida vegetal y animal. Tiene consecuencias diferentes para cada organismo.

Sales Inorgánicas: (SDT) limita los usos agrícolas e industriales del agua.

Energía Térmica: (Temperatura) reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua y acelera el crecimiento de organismos acuáticos.

Iones Hidrógeno: (pH) son un riesgo potencial para los organismos acuáticos.

El objetivo para la sociedad debe ser siempre el de causar el menor impacto al ambiente y el de permitir la libre circulación del agua. Al mismo tiempo, se debe tomar en cuenta la salud como factor fundamental para el desarrollo de cualquier comunidad. En el caso del tratamiento de agua, como podemos ver, existen varios componentes contaminantes que deben ser tomados en cuenta para garantizar la salud humana.

4.5 Consideraciones de Construcción

Existen varios factores que inciden al momento de pensar en el diseño y construcción de los humedales artificiales. Muchos de estos son similares para otros sistemas de tratamiento de aguas residuales. Algunos de estos factores son:

- La población para la cual se diseña, lo que nos dará el caudal promedio.
- Las características del agua residual a ser tratada.
- Los objetivos que se buscan con este sistema de tratamiento natural.
- Se debe escoger el material granular apropiado tomando en cuenta la composición del terreno de la zona.
- Escoger el tipo de vegetación que se utilizará.
- Tomar en cuenta las condiciones climáticas o ambientales de la zona.

El poder purificador del humedal variará de acuerdo a estos factores, por lo cual es importante su adecuada elección y manejo.

4.6 Rendimientos Esperados

En la publicación “Subsurface flow wetlands – A performance evaluation”, los científicos Sherwood Reed y Donald Brown han realizado un estudio profundo acerca de las características y rendimiento de los humedales de flujo sub-superficial.

En primer lugar, una de las razones más importantes para escoger el humedal de flujo sub-superficial y no el de flujo superficial es el hecho de que se previenen olores, nubes de insectos y exposición al público. En este caso, estos tres son factores preponderantes por ser que se trata de un conjunto residencial privado.

Luego, las cuatro principales características purificadoras que se evalúan en el humedal artificial son la remoción de la DBO, de los sólidos suspendidos totales (SST), del nitrógeno de amonio (NH_3 como N) y del fósforo.

Remoción de la DBO: se ha observado que independientemente de la concentración del afluente (hasta 60 mg/L), el efluente siempre llega a tener una concentración menor a 20 mg/L. Sin embargo, existe un límite mínimo entre 2 y 7 mg/L de concentración debido a la descomposición de las plantas y otros materiales orgánicos naturales.

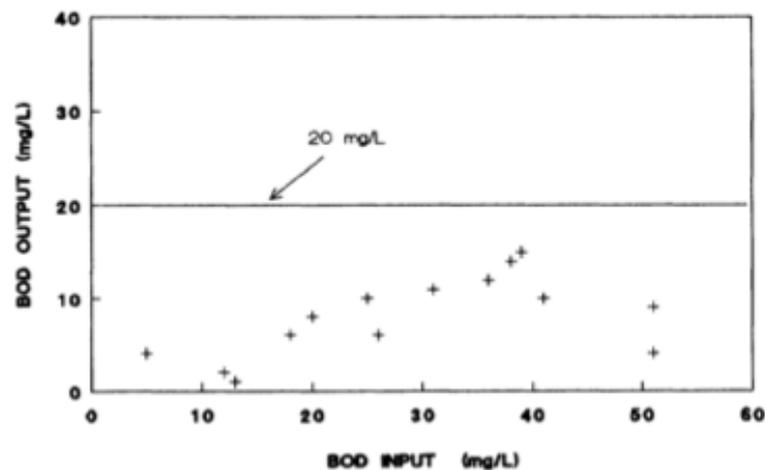


Figura 10 - Afluente de DBO vs. Efluente (Reed & Brown)

Además, el tiempo de retención hidráulica (TRH) del agua también contribuye a una mayor remoción de la DBO. Esta remoción es muy dependiente del TRH hasta el primer día, pero de ahí en adelante solo mejora poco a poco hasta los 7.5 días.

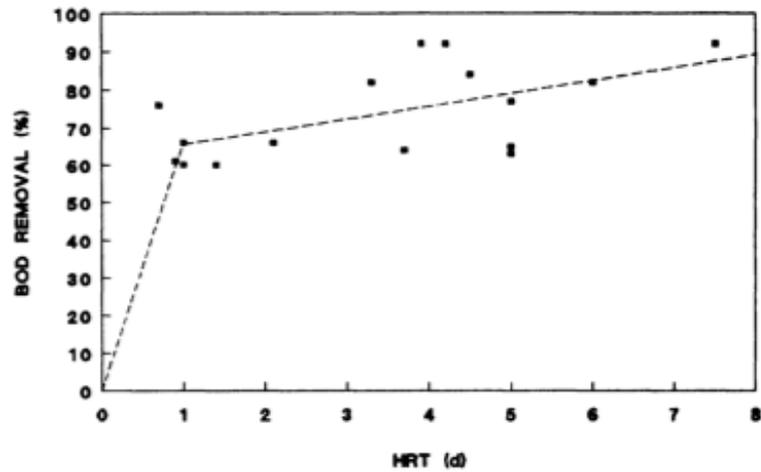


Figura 11 - Remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulica (Reed & Brown)

Remoción de SST: Los afluentes con concentraciones de hasta 118 mg/L tratados con humedales de flujo sub-superficial han producido efluentes con concentraciones menores a 20 mg/L. La relación entre el tiempo de detención y la remoción de SST es casi igual a la de la DBO.

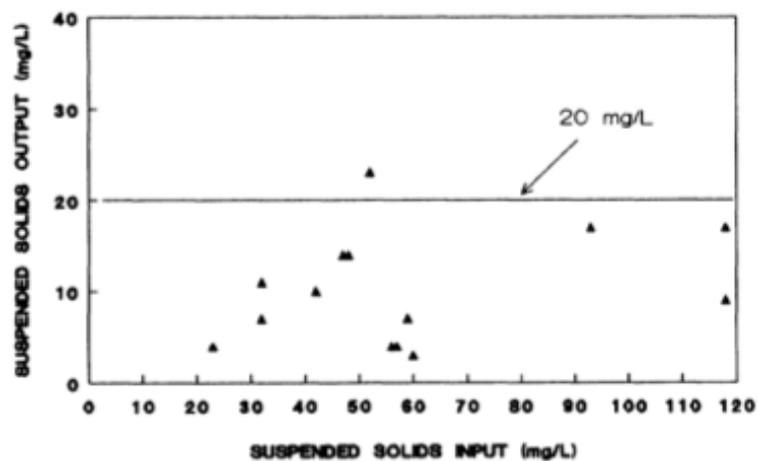


Figura 12 - Afluente de SST vs. Efluente (Reed & Brown)

Ante las dudas sobre el posible taponamiento del sistema debido a SST o raíces y rizomas muertos, un estudio acerca de humedales sub-superficiales entre 2 y 5 años de edad demostró que existe taponamiento mínimo en ciertas áreas específicas que no impiden el normal funcionamiento del sistema. En todos los casos las obstrucciones estaban compuestas del 80% de material inorgánico, el cual había sido introducido accidentalmente en la construcción del sistema.

Remoción de Nitrógeno: Para proteger la calidad del agua y la vida acuática en los receptores de agua, es necesario la remoción de nitrógeno del amoníaco. En la figura se puede observar que la mitad de los sistemas se encuentran en o arriba de la pendiente, lo que indica que existe una producción y exportación neta de NH_3 .

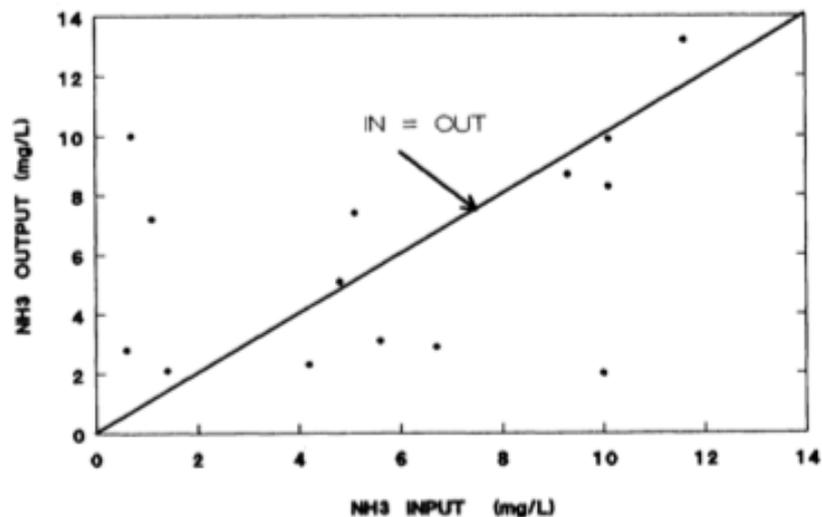


Figura 13 - Afluente de NH_3 vs. Efluente (Reed & Brown)

Esta producción extra de amonio proviene de la descomposición anaerobia del nitrógeno orgánico atrapado en el lecho en forma de materia particular. Esto sucede principalmente cuando el tratamiento precedente es una laguna de estabilización. El efluente proveniente de estas lagunas trae consigo algas, las cuales son descompuestas en el humedal produciendo el amoníaco extra. Además, en el humedal no existe el suficiente oxígeno para oxidar este amoníaco a nitrato.

Bastantes de los sistemas examinados indican una remoción de amonio marginal o incluso negativa independientemente del tiempo de retención hidráulico, como se puede ver a continuación.

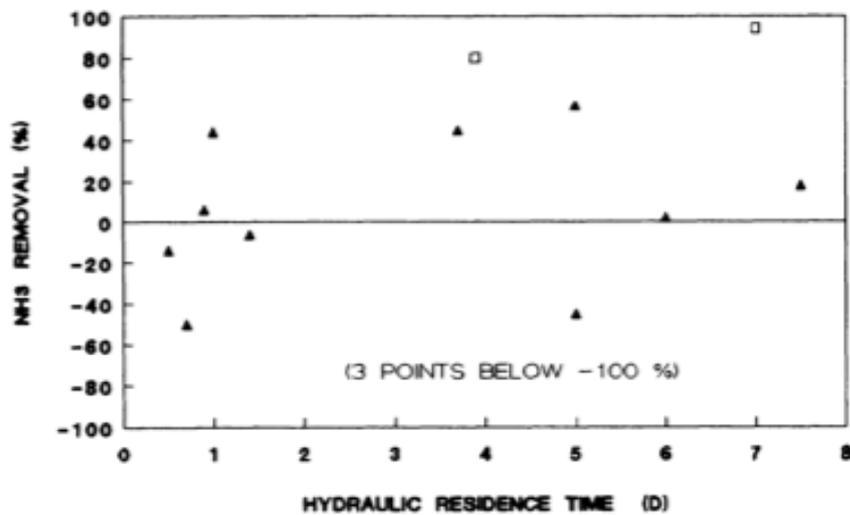


Figura 14 - Remoción de NH₃ vs. Tiempo de Retención Hidráulico (Reed & Brown)

En aquellos resultados que lograron un 80% de remoción, las raíces de las plantas se desarrollaron completamente hacia el fondo del lecho del humedal. En realidad se ha comprobado que en la mayoría de sistemas las raíces solo logran una profundidad de 0.3 m. Esto quiere decir que existe un zona donde no se

puede dar la nitrificación debido a que no hay transporte de oxígeno. Sin embargo, las raíces de ciertas plantas sí pueden llegar a mayor profundidad (hasta 0.7m). Aunque, el tiempo de detención para la remoción del 80% de NH_3 se obtuvo con un tiempo de retención de 3.9 días.

Remoción de Fósforo: La remoción de fósforo no es consistente y en algunos casos es insignificante. Sin embargo, en la mayoría de casos se consigue una remoción del 40 al 70% produciendo un efluente de 2 a 3 mg/L. Los óxidos de hierro que recubren la grava proveen de los espacios necesarios para la remoción.

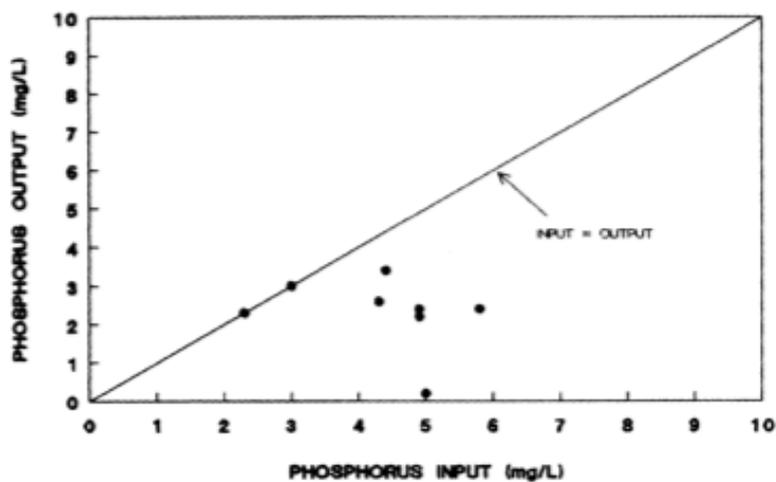


Figura 15 - Afluente de Fósforo vs. Efluente (Reed & Brown)

5 CAPÍTULO – MODELO GENERAL DE DISEÑO

Los Humedales Artificiales son básicamente reactores biológicos, que son tratados como reactores de flujo a pistón. Esto quiere decir que todas las partículas en el reactor permanecen igual tiempo, o que el afluente se distribuye de forma homogénea en el humedal.

Se realizará el cálculo hidráulico y se diseñarán a continuación los tres componentes de la planta de tratamiento propuesta para el conjunto residencial Matisse. El cálculo se lo realizará basado en el Manual de Diseño para Humedales de la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos de 1988 y del 2000. Este sistema de diseño se basa en las investigaciones realizadas por Sherwood C. Reed entre otros.

5.1 Modelo de Cálculo del Caudal de Diseño

Para calcular el caudal de diseño se utilizará la fórmula establecida por la EMAAP-Q:

$$Q_{\text{máx}} = PP \left(\frac{Q_{\text{med}} M}{86400} \right) + 0.1A + Q_{\text{ind}}$$

Donde	$Q_{\text{máx}}$ = caudal máximo, [L/s]
	Q_{med} = caudal medio, [L/s]
	PP = población proyectada, [hab]
	M = coeficiente de mayoración
	0.1A = caudal de infiltración, [L/s]
	A = área del proyecto [ha]
	Q_{ind} = caudal industrial, [L/s]

El caudal industrial solo se considera cuando existe una cantidad considerable de industrias en la zona. En este caso, la zona del proyecto es residencial, por lo que no hay industrias en la cercanía y no se tomará en cuenta para el calculo.

El coeficiente de mayoración se lo calculará con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{2.228}{Q^{0.075325}}$$

Donde Q = caudal medio diario de aguas servidas, [L/s]

M = coeficiente de mayoración

Condición: M = 4, cuando Q < 4 L/s

$1.5 \leq M \leq 4$

El caudal medio puede ser tomado de la siguiente tabla:

(Caudal, litros / unidad * d)

ORIGEN	UNIDAD	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Apartamentos	Persona	200 - 340	260
Hotel, por residente	Residente	150 - 220	190
Viviendas individuales:			
Casa media	Persona	190 - 350	280
Casa de la clase alta	Persona	250 - 400	310
Casa de lujo	Persona	300 - 550	380
Casa semi moderna	Persona	100 - 250	200
Chalet de verano	Persona	100 - 240	190
Camping de caravanas	Persona	120 - 200	150

Tabla 1 - Caudales Medios para ARD (Metcalf & Eddy)

5.2 Modelo de Dimensionamiento para Remoción de la DBO₅

Lo primero que se debe tomar en cuenta es el tiempo de detención para la remoción de la DBO. Para los sistemas de humedales de flujo sub-superficial se emplea la siguiente fórmula:

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-K_T t'} \quad (1)$$

Donde C_e = concentración de DBO₅ del efluente, [mg/L]
 C_0 = concentración de DBO₅ del afluente, [mg/L]
 K_T = constante de velocidad de primer orden dependiente de la temperatura, [d⁻¹]
 t' = tiempo de detención hidráulica teórico, [d]

Esta es un cinética de primer orden, que modela la eliminación de la DBO en función del tiempo y la velocidad de reacción debida a la temperatura. La constante de velocidad se puede calcular utilizando la constante para 20 °C y el factor de corrección de 1.1 de la siguiente manera:

$$K_T = K_{20} (1.1)^{(T-20)} \quad (2)$$

Donde K_{20} = 1,104 constante de velocidad a 20 °C, [d⁻¹]
 K_{20} = también se puede tomar de la Tabla 3
 T = temperatura del agua en el humedal, [°C]

A continuación, se relaciona el tiempo de detención teórico con la porosidad del medio o tiempo de detención en los huecos intersticiales.

Partiendo de que:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{LWd}{Q}$$

Se ha agregado un factor que considera la porosidad del medio para el cálculo del tiempo de retención así:

$$t' = \frac{LW\alpha d}{Q} \quad (3)$$

Donde

- L = longitud del humedal, [m]
- W = ancho del humedal, [m]
- α = porosidad del medio
- d = profundidad del depósito, [m]

La porosidad se expresa como un número decimal y corresponde a la reducción fraccional del tiempo de retención debido al medio por el que el fluido se encuentra circulando.

Combinando las fórmulas (1) y (3) se puede deducir el área superficial del humedal:

$$\frac{\ln(C_0/C_e)}{K_T} = t' = \frac{LW\alpha d}{Q}$$

Entonces el área superficial es:

$$A_s = LW = \frac{\ln(C_0/C_e)Q}{K_T\alpha d} \quad (4)$$

La porosidad del medio es un valor que tiene gran variabilidad en la mayoría de publicaciones acerca de humedales artificiales. El Manual de Diseño de la EPA del año 2000 dice que se debe tomar la porosidad de diseño entre 0.65 y 0.75. Sin embargo, en varias otras publicaciones, como las de Metcalf & Eddy, los valores de la porosidad tienden a ser un poco menores, entre 0.28 y 0.45. El diseñador del sistema tendrá la última palabra en cuanto a que porosidad de diseño escoge, ya que la misma es uno más de los factores de seguridad que generalmente se utilizan en todos los diseños de ingeniería.

5.3 Modelo de Diseño Hidráulico

Para el diseño hidráulico se utilizará la Ley de Darcy para flujos laminares. El flujo a través del humedal puede no ser laminar, por lo cual se debe procurar tener las estrictas condiciones adecuadas para que esto no suceda. Las pérdidas y ganancias por las lluvias, pequeñas fugas y la evaporación también deben ser consideradas. Las gravas gruesas tienden a generar flujos turbulentos, por lo que no son recomendables de usar.

El área seccional de flujo sub-superficial se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q = A_c k_s S \quad (5)$$

Donde A_c = dW , área seccional transversal del humedal, perpendicular a la dirección del flujo, [m^2]

k_s = conductividad hidráulica de una unidad de área seccional transversal, [$m^3/(m^2/d)$]

Q = caudal promedio del medio, [m^3/d]

S = gradiente hidráulico, [decimal]

Esta fórmula representa el flujo a través de un medio poroso, y se la utiliza para determinar la cabeza de pérdida por el medio basado en una conductividad hidráulica asumida. La conductividad hidráulica es una medida de cuan fácilmente fluye el agua a través del medio, y se describe como el volumen de agua que pasa por el área unitaria de material permeable medida durante un determinado tiempo (Mihelcic 444).

En este punto se debe comprobar que la capacidad de flujo calculada (5) sea muy cercana al caudal de diseño (1) para garantizar los niveles esperados de purificación.

Debido a la acumulación de sólidos a la entrada del flujo del humedal, se recomienda que el primer 30% del tramo del humedal se calcule con una conductividad hidráulica del 1% de la conductividad estimada para un medio limpio. El 70% restante del lecho debe calcularse con el 10% de aquella conductividad de un medio limpio (Mihelcic 444).

Tipo de material	Tamaño efectivo D₁₀ (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, k_s (m³/m²/d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	32	36-40	10.000-50.000
Roca gruesa	128	38-45	50.000-250.000

Tabla 2 - Propiedades de Agregados (Metcalf & Eddy)

Sin embargo, para el cálculo y dimensionamiento del humedal se pueden utilizar valores de la conductividad hidráulica previamente calculados para ciertos

tipos de material granular que se encuentran en diferentes libros y publicaciones académicas.

Media Type	Max. 10% Grain Size, mm	Porosity (n)	Hydraulic Conductivity (k _s), m ³ /m ² -d	K ₂₀
Medium Sand	1	0.42	420	1.84
Coarse Sand	2	0.39	480	1.35
Gravelly Sand	8	0.35	500	0.86

Tabla 3 - Propiedades de Agregados (EPA)

5.4 Modelo de Diseño para Remoción de SST

Debido al tratamiento primario sometido, a la relativa poca distancia para la sedimentación de las partículas y al tiempo de retención en el humedal, se ha establecido que la remoción de sólidos suspendidos totales no es un factor limitante. Sin embargo, se ha deducido de manera empírica una ecuación para calcular el nivel de SST en el efluente del humedal.

$$C_e = C_0(0,1058 + 0,0014CH)$$

Donde C_e = concentración SST efluente, [mg/L]

C_0 = concentración SST afluente, [mg/L]

CH = carga hidráulica, [cm/d]

$$CH = \frac{Q}{A_s} 100$$

Donde Q = caudal de diseño, [m³/d]

As = área del humedal, [m²]

5.5 Modelo de Diseño para Remoción de Nitrógeno

En general, se considera la remoción de nitrógeno para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas o grandes comunidades. También, cuando los afluentes del humedal artificial van directamente a un cuerpo de agua, se diseña para remoción de nitrógeno de las aguas residuales. Sin embargo, en este caso que se trata de un pequeño conjunto residencial privado, no se esperan grandes concentraciones de nitrógeno. Es por esto que en vez de diseñar para la remoción de nitrógeno, se encontrará cual es la remoción del mismo con el área conseguida para la remoción de la DBO. Además, se incluye como paso de descarga los pozos de absorción, los mismos que disminuirán los niveles de nitrógeno mientras el agua se infiltra hasta las corrientes subterráneas del suelo.

Cada contaminante está relacionado con una temperatura para llevar a cabo su proceso purificador. En este caso, para el proceso de desnitrificación se utilizan las siguientes constantes de velocidad por temperatura:

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922rz^{2,6077}$$

Donde K_{NH} = constante de nitrificación a 20 °C, [d⁻¹]

rz = % de la profundidad del lecho ocupado por las raíces en fracción decimal, [%]

Como ya se había mencionado con anterioridad, es necesario que las raíces alcancen la mayor profundidad para que exista oxigenación y se pueda dar

la desnitrificación. Sin embargo, cuando las raíces llegan a la profundidad del lecho, éstas también tienden a obstruir el lecho y colaborar con la nitrificación gracias a su descomposición. Es por esto que se realizan cálculos para el 50 y 100% de profundidad de las raíces. Para la comprobación y comparación de la remoción. Entonces, las constantes de temperatura para este contaminante son:

$$K = 0$$

$$K_T = K_{10}(1,15)^{(T-10)}$$

$$K_T = K_{NH}(1,048)^{(T-20)}$$

Donde cada formula se refiere a temperaturas de 0, 1 a 10 y +10 °C respectivamente. En el caso del Valle de Tumbaco, la temperatura del agua en el humedal siempre estará sobre los 10 °C debido a las condiciones climáticas.

Luego se puede calcular el área del humedal necesaria para la remoción de nitrógeno con la misma formula que para la remoción de la DBO₅:

$$As = LW = \frac{\ln(C_0/C_e)Q}{K_T ad}$$

Y también se calcula el tiempo de detención hidráulica con la fórmula:

$$t' = \frac{LW ad}{Q}$$

Luego, procedemos a calcular la concentración de nitratos en el efluente.

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-K_T t'}$$

Se deben realizar varias iteraciones partiendo del cálculo de la concentración del efluente, para hallar diferentes áreas con el 50 y 100% de penetración de las raíces. Luego, se debe calcular el tiempo de retención y comprobar que el nitrato total del efluente es menor al límite establecido.

5.6 Modelo de Diseño para Remoción de Fósforo

Como se mencionó en la parte de rendimientos del humedal del capítulo 4.6 de esta tesis, la remoción de fósforo tiene rendimientos variables en todos los tipos de humedales que se han estudiado. Es por esto que aunque el cálculo de la remoción del mismo sigue los pasos anteriores para el cálculo de la remoción de nitrógeno, no se procederá a realizar el mismo ya que solo cumple con fines ilustrativos. En esta área es posible desarrollar a futuro mejores métodos comprobatorios o realizar distintas configuraciones del humedal hasta lograr valores de remoción constantes. Sin embargo, cabe recalcar que si se han obtenido valores muy bajos de concentración de fósforo en los efluentes de algunos humedales.

6 CAPÍTULO – DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

A continuación se realizará el diseño de toda la planta de tratamiento in-situ siguiendo las formulas y lineamientos antes descritos. Estos cálculos se los realizó utilizando una Hoja de Excel, la misma que se encuentra en los anexos de esta tesis.

6.1 Diseño de un Tanque Séptico para Remoción de Sólidos Suspensos Totales

El primer paso para el dimensionamiento del tanque es el cálculo del caudal de diseño.

De la tabla de caudales medios de Metcalf & Eddy se escoge el caudal para Residencia Individual – Vivienda de clase alta:

$$Q_{\text{medio}} = 300 \text{ L/hab.d} = 0.0035 \text{ L/hab.s}$$

El factor de mayoración M se toma como 2.5.

$$A = 4000 \text{ m}^2 = 0.40 \text{ ha}$$

La población aportante del conjunto es de 60 habitantes calculados como 4 habitantes por vivienda para un total de 15 viviendas.

$$Q_{\text{max}} = 60 \left(\frac{300 * 2.5}{86400} \right) + (0.1 * 0.4) = 0.56$$

Entonces $Q_{\text{max}} = 0.56 \text{ L/s}$, que es el caudal de diseño.

El tanque séptico se calcula para un tiempo de retención de 6 horas, que es suficiente para el asentamiento de los sólidos.

$$V = 0.56 * 6 * 3600$$

El volumen es de 12.11 m³.

$$a = \sqrt{\frac{12.11}{2 * 1.80}}$$

Tomando una relación de 2:1 para el largo y el ancho del tanque, y considerando una altura de 1.8 m, tenemos que las dimensiones son de 1.83 m y 3.67 m respectivamente. En la práctica se utilizará 1.80 m de alto, 2 m de ancho y 4 m de largo.

6.2 Diseño de un Humedal Artificial para Purificación Previo Descarga

Los parámetros de diseño para la remoción de DBO y Nitrógeno son los siguientes:

Carga Hidráulica	$Q_h = 48456 \text{ L/d}$
Tasa de Carga Orgánica	$L_0 = 4000 \text{ g de DBO}_5/\text{d}$
Constante de Reacción a 20°C	$K_{20} = 1.104 \text{ d}^{-1}$
Temperatura del Humedal	18°C
Porosidad del Lecho	0.38
Profundidad del Humedal	0.60 m
DBO ₅ al Efluente	20 mg DBO ₅ /L
SST del Afluente	30 mg SST/L
Nitrógeno (NH ₃) Afluente	18 mg N/L

Primero se calcula la concentración de DBO_5 debido a la tasa de carga orgánica.

$$C_0 = \left(\frac{4000}{48456} \right) * 1000$$

La concentración es de 82.55 mg de DBO_5/L .

Se asume la remoción del 40% de la DBO_5 en el tanque séptico. Aquí se han reportado remociones entre el 30% y hasta el 70% por acción del tanque séptico.

Entonces la concentración hacia el humedal es de 49.53 mg de DBO_5/L

La constante de reacción se calcula para la temperatura del humedal esperada de 18°C, y se obtiene que la misma es 1.004 d^{-1} .

$$K_T = 1.104(1.1)^{(18-20)}$$

A continuación se calcula el área mínima que requiere el humedal para obtener una concentración de 20 mg de DBO_5/L al efluente. Esta es la norma americana, ya que la ecuatoriana regida por el TULAS contempla un límite de descarga de 100 mg de DBO_5/L hacia un cuerpo de agua dulce.

$$A_s = \frac{\ln(49.53/20) * 48.43}{0.912 * 0.38 * 0.60}$$

El área mínima es igual a 211.23 m^2

Con una relación de 3:1 se calculan el largo y ancho mínimos necesarios, que dan 25.17 m y 8.39 m respectivamente.

En este punto se procede a comprobar si la capacidad hidráulica de depuración del humedal es adecuada. Se utiliza una pendiente del 1% que es recomendable.

$$Q_{HUM} = 8 * 0.60 * 1000 * 0.01$$

Entonces la Q del humedal es de 48.00 m³/d que es menor que la Q de diseño de 48.46 m³/d.

Sin embargo, debido a recientes estudios se ha visto que solo el 70% del largo del humedal logra una conductividad hidráulica del 10% de la conductividad limpia del lecho. Esto es debido a que en el 30% del ingreso se tiende a acumular el material. Por lo tanto, se agranda el largo del humedal con este 30% y además se debe dejar 2 m al inicio y 1 m al final para llenarlo con agregado grueso que garantice la distribución uniforme del líquido.

Por lo tanto se tiene que el largo será de 30 m y el ancho de 8 m para un área total de 240 m².

$$t = \frac{8 * 30 * 0.38 * 0.60}{48.46}$$

El tiempo de retención para el agua residual será de 1.13 días.

Como se menciono antes, se procederá a realizar un cálculo de la concentración de SST obtenida en el efluente.

$$C_c = 30(0.1058 + 0.0014 * 20.19)$$

Se obtiene que la concentración de sólidos suspendidos totales a la salida del humedal es de 4.02 mg/L.

Por último, se busca conocer las áreas requeridas para la remoción de nitrógeno, ya que en este trabajo se considero como el factor determinante la reducción de la DBO₅.

Se calcula la constante de nitrificación para una penetración de las raíces en el lecho del 50% y 100%.

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922(0.5)^{2.6077}$$

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922(1.0)^{2.6077}$$

Se obtienen valores de 0.083 d⁻¹ y 0.411 d⁻¹ respectivamente.

Asimismo se calculan las constantes de reacción para una temperatura de 18°C del humedal.

$$K_T = 0.083(1.048)^{(18-20)}$$

$$K_T = 0.411(1.048)^{(18-20)}$$

Se obtienen valores de 0.068 d⁻¹ y 0.337 d⁻¹ respectivamente.

Ahora se calculan las áreas para cada porcentaje de penetración de raíces.

$$A_s = \frac{\ln(18/15) * 48.43}{0.068 * 0.38 * 0.60}$$

$$A_s = \frac{\ln(18/15) * 48.43}{0.337 * 0.38 * 0.60}$$

Y se obtiene que cuando las raíces han penetrado un 50% se requiere un área de 570.62 m² y cuando las mismas han penetrado al 100% se requiere un área de 115.15 m². Los tiempos de retención respectivos son de 2.68 días y 0.54 días.

6.3 Diseño de un Pozo de Absorción para Descarga Final

El dimensionamiento del pozo de absorción se lo hace con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{Q}{\pi * (R + r) * K}$$

Donde H = altura útil del pozo, [m]
 R = radio superior del pozo, [m]
 r = radio inferior del pozo, [m]
 K = coeficiente de absorción del suelo, [L/m²/d]

Se divide el caudal de diseño para el numero de pozos necesarios para que la altura total no sea muy grande.

$$H = \frac{(48456/4)}{\pi * (2 + 1.5) * 210}$$

Y se obtiene una altura de 5.25 m a la cual se deben sumar 1.5 m para el lecho de piedra en el fondo y por seguridad.

Entonces se obtienen 4 pozos de 2 m de radio en la superficie por 1.5 m de radio en el fondo y 6.75 m de profundidad.

6.4 Guía de Construcción

Antes del inicio de la construcción se debe hacer la limpieza y desbroce del terreno, así como la nivelación del mismo. Luego se debe marcar los límites posibles de la excavación para que no se afecten edificaciones o linderos contiguos.

La excavación se la debe realizar de acuerdo a las dimensiones especificadas en los planos preparados de acuerdo al diseño. Los dibujos deben incluir cortes que permitan observar el tipo de agregados que se utilizaran posteriormente para el lecho. Si el diseño pide la construcción de una barrera impermeable, se debe prever el espacio para misma al realizar la excavación.

Además, para la base de asentamiento de todo el humedal se deben seguir las siguientes referencias para el uso de geotextiles (ITRC 83):

- No se requiere geotextil cuando los agregados en la base son menores a 3/8"
- Si se puede observar a simple vista agregados menores a 3/4", se debe colocar un geotextil de 4 oz para proteger el plástico de impermeabilización
- Si los agregados están entre 3/4" y 5/4", entonces se debe usar un geotextil de 8 oz.
- Agregados mayores a 5/4" no deben ser utilizados, a menos que se utilice también una capa de arena con los mismos.

6.4.1 Medio de Tratamiento – Lecho del Humedal

La "Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team" de los Estados Unidos provee ciertas recomendaciones generales para la selección de agregados para la composición del lecho del humedal artificial (71).

Se recomienda inicialmente utilizar agregados que estén dentro de un rango de pocos tamices. Por ejemplo, especificar grava entre ½” a 1”, o entre #8 a 3/8”. Con esto se conseguirán altos porcentajes de porosidad.

La especificación para el agregado fino que pasa el tamiz #100 y #200 debe ser de 1% o 2%. Piedra de río lavada por lo general cumple esta norma. Si no se puede conseguir este porcentaje ideal, se puede trabajar con porcentajes mayores. Sin embargo, se recomienda esto porque los finos causan que ciertos lugares se congestionen y afecten al sistema.

6.4.2 Implantación de la Totora

La implantación en los humedales artificiales se la efectúa por división de mata. Por esto, es recomendable que las plantas madres procedan de poblaciones naturales de la zona para que estas se puedan adaptar al lugar.

Cada planta debe llevar en su parte subterránea rizomas, y se las debe implantar individualmente en épocas calurosas, lo cual en el Valle de Tumbaco no es un problema. El tamaño de los rizomas debe ser de 10 cm de largo y tener brotes en el extremo de corte. La raíz debe colocarse 5 cm bajo la superficie.

Luego, el lecho debe inundarse con agua hasta la superficie, pero con cuidado de que el nivel del agua no sobrepase la altura de las plantas. Si esto sucede antes que se desarrollen las raíces, las plantas se pudrirán.

Después de la implantación inicial, el nivel del agua descenderá para permitir que las raíces se extiendan hasta el fondo del lecho.

La densidad de siembra óptima es cada 0,5 m, y se deben plantar la totora unos 3 a 6 meses antes de que inicien las cargas de agua residual.

Estos lineamientos fueron recolectados de varias publicaciones y están resumidos en el documento de Oscar Delgadillo et al.

6.5 Guía de Operación, Mantenimiento y Control

En toda planta de tratamiento se requiere de una adecuada operación, mantenimiento y control para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

6.5.3 Operación

Para la adecuada operación de una planta de tratamiento se requiere de un personal de operación que este capacitado. En este caso específico, se requiere el entrenamiento de una persona para que conozca cual es el correcto funcionamiento de todas las partes de este sistema de tratamiento en sitio – natural y de esta manera garantizar que el sistema opere continuamente.

Iniciando por el tanque séptico, el operador debe conocer a profundidad todas las válvulas de apertura/cierre, la ubicación de las tapas de revisión y su seguridad para evitar que personas ajenas o niños puedan manipular las mismas. También debe saber como extraer los lodos sedimentados cada cierto tiempo, puede ser 1 o 2 veces al año.

En el humedal, el operador debe saber el tipo de plantas y la granulometría del lecho que se ha empleado. Asimismo, debe saber utilizar aparatos de

medición de caudal y de análisis del efluente para comprobar que todo marche de acuerdo al diseño.

Por último, el operador debe constatar que el pozo de adsorción cumple su función adecuadamente. Es decir, que el afluente del humedal pasa sin problema o que no se acumula material que obstruya las tuberías e impida la percolación del agua residual tratada.

Como se mencionó antes, la planta de tratamiento nunca puede parar su funcionamiento, ya que esto significaría acumulación de las aguas residuales en tuberías o su desborde en alguna de las partes del tratamiento. Si esto sucede, puede producirse la rotura de tuberías y la contaminación del suelo, pero más grave aún sería el tiempo que tomaría el encontrar y reparar todas las fallas para que el sistema vuelva a operar adecuadamente.

6.5.4 Mantenimiento

El mantenimiento tiene que ver con “el arte de mantener a los equipos de la planta, las estructuras y todos los accesorios en condiciones adecuadas para prestar los servicios para los cuales fueron propuestos” (Romero 183).

La extracción del lodo de la cisterna se debe realizar cada 6 o 12 meses dependiendo del nivel del lodo acumulado. Cuando el nivel superior del lodo y el tubo de descarga se encuentren a 15 cm de separación, se debe extraer el lodo procurando dejar un 10 a 15% del mismo. Se debe dejar un poco de lodo para que continúe el proceso de digestión con biomasa madura. También se debe retirar el exceso de espuma cuando se extraiga el lodo. Es recomendable cada

seis meses revisar y limpiar el estado de las cubiertas y tubos de ventilación, ya que la vegetación puede llegar a invadir los mismos junto con otros residuos por el viento (Arundel 202 y 204).

En el humedal, lo primordial que se debe cuidar es que las plantas se encuentren con buena salud y no existan olores. Para esto se debe cuidar que las raíces no se queden sin agua, es decir que el agua se distribuya completamente en todo el humedal. Además, el nivel del agua debe estar unos 5 cm bajo la superficie del lecho granular para evitar los mosquitos. Se debe dar limpieza a las tuberías de abastecimiento y de salida del humedal para evitar cualquier atascamiento. Por último, se debe evitar que exista gran acumulación de vegetación inerte. Esto sucede cuando las partes aéreas de las plantas se van secando y se acumulan sobre el lecho.

Finalmente, cada 4 o 6 meses se puede enviar agua a través de la tubería de aireación para limpiar el lecho granular del pozo de adsorción. Para este efecto se puede contratar un pequeño tanquero.

6.5.5 Control

Básicamente, lo que se busca controlar mediante el uso de equipos adecuados es que los niveles de los contaminantes en el agua se reduzcan de acuerdo al diseño en cada etapa.

Se deberán realizar mediciones del efluente hacia la cisterna, del efluente hacia el humedal, y del efluente hacia el pozo de adsorción. Se debe dotar y capacitar al operador acerca de los equipos de medición del agua. En caso de

que los niveles de los contaminantes no sean los esperados, se debe revisar el sistema y ubicar el problema para solucionarlo. Estos equipos que utilizan sustancias químicas para la medición deben estar almacenados en algún lugar seguro.

En general se recomienda que todos los puntos de entrada y salida de las aguas residuales sean monitoreados para conocer su temperatura, oxígeno disuelto, pH y su conductividad una vez por semana. Además, una vez al mes se deben medir los niveles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y nitrógeno. Por último, para verificar que el sistema está funcionando adecuadamente se deben realizar pruebas estándar del agua y el suelo basadas en técnicas analíticas (ITRC, 86).

7 CAPÍTULO – PRESUPUESTO

El costo es un aspecto fundamental para la selección, diseño y construcción de cualquier tipo de edificación. Así que, como no podía ser de otra manera, se realizará un calculo del costo necesario para la construcción de esta planta de tratamiento de aguas residuales que utiliza un humedal artificial.

Las cantidades necesarias para cada rubro se han estimado de los planos realizados con el diseño correspondiente.

El análisis de costos unitarios se lo ha realizado en base a un análisis de rendimientos y costos locales para el DMQ.

El presupuesto se encuentra en la sección de anexos.

8 CAPÍTULO – CONCLUSIONES

Los humedales de flujo sub-superficial son muy eficientes para la remoción de DBO y SST, con costos bajos de construcción y costos muy bajos de operación y mantenimiento.

La remoción de amoníaco en los humedales sub-superficiales es deficiente. Esto es por cuanto el tiempo de retención es muy alto en comparación a los de la DBO y SST. Esto sucede también porque no siempre existe oxígeno suficiente bajo el lecho debido al desarrollo heterogéneo de las raíces.

La remoción de fósforo en los humedales sub-superficiales es deficiente e inconstante. Esto quiere decir que el humedal no solo puede requerir de un mayor tiempo de retención, sino también de otros factores que necesitan ser establecidos y estudiados más a fondo.

La mayoría de los estudios realizados acerca de humedales se los ha hecho en países con climas fríos y considerando el invierno. Se ha comprobado con esto que la eficiencia de los humedales es mayor en climas cálidos. Por su puesto esto está relacionado directamente con el crecimiento bacteriano y la velocidad de reacción para asimilar los contaminantes.

De la investigación se ha conocido que la eficiencia del sistema aumenta significativamente cuando se utilizan varios humedales en serie para tratar el agua.

En su mayoría los humedales artificiales son utilizados en zonas rurales, sin acceso a alcantarillado, donde existe terreno disponible y su costo es bajo.

Como varios otros procesos de diseño en la ingeniería, se toman varios factores de precaución en el diseño, lo cual puede conducir a un sobredimensionamiento del sistema cuando el diseñador no ha tenido experiencia en el mismo

9 CAPÍTULO – RECOMENDACIONES

Hacer un estudio de la conductividad hidráulica y granulometría del medio que se va a escoger para el lecho del humedal.

Hacer un estudio del coeficiente de absorción del suelo junto con el estudio de suelos para el diseño del pozo de adsorción.

Se debe tener especial cuidado al momento de realizar la implantación de la vegetación. En general, una persona que ya ha construido este tipo de humedales debería supervisar el proceso.

Irregularidades en el piso del lecho pueden causar ciertos flujos preferenciales del agua. Es por esto que se debe compactar bien el suelo antes de colocar la capa impermeable o plástico.

Familiarizarse con los varios métodos de diseño que existen para el dimensionamiento de humedales artificiales con el objetivo de escoger aquel en el que utilicen menos factores con gran variabilidad. Es decir, mientras los factores de porosidad, conductividad hidráulica, constante de absorción del suelo, etc., tengan mayor precisión, el modelo no estará sobredimensionado.

Aún con todas las consideraciones de diseño y construcción, se debe verificar que el humedal funcione después de los primeros meses. Además, se debe tener un plan de contingencia en caso de que el humedal no funcione correctamente y se tengan que evacuar las aguas residuales por algún método alternativo.

10 BIBLIOGRAFIA

- Arundel, John. Vicente San José González Tr. "Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales". Zaragoza: Acribia S.A., 2000. Impreso.
- Carrasco Sánchez, Jorge. "Diseño del Sistema de alcantarillado combinado para los barrios de San Juan Bautista Alto y Bajo en la Parroquia de Cumbayá." Tesis. Escuela Politécnica Nacional. Quito, 2006. Google Scholar Search. 20 Octubre 2011. Disponible en:
<<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/367/1/CD-0330.pdf>>
- Crites, Ron & Tchobanoglous, George. "Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados". Tomo 2. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill, 2000. Impreso.
- Cuenca, Luis A. y Mercedes Villa. "Estudio, Diseño y Selección de la tecnología adecuada para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Pindal por un método natural." Tomo 1. Tesis. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, 2010. Google Search. 20 Octubre 2011. Disponible en:
<<http://www.scribd.com/doc/37959965/DISENO-DE-HUMEDAL-ARTIFICIAL-DE-FLUJO-SUBSUPERFICIAL>>
- Cevallos, Erika. "Evaluación de la adaptación y fitoremediación de 3 especies de ciperáceas con 2 densidades distintas sobre lechos filtrantes para aguas servidas en la Estación Páramo del OCP Ecuador S.A." Tesis. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, 2009. Google Search. 20 Octubre 2011. Disponible en:
<<https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:EgK5jqoScjMJ:www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/754/1/T-ESPE-023929.pdf+depuracion+erika+cevallos+amazonia&hl=en&pid=bl&srcid=ADGEESgcl-e4gMB3DSi9tRzfqAldx8-dQArERfcDxU0s2L-3MH6YGFFnYU-9VuDr2I1dHae1JCxyL76ljc4Dm0oefNdBjcmviKuSNMibzhICqjog0aAldO9CQacouYUnXhCmKnmlPx&sig=AHIEtbRancBdRM7SgUDTS0K4E6PiDdFR9w>>
- Delgadillo, Oscar et al. "Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales." Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, 2010. 10 Noviembre 2011. Disponible en:
<http://www.infoandina.org/sites/default/files/recursos/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf>
- Halverson, Nancy V. "Review of Constructed Subsurface Flow vs. Surface Flow Wetlands." Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information. Savannah River Site 2004. Google Scholar Search. 24 Octubre 2011. Disponible en:
<<http://www.osti.gov/energycitations/purl.cover.jsp?purl=/835229-ilhjDG/native/>>
- ITRC – The Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team.
"Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment

Wetlands.” December 2003. Google Search. 15 Noviembre 2011. Disponible en: <<http://www.itrcweb.org/Documents/WTLND-1.pdf>>

Kemp, Michael C. and Dennis B. George. “Subsurface Flow Constructed Wetlands Treating Municipal Wastewater for Nitrogen Transformation and Removal.” *Water Environment Research*, Vol. 69, No. 7 (Nov. - Dec., 1997), pp. 1254-1262. JSTOR Search. 15 Noviembre 2011. Disponible en: <<http://www.jstor.org/stable/25044993>>

Lahora, Agustín. “Depuración de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almería).” *Gestión de Aguas del Levante Almeriense*. Pp. 99-112. Google Scholar Search. 2 Septiembre 2011. Disponible en: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2244838>>

Lara Borrero, Jaime. “Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales.” Trabajo Final. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, Mayo 1999. Google Scholar Search. 20 Octubre 2011. Disponible en: <<http://sites.google.com/site/humedalesartificiales/home/jaimelara>>

Llagas, Wilmer y Enrique Gómez. “Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales en la UNMSM.” *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* Vol. 15, No. 17. 2006. pp. 85-96. Google Scholar Search. 26 Septiembre 2011. Disponible en: <http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=17046:diseño-de-humedales-artificiales-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-la-unmsm&catid=1282:tratamiento-de-aguas-residuales&Itemid=100150>

Metcalf & Eddy. Antonio García Ed. “Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización”. Vol. I & II. 3ra Edición. Madrid: McGraw-Hill, 1995. Impreso.

Mihelcic, James et al. “Field guide to environmental engineering for development workers: water, sanitation and indoor air”. Reston: ASCE Press, 2009. Google Books Search. 21 Noviembre 2011.

Reed, Sherwood C. and Donald S. Brown. “Constructed Wetland Design: The First Generation.” *Water Environment Research*, Vol. 64, No. 6 (Sep. - Oct., 1992), pp. 776-781. Jstor Search. 1 Noviembre 2011. Disponible en: <<http://www.jstor.org/stable/25044225>>

Reed, Sherwood C. and Donald S. Brown. “Subsurface Flow Wetlands: A Performance Evaluation.” *Water Environment Research*, Vol. 67, No. 2 (Mar. - Apr., 1995), pp. 244-248. JSTOR Search. 15 Noviembre 2011. Disponible en: <<http://www.jstor.org/stable/25044544>>

Reinoso Moreno, Marjorie. Ed. “Pantanos Artificiales: Se aprendió haciendo. Sistematización de la experiencia de construcción de pantanos artificiales

para el tratamiento de aguas residuales en Shushufindi (1998 – 2001)”
Graphus: Noviembre 2001. Impreso

Romero Rojas, Jairo Alberto. “Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño”. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. Impreso.

Sauter, G. and Leonard, K. “Wetland Design Methods for Residential Wastewater Treatment.” JAWRA Journal of the American Water Resources Association. Vol. 33, No. 1. February 1997. pp. 155–162. Google Scholar Search. 10 Septiembre 2011. Disponible en:
<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.1997.tb04092.x/abstract>>

Seoáñez Calvo, Mariano. “Depuración de las Aguas Residuales por Tecnologías Ecológicas y de Bajo Costo”. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2004. Impreso.

TULAS “Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria”. Libro VI Anexo 1. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Presidencia de la República del Ecuador. Google Search. 1 Septiembre 2011. Disponible en:
<<http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambiental%20Digital/TULAS.pdf>>

U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development. “Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment.” EPA/625/1-88/022. September 1988. Google Scholar Search. 3 Octubre 2011. Disponible en:
<<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/design.pdf>>

U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development. “Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters.” EPA/625/R-99/010. September 1999. Google Search. 10 Octubre 2011. Disponible en:
<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/Design_Manual2000.pdf>

U.S. Geological Survey. “El Ciclo del Agua: The Water Cycle.” Organización de las Naciones Unidas para la Educación. Google Search. 10 Septiembre 2011. Disponible en:
<<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html#freshstorage>>

11 ANEXOS

ANEXO 1

TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA HACIA 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		^a Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* 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.O ₅ .	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

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
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

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
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

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
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

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

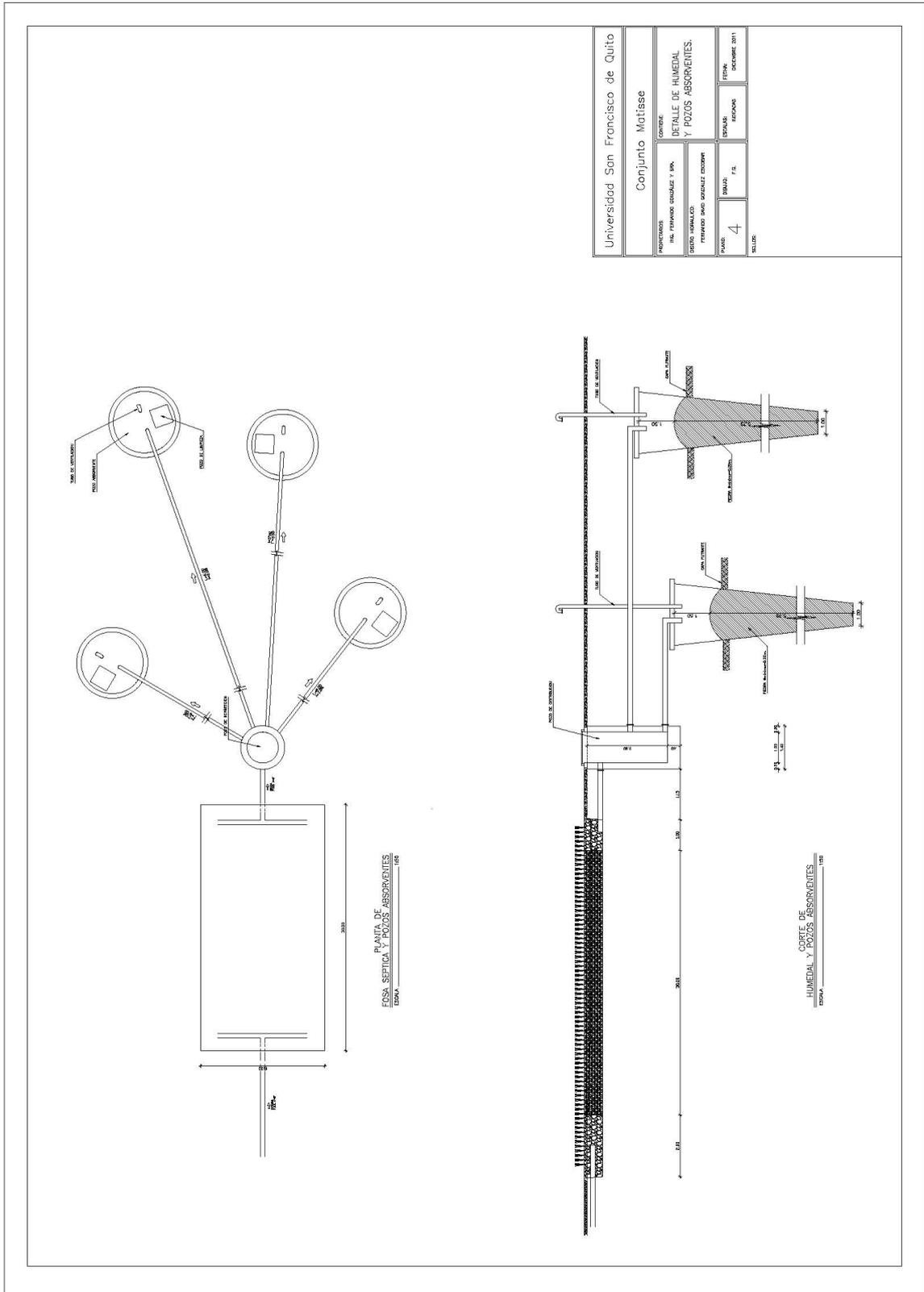
ANEXO 2

TABLA 14. FACTORES INDICATIVOS DE CONTAMINACIÓN

Factor de contaminación (Concentración presente/ valor de fondo)	Grado de perturbación.	Denominación
< 1,5	0	Cero o perturbación insignificante
1,5 – 3,0	1	Perturbación evidente.
3,0 – 10,0	2	Perturbación severa.
> 10,0	3	Perturbación muy severa.

ANEXO 6

POZOS DE ABSORCIÓN



ANEXO 7

DISEÑO DE UN TANQUE SÉPTICO

Diseño de un Tanque Séptico

1. Caudal de Diseño

$$Q_{\max} = PA \left(\frac{Q_{\text{med}} * M}{86400} \right) + 0.1A + Q_{\text{ind}}$$

PA= 60,00 habitantes [Población aportante]

TABLA 2-9
Zonas residenciales: Caudales de agua residual típicos*

Fuente	Unidad	Caudal (l/unidad·día)	
		Intervalo	Valor típico
Apartamento			
Alto standing	Persona	132-280	190
Nivel medio	Persona	198-300	245
Hotel	Cliente	115-210	170
Residencia individual			
Vivienda media	Persona	170-340	265
Vivienda clase alta	Persona	225-380	300
Vivienda de lujo	Persona	280-570	360
Vivienda antigua	Persona	115-225	170
Segunda residencia	Persona	95-190	150
Motel			
Con cocina	Unidad	340-680	380
Sin cocina	Unidad	285-570	360
Zona caravaning	Persona	115-190	150

* Adaptado parcialmente de la bibliografía [7].

(Metcalf & Eddy)

$Q_{\text{MEDIO}} = 300,00$ l/hab d [Caudal Medio de Tabla 2.9]

$Q_{\text{MEDIO}} = 0,0035$ l/hab s

$$M = \frac{2.228}{Q^{0.073325}}$$

Condición: $M = 4$, cuando $Q < 4$ (l/s)

Rango de límites = $1.5 \leq M \leq 4$

$M_{\text{RECOM}} = 4$ [Factor mayoración recomendado]

$M = 2,50$ [Factor mayoración adoptado]

$A = 0,40$ ha [Area del terreno del proyecto]

$Q_{\text{ind}} = 0,00$ l/s [Caudal Industrial]

$Q_{\max} = 0,56$ l/s [Caudal de diseño de aguas servidas]

2. Dimensionamiento del Tanque Séptico

t= 6,00 horas [Tiempo de Retención]

$$V = Q * t$$

V= 12114,00 l

V= 12,11 m³ [Volumen de Diseño]

h= 1,80 m [Altura Mínima Tanque Séptico]

a= 1,83 m [Ancho Mínimo Tanque Séptico]

b= 3,67 m [Largo Mínimo Tanque Séptico]

ANEXO 8

DISEÑO DE UN HUMEDAL SUB-SUPERFICIAL

Diseño de un Humedal Sub-superficial para Remoción de DBO_5 , SST y Nitrógeno

1. Dimensionamiento del Humedal para Remoción de DBO_5

$$Q_h = 48456,00 \text{ l/d} \quad [\text{Carga hidraulica/Caudal Diseño}]$$

$$Q_h = 48,46 \text{ m}^3/\text{d} \quad [\text{Carga hidraulica/Caudal Diseño}]$$

TABLE 2. Typical Residential Wastewater Input Parameters
(adapted from Alabama Department of Public Health, 1992).

Parameter (1)	Per Bedroom > Two Bedroom (2)	Three-Bedroom Home (3)
Design Flows (Q_h) (L/d)	568	1703
Organic Loading (L_0) (g BOD_5 /d)		
a. Without Garbage Disposal	150	230
b. With Garbage Disposal	462	690

(Wetland Design for Residential Wastewater)

$$L_0 = 4000 \text{ g de } DOB_5/\text{d} \quad [\text{Tasa de carga orgánica de Tabla 2}]$$

$$C_0 = 82,55 \text{ mg } DOB_5/\text{l} \quad [\text{Concentracion de DBO al Tanque Séptico}]$$

$$40 \% \quad [\text{Remoción de DBO en el Tanque Séptico}]$$

$$C_1 = 49,53 \text{ mg } DOB_5/\text{l} \quad [\text{Concentracion de DBO al Humedal Artificial}]$$

Table 5-1. Hydraulic Conductivity Values Reported in the Literature.

Size and type ¹ of Media	"Clean"/"Dirty" K (m/d)	Type of Wastewater (Typical TSS, mg/L) ²	Length of Operation	Notes & References
5-10 mm gravel	34,000/12,000	2 ^o effluent (100)	2 years	K = 12,000 is for downstream portion (last 80 m) of VSB K = 900 is for inlet zone (first 20 m) of VSB Bavor et al (1989), Fisher (1990), Bavor & Schulz (1993)
5-10 mm gravel	34,000/900	2 ^o effluent (100)	2 years	
17 mm creek rock	100,000/44,000	nutrient solution (neg)	4 months	neg = negligible TSS Macmanus et al (1992), DeShon et al (1995)
6 mm pea gravel	21,000/9000	nutrient solution (neg)	4 months	
30-40 mm coarse gravel	NR/1000	2 ^o effluent (30 w/a)	2 years	w/a = with algae; pond effluent; gravel bed only- no plants coarse gravel is first 6m of bed; fine is last 9 m of bed Sapkota & Bavor (1994)
5-14 mm fine gravel	NR/12,000	2 ^o effluent (30 w/a)	2 years	
20-40 mm coarse gravel	NR/NR	landfill leachate (neg)	26 months	for coarse gravel, headloss was controlled by outlet, not K Sanford et al (1995a & 1995b), Sanford (1999), Surface et al (1993)
5 mm pea gravel	6200/600	landfill leachate (neg)	26 months	
19 mm rock	120,000/3000	septic tank effluent (50)	7 months	George et al (2000)
14 mm fine gravel	15,000/see note	aerated pond (60 w/a)	2 years	K of combined gravel (fine overlaid coarse) was 2000 at 50 m from inlet; 27,000 at 300 m from inlet Kadlec & Watson (1993), Watson et al (1990)
22 mm coarse gravel	64,000/see note	aerated pond (60 w/a)	2 years	

¹Type as defined in the reference(s)

²neg = negligible; w/a = with algae

(EPA Manual 2000)

La constante de reacción a 20 °C es 1,104 d⁻¹ o de la Tabla 3-4

$$K_{20} = 1,104 \text{ d}^{-1} \quad [\text{Constante de reacción a 20 °C}]$$

$$K_T = K_{20} (1.1)^{(T-20)}$$

$$T = 18 \text{ °C} \quad [\text{Temperatura del Agua en Humedal Artificial}]$$

$$K_T = 0,912 \text{ d}^{-1} \quad [\text{Constante de reacción a temperatura T}]$$

Design porosities

0.65 for dense emergent species in fully vegetated areas, 0.75 for less dense stand of emergent species, 1.0 for open water areas

(EPA Manual 2000)

$$\alpha = 0,38 \quad [\text{Porosidad del medio}]$$

$$d = 0,60 \text{ m} \quad [\text{Profundidad del Humedal}]$$

$$C_e = 20,00 \text{ mg DBO}_5/\text{l} \quad [\text{Concentración DBO a la salida del Humedal}]$$

$$As = \frac{\ln(C_1/C_e)Q}{K_T \alpha d}$$

$$As = 211,23 \text{ m}^2 \quad [\text{Area requerida para remoción de DBO}]$$

Cálculo del largo y ancho del humedal considerando una proporción R:1

$$3 : 1 \quad [\text{Relación Largo/Ancho del Humedal}]$$

$$L = 25,17 \text{ m} \quad [\text{Largo del Humedal Mínimo}]$$

$$L = 30,00 \text{ m} \quad [\text{Largo del Humedal Adoptado + 30\%}]$$

$$W = 8,39 \text{ m} \quad [\text{Ancho del Humedal Mínimo}]$$

$$W = 8,00 \text{ m} \quad [\text{Ancho del Humedal Adoptado}]$$

$$A_{S_{\text{Diseño}}} = 240,00 \text{ m}^2 \quad [\text{Area de diseño para remoción de DBO}]$$

2. Cálculo de la Capacidad Hidráulica del Humedal

$$K_S = 1000 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d} \quad [\text{Conductividad Hidráulica del Medio}]$$

$$S = 1,00\% < 1\% \quad [\text{Pendiente del Humedal}]$$

$$Q_{HUM} = A_C K_S S = W d K_S S$$

$$Q_{HUM} = 48,00 \text{ m}^3/\text{d} \quad [\text{Capacidad Hidráulica de Depuración}]$$

$$Q_h \geq 48,46 \text{ m}^3/\text{d} \quad [\text{Carga hidraulica/Caudal Diseño}]$$

Revisar

3. Cálculo del Tiempo de Detención

$$t = \frac{LW \alpha d}{Q}$$

$$t = \boxed{1,13} \text{ d} \quad [\text{Tiempo de detención para remoción de DBO}]$$

4. Concentración de SST al afluente

$$C_e = C_0(0,1058 + 0,0014CH)$$

$$C_0 = \boxed{30,00} \text{ mg SST/l} \quad [\text{Concentración de SST al Humedal}]$$

$$CH = 20,19 \text{ m/d} \quad [\text{Carga Hidráulica por el Area del Humedal}]$$

$$C_e = \boxed{4,02} \text{ mg SST/l} \quad [\text{Concentración SST a la salida del Humedal}]$$

5. Dimensionamiento del Humedal para Remoción de Nitrógeno

Cálculo de la constante de nitrificación a 20 °C

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922rZ^{2,6077}$$

50%

$$K_{NH} = 0,083 \text{ d}^{-1} \quad [\text{Constante de nitrificación al 50\%}]$$

100%

$$K_{NH} = 0,411 \text{ d}^{-1} \quad [\text{Constante de nitrificación al 100\%}]$$

Cálculo de la constante de velocidad de reacción

$$K = 0$$

$$K_T = K_{10}(1,15)^{(T-10)}$$

$$K_T = K_{NH}(1,048)^{(T-20)}$$

$$T = 18 \text{ °C} \quad [\text{Temperatura del Agua en Humedal Artificial}]$$

50%

$$K_T = 0,06790569 \text{ d}^{-1} \quad [\text{Constante de reacción a temperatura T}]$$

100%

$$K_T = 0,33651131 \text{ d}^{-1} \quad [\text{Constante de reacción a temperatura T}]$$

$$C_1 = \boxed{18,00} \text{ mg N/l} \quad [\text{Concentración de Nitrógeno al Humedal}]$$

Cálculo del área y tiempo de retención necesarios para la nitrificación en el humedal

$$\alpha = 0,38$$

$$d = 0,60 \text{ m}$$

$$C_e = \boxed{15,00} \text{ mg N/l} \quad [\text{Concentración N a la salida del Humedal}]$$

50%

$$A_s = \boxed{570,62} \text{ m}^2 \quad [\text{Área máxima necesaria del Humedal}]$$

100%

$$A_s = \boxed{115,15} \text{ m}^2 \quad [\text{Área mínima necesaria del Humedal}]$$

Todo este cálculo asume el porcentaje de penetración de las raíces en el medio

50%

$$t = \boxed{2,68} \text{ d} \quad [\text{Tiempo de retención máximo}]$$

100%

$$t = \boxed{0,54} \text{ d} \quad [\text{Tiempo de retención mínimo}]$$

ANEXO 9

DISEÑO DE UN POZO DE ABSORCIÓN

Diseño de un Pozo de Adsorción	
1. Dimensionamiento del Pozo	
V= 48456,00 l/d	Donde; H: altura útil del pozo
# pozos= 4 unidad	Volumen de aguas servidas
V _{# pozos} = 12114,00 l/d	T : tiempo de absorción
R= 2 m	K : coeficiente de absorción
r= 1,5 m	CR: coeficiente recuperación
K= 210 l/m ² /d	R : radio superior del pozo
	r : radio inferior del pozo
H: Volumen de aguas servidas / 3,1416 x (R+r) x K	
H= 5,25 m	
2. Altura total incluyendo 1.5 m para piedra y seguridad	
H _T = 6,75 m	

ANEXO 10

PRESUPUESTO

PROYECTO: Planta de Tratamiento Conjunto Matisse
FECHA: 01/12/2011

PROYONENTE:
DIRECCION:
PROPIETARIO:

Fernando Gonzalez

Nº.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
PRELIMINARES					
1,00	LIMPIEZA Y DESBROCE	M2	1,000,00	\$0,41	\$410,00
2,00	REPLANTEO Y NIVELACION	M2	250,00	\$4,27	\$1.067,50
					\$1.477,50
TANQUE SEPTICO					
3,00	EXCAVACION TIERRA A MAQUINA H=2-4 M	M3	20,00	\$2,45	\$49,00
4,00	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	KG	502,83	\$9,58	\$4.817,11
5,00	EMPEDRADO (INCLUYE MATERIAL)	M2	8,00	\$17,06	\$136,48
6,00	REPLANTILLO H.S. 140 KG/CM2	M3	1,00	\$154,90	\$154,90
7,00	HORMIGON SIMPLE F'CC=210KG/CM2	M3	12,00	\$180,74	\$2.168,88
8,00	ENCOFRADO/DESENCOFRADO PAREDES 2 LADOS (TANQUE)M2	M2	13,20	\$40,18	\$530,38
9,00	ENCOFRADO/DESENCOFRADO LOSA SUPERIOR (TANQUE) M2	M2	8,00	\$33,90	\$271,20
					\$8.127,95
HUMEDAL SUB-SUPERFICIAL					
10,00	EXCAVACION TIERRA A MAQUINA H=0-2 M	M3	150,00	\$1,63	\$244,50
11,00	PLANTA DE TOTORA	U	4,800,00	\$0,19	\$912,00
12,00	PROTECCION CON PLASTICO (MAD)	M2	260,00	\$3,25	\$845,00
13,00	SUMINISTRO EN INST. ACCESORIOS PARA HUMEDAL	U	1,00	\$360,00	\$360,00
14,00	RELLENO CON GRAVA 2#	M3	15,00	\$36,22	\$543,30
15,00	RELLENO CON ARENA	M3	130,00	\$20,38	\$2.649,40
16,00	CANALIZACION PVC 160MM	M	60,00	\$12,24	\$734,40
17,00	DESALCOIO DE MATERIAL VOLQUETA DISTANCIA=5KM CAFM3	M	140,00	\$1,80	\$252,00
					\$6.540,60
POZOS ABSORCION					
18,00	EXCAVACION TIERRA A MAQUINA H=8-10 M	M3	300,00	\$3,84	\$1.152,00
19,00	POZO REVISION H.S. H=2,26-2,75M	U	1,00	\$632,23	\$632,23
20,00	RELLENO DE PIEDRA BOLA	M3	260,00	\$26,60	\$6.916,00
21,00	TUBERIA PVC 75 MM PARA VENTILACION	M	1,00	\$4,56	\$4,56
22,00	TAPA DE POZO	U	4,00	\$123,41	\$493,64
					\$9.198,43
					\$25.344,48