



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingenierías

**HUMEDALES NATURALES Y ARTIFICIALES
PARA TRATAMIENTO DE AGUA**

TRABAJO MONOGRAFICO
Para obtener el grado de
Licenciado en Ingeniera Ambiental

PRESENTA
Ramiro De Alba Burgos

SUPERVISORES
Biol. Alberto Pereira Corona
M.C. Benito Prezas Hernández
Q.F.B. José Luis González Bucio

Chetumal, Quintana Roo 2004



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de :

LICENCIADO EN INGENIERIA AMBIENTAL

COMITÉ :

SUPERVISOR: _____

Biol.. Alberto Pereira Corona

ASESOR: _____

M.C. Benito Prezas Hernández

ASESOR: _____

Q.F.B. José Luis González Bucio

Chetumal, Quintana Roo. Junio de 2004

DEDICATORIA

Antes que nada quiero dedicar este trabajo monográfico a mi familia, a mi padre Ramiro De Alba Becerra quien siempre ha sido un gran ejemplo como profesionista y por su peculiar apoyo y exigencia para superarme académicamente durante todos estos años. A mi madre y amiga María Teresa Burgos Yeh quien siempre ha estado a mi lado para darme confianza, comprensión y motivación cuando mas lo he necesitado. A mi hermana Norma de Alba Burgos quien me ha dado el buen ejemplo de seriedad y excelencia en todo lo que desempeñe. A mis abuelos cuyo apoyo ha sido incondicional, especialmente a mi abuelo Leopoldo Burgos Espiritu quien siempre ha estado pendiente de mi desempeño académico.

De igual manera quiero dedicar este trabajo a todos mis profesores durante la carrera, en especial a mis asesores Alberto Pereira Corona, Benito Prezas Hernández y José Luis González Bucio que me brindaron toda la confianza y apoyo para poder terminar esta monografía y los cuales me enseñaron mucho durante estos cinco años en la carrera.

CONTENIDO

	Pg.
Introducción	1
Capítulo 1. Características Generales del Agua	2
1.1 El ciclo del agua y su disponibilidad.....	2
1.2 Características Organolépticas del agua.....	7
1.3 Propiedades físicas del agua.....	9
1.4 Propiedades Químicas del agua.....	10
Capítulo 2. Características del agua residual	11
2.1 Componentes de aguas residuales.....	13
2.2 Fuentes de aguas residuales.....	17
Capítulo 3. Humedales Naturales	21
3.1 Definición de humedales naturales.....	21
3.2 Sistemas de clasificación de tipos de humedales.....	23
3.3 Factores que influyen a la formación de humedales.....	27
3.4 Suelos de los humedales.....	30
3.5 Vegetación de los humedales.....	34
3.6 Humedales y el hombre.....	35
3.7 Ciencia de los humedales y científicos.....	38
3.8 Manejo de Humedales.....	41

3.9 La Extensión global de los humedales.....	42
3.10 Pérdida de humedales.....	46
3.11 Humedales de México.....	47
Capítulo 4. Humedales Artificiales.....	50
4.1 Clasificación de Humedales artificiales.....	50
4.2 Características Generales de Humedales Artificiales.....	51
4.3 El agua.....	53
4.4 Substratos, Sedimentos y Restos de vegetación.....	54
4.5 Vegetación.....	55
4.6 Microorganismos.....	58
4.7 Animales.....	59
4.8 Consideraciones de construcción.....	60
4.9 Rendimiento.....	63
4.10 Operación y mantenimiento.....	69
4.11 Control.....	71
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....	74
Bibliografía.....	77

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pg.
1. Distribución mundial del agua	3
2. Sólidos en aguas residuales.....	14
3. Características Físicas, Químicas y biológicas de aguas residuales.....	16
4. Características de las aguas negras domesticas.....	18
5. Residuos de fuentes industriales.....	19
6. Investigadores Pioneros en ecología de humedales.....	41
7. Porcentaje de pérdida de humedales en el mundo.....	47

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pg.
1. Humedales de México.....	48
2. Vegetación de Humedales Artificiales.....	51
3. Perfil de un Humedal Artificial.....	52

INTRODUCCION

La dispersión de conocimientos sobre los valores y beneficios de los humedales constituye uno de los principales problemas que atentan contra su conservación en todo el mundo. Por esta razón, es de gran importancia dar a conocer las características de este singular ecosistema, a fin de propiciar valores, conocimientos y conductas apropiadas.

De acuerdo a lo establecido por la Convención Ramsar (1971), los humedales comprenden una gran variedad de ambientes, entre los cuales encontramos las aguas de régimen natural o artificial, permanente o temporal, estancado o corriente, dulce, salobre o salado, incluyendo las extensiones de agua marina que no excedan de seis metros de profundidad. También son considerados humedales los estanques para la acuicultura, las salinas para la explotación de sal, las áreas de excavación y hasta los reservorios de agua para irrigación o consumo humano.

Entre algunas de las características fundamentales de los humedales se encuentra su importancia hídrica, fuente de recursos y energía, retención de sedimentos y protección, transporte, recreación y turismo e importancia ecológica.

Debido a la gran escasez del agua en muchas regiones del mundo y al gran número de contaminantes que el hombre aporta a través de sus actividades industriales, agrícolas y urbanas se ha tenido que recurrir al tratamiento de esta. Estas tecnologías tienen como objetivo llegar a darle un tratamiento a estas aguas residuales para así tener un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos. Entre las varias alternativas utilizadas para darle tratamiento a las aguas residuales se encuentra la tecnología de Humedales Artificiales. Esta nueva propuesta de tratamiento promete ser altamente sostenible, de bajos costo de inversión inicial, facilidad de operación y de requerimientos mínimos de mantenimiento.

Esta monografía tiene como objetivo principal ser una fuente importante de información para futuras investigaciones o aplicaciones de la tecnología de tratamiento de aguas residuales a través de Humedales Artificiales. De la misma manera pretende ayudar a determinar la viabilidad de la aplicación de esta tecnología en el Estado de Quintana Roo.

Capítulo 1

Características Generales del Agua

1.1 El ciclo del agua y disponibilidad

“El agua es uno de los compuestos mas comúnmente encontrados en la naturaleza, cubriendo aproximadamente 75% de la superficie de la tierra. A pesar de su aparente abundancia, ciertos factores limitan la cantidad de agua disponible para el uso humano. Más del 97% del total de la proporción de agua se encuentra en los océanos y otros cuerpos de agua salinos y no es realmente utilizable para la mayoría de los fines. Del 3% restante, un poco más del 2% se encuentra en glaciares y en otros lugares congelada y al igual que la humedad atmosférica y del suelo, es inaccesible. Sin embargo el hombre depende del .62% restante que se encuentra en cuerpos de agua dulce como lagos, ríos y fuentes de agua subterránea para poder realizar sus variadas actividades técnicas y de agricultura”. (Peavy, Rowe 1985).

“El ciclo del agua es una representación esquemática del flujo de agua a través del ambiente físico. Aunque la naturaleza de este fenómeno se entiende fácilmente, los factores de tiempo y calidad no son tomados en cuenta normalmente. La escala de tiempo es importante porque el almacenamiento natural de agua superficial y de agua subterránea puede imponer retrasos significativos en el ciclo. Los lagos tienen tiempos de residencia de cientos de años en muchos casos y el agua subterránea puede durar hasta que se le de un uso significativo. La calidad del agua en cualquier punto del ciclo es una variable dinámica”.

“El agua es pura solo en su estado de vapor, y las impurezas se empiezan a acumular mientras la condensación ocurre. Los gases se disuelven en gotas formando nubes, y estos gases afectan fuertemente la calidad del agua. Hasta recientemente los mas importantes gases disueltos eran el oxígeno (O_2) y el dióxido de carbono (CO_2). El incremento en el uso de combustibles fósiles que contienen Azufre y el de los motores de combustión interna ha resultado en la generación de Dióxido de Azufre (SO_2) y de Óxidos de Nitrógeno (NO_x). Cuando estos gases se disuelven en gotas de agua, los ácidos minerales son producidos y el contenido de iones Hidronio de la precipitación

puede incrementar. Debido a que los gases pueden viajar largas distancias antes de que la precipitación ocurra, la causa y efecto de la lluvia ácida frecuentemente ocurre en diferentes países". (R.D. Letterman ,1999)

Tabla 1. Distribución mundial del agua

Locacion	Volumen , 10¹² m³	% del total
Áreas Terrestres		
Lagos de agua dulce	125	0.009
Lagos salinos y mares tierra adentro	104	0.008
Ríos	1.25	0.0001
Humedad del suelo	67	0.005
Agua subterránea	8,350	0.61
Glaciares y formaciones de hielo	29,200	2.14
Área terrestre total (redondeada)	37,800	2.8
Atmósfera (vapor de agua)	13	0.001
Océanos	1,320,000	97.3
Total (redondeado)	1,360,000	100

(Peavy, Rowe , 1985)

“La distribución geográfica del agua no coincide con la distribución de personas en el planeta. Asia con 60 % de la población del planeta cuenta con solo el 36% de la precipitación global, mientras Suramérica, con solo 5% de la población tiene 25 % de la precipitación. Las variaciones entre las regiones y continentes pueden ser extremas .Por ejemplo la disponibilidad de agua per capita en el Norte de África es menos de 7% del promedio de África, el cual en si es bajo. Mientras las poblaciones incrementen y el desarrollo siga, el incremento en la demanda por agua aumenta el riesgo de problemas internos en los países y conflictos externos con otros. Muchos países dependen en ríos locales para el suplemento de agua pero sus vecinos río arriba controlan el flujo. Por

ejemplo Egipto obtiene 32.3 veces mas de superficie de agua de precipitación que cae fuera de Egipto que de la que cae dentro de este. Egipto depende de el Nilo ya que de el obtienen el 97% de abastecimiento de agua superficial, mientras su vecino Etiopía controla casi todo el flujo del Nilo. Circunstancias similares existen alrededor del mundo. Por ejemplo, Turquía , Siria e Irak comparten el Eufrates; Bangladesh depende del Ganges el cual es controlado por la India; Israel y Jordania comparten el Río Jordán. Mientras estos y otros países incrementen su demanda por agua también se intensificaran conflictos por esta”. (Ramsar, 2004)

“Existen diversas formas de estimar la disponibilidad de agua que tiene un país o región, pero la exactitud del valor calculado depende mucho de la información con que se cuente. Una aproximación muy gruesa es la precipitación total. En este sentido, los 772 mm de precipitación anual que recibe México lo clasifican en la categoría de países con abundante disponibilidad de agua. Sin embargo, México tiene una alta tasa de evapotranspiración que disminuye en forma significativa el volumen de agua disponible. La estimación de la evapotranspiración promedio en México, que es de aproximadamente 1 100 km³ (73% de la precipitación total), resulta menor que la de África (80%) pero mayor que las de Europa (64%), Asia (56%) o Australia (64%) (PNUMA, 2002). De acuerdo con este balance, el volumen de agua disponible en México es de casi 472 km³. Es importante resaltar que esta cantidad no sólo comprende el líquido disponible para uso humano, sino también el necesario para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos (ríos y lagos)”. (Ramsar,2004)

“La disponibilidad del agua comúnmente se evalúa a través del volumen de agua por habitante. Si consideramos la cifra del censo de población del año 2000 (97.48 millones de habitantes), la disponibilidad natural de agua para ese año fue de 4 841 m³ anuales por habitante, volumen que corresponde a una categoría de disponibilidad baja, muy cerca de los 5 000 m³/hab/año límite de disponibilidad media. Para poner en contexto esta cifra, en 1910 la disponibilidad promedio era de 31 000 m³ por habitante, para 1950 ya sólo era de un poco más de 18 000 m³ y en 1970 había caído por debajo de los 10 000 m³. Cabe señalar que esta reducción está explicada fundamentalmente por el crecimiento de la población y no por la disminución de la cantidad de lluvia que recibió el país en esos años. Se estima que para 2010, de acuerdo con las proyecciones que realiza el Consejo Nacional de Población (Conapo) sobre la población del país, la

disponibilidad de agua por habitante se reducirá a 4 180m³ y para 2020 se limitará a cerca de 3 750 m³/hab/año. En un contexto mundial, la disponibilidad de agua por habitante en México en la actualidad es considerablemente menor que la que tienen países como Canadá (91 567 m³/hab/año), Estados Unidos (8 906 m³/hab/año), Brasil (32 256 m³/hab/año) y en general toda América del Sur, y es ligeramente superior al promedio de los países europeos” (PNUMA, 2002).

”Una disponibilidad por debajo de los 1 700 m³/hab/año se considera como situación de estrés hídrico donde puede faltar el abastecimiento de agua para las diversas actividades con frecuencia (sobre todo en países con propensión a sufrir sequías, como es el caso de México). Cuando el valor de disponibilidad está por debajo de 1 000 m³/hab/año las consecuencias pueden ser más severas y comprometen seriamente la producción de alimentos, el desarrollo económico del país y la protección de sus ecosistemas. En estas circunstancias con frecuencia se carece transitoriamente de agua en determinados lugares y es preciso tomar decisiones que involucran prioridades de uso entre las actividades agrícolas, industriales o el abasto a la población urbana y rural” (Fondo de Población de las Naciones Unidas ,FNUAP. 2000).

“Debido a que una aproximación a una escala de país puede enmascarar situaciones de estrés hídrico importantes, recientemente se propuso que la disponibilidad de agua se estudie a nivel de cuenca o en una escala en la que se considere más estrechamente la fuente de agua con la población que la utiliza . En este contexto, si se examina por regiones, México presenta todo el espectro de categorías de disponibilidad de agua. El Valle de México, con poco menos de 200 m³/hab/año, se encuentra en la categoría de extremadamente baja, mientras que la región de la Frontera Sur, con cerca de 27 000 m³/hab/año, tiene una disponibilidad calificada como muy alta . Si se consideran las regiones que tienen 1 700 m³/hab/año o menos, en México existe una población de 31.6 millones de habitantes en situación de estrés hídrico y otros 23 millones muy cerca de este nivel”. (PNUMA, 2002).

“De acuerdo con un estudio realizado para detectar áreas donde la disponibilidad de agua puede caer por debajo de los 1 700 m³/hab/año para el año 2025, en diferentes cuencas de los principales ríos del mundo (y de los cuales se tenía información confiable de aspectos hidrológicos y poblacionales), en México las cuencas de los ríos

Balsas, Grande de Santiago y Colorado se encontrarían en esta situación. Es importante destacar que en el caso del Río Colorado la mayor población que habita en su cuenca no se encuentra en territorio mexicano pero actualmente más del 50% del agua superficial que se utiliza en la región de la Península de Baja California proviene de lo que se importa de esa fuente, por lo que el suministro de líquido en esta región puede ser motivo de conflictos en el futuro en la relación bilateral México-Estados Unidos". (PNUMA, 2002).

"Otra forma de evaluar la disponibilidad de agua es mediante la determinación de lo que se conoce como el *grado de presión del recurso* (GPR), que representa la proporción del agua disponible que se extrae en una zona y a sea para fines agrícolas, públicos, industriales u otros. De acuerdo con este valor, la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU define cuatro categorías que incluyen desde una presión fuerte (la extracción supera el 40% de la disponibilidad natural) hasta una presión escasa (el agua extraída no rebasa el 10% del líquido disponible). México, con un valor de GPR del 15% estimado para el año 2000 se encuentra en la categoría de presión moderada, valor ligeramente superior al 12% estimado para el promedio de los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, OCDE (OCDE, 2002). No obstante, el valor relativamente bajo de la presión sobre el recurso hídrico que presenta México está influido de manera muy significativa por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, ya que regiones como la Frontera Sur, Golfo Centro, Península de Yucatán y Pacífico Sur no extraen más del 5% de su agua disponible; en contraste, las regiones de Baja California, Noroeste, Río Bravo, Cuencas Centrales y el Valle de México se encuentran en una situación completamente diferente, ya que su grado de presión tiene valores superiores al 40%, lo que las coloca en la condición de alto estrés hídrico". (PNUMA, 2002).

Entre las normas importantes en México sobre la disponibilidad del agua se encuentra la NOM-011-CNA, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Esta norma es de gran utilidad y que proporciona los métodos para determinar el volumen medio anual del escurrimiento natural y para determinar la recarga total de una unidad hidrogeológica. Esta NOM es una herramienta para el aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas. (cna, 2004)

“Una medida de disponibilidad de agua, más cercana a las necesidades de la población, es la que se conoce como intensidad de uso (OCDE, 1998) o extracción per cápita. De acuerdo con este indicador, la disponibilidad en México para el año 2000 fue de 740 m³/hab al año, valor semejante al calculado para Japón (720 m³/hab) y Francia (700 m³/hab) e inferior al de Canadá (1 600 m³/hab) y al promedio de países miembros de la OCDE, estimado en alrededor de 900 m³/hab” . (SEMARNAT ,2003).

“Sobre el relieve terrestre del estado de Quintana Roo casi no existen corrientes superficiales de agua. El líquido de la lluvia desaparece por absorción del suelo, el escurrimiento es nulo y la evaporación es máxima por la elevada temperatura. El agua que se filtra realiza un desgaste subterráneo; esta erosión ahueca las rocas del subsuelo llevando las partículas al fondo; provoca derrumbes en los trechos de menor resistencia y forma depósitos llamados cenotes, que son fuentes de abastecimiento de agua para los pobladores de esta región; Otros depósitos acuíferos temporales reciben el nombre de “sarteneja” agujeros naturales en las rocas que se llenan de agua durante la época de lluvias. Las “aguadas” depósitos naturales o artificiales, son lechos de antiguos cenotes o fosas cavadas por el hombre cuyas aguas se aprovechan durante la sequía. Cerca del mar existen ciénegas o lagunas saladas. Las “pozas” son consideradas como desembocaduras de ríos subterráneos. El único río de importancia en el Estado es el Hondo que sirve de límite con Belice; se considera que su lecho es el resultado de una falla geológica”.(A. Escobar Nava,1986)

1.2 Características organolépticas del agua.

Las medidas de calidad de agua pueden ser clasificadas de diferentes maneras, pero son comúnmente agrupadas como físicas, químicas y biológicas. Ejemplos de tales características son los sólidos suspendidos, olor, alcalinidad, dureza y demanda bioquímica de oxígeno.

“El agua puede ser im potable sin ser insípida e insípida sin ser im potable. Para que sea agradable el agua debe estar exenta de color, turbidez, sabor y olor; poseer una temperatura moderada en verano y en invierno y estar bien aireada. Cuando menos cuatro percepciones humanas responden a estas características: los sentidos de la vista (color y turbidez) ; gusto, olfato (olor); y tacto (temperatura). Si se considera como una

de sus cualidades el placentero sonido de las corrientes de agua la atracción sensorial es entonces completa”. (Fair, Geyer; 1996)

Las características de turbidez, color , sabor y olor del agua dependen totalmente del tipo de uso que se le quiere dar. Esto quiere decir que no para todo los tipos de usos van a ser importantes las siguientes características ya que para ciertos usos son mas importantes unas características que otras. Entre los diferentes usos se encuentran por ejemplo la agricultura, usos industriales (textil, alimentos, automotriz, siderurgia, etc.) y consumo humano.

Color y turbidez. “Por lo general, el color es de origen vegetal, como el te de las praderas que Thoreau vio en los arroyos de Nueva Inglaterra. Sin embargo el agua puedes ser coloreada también por los desechos industriales, hierro y manganeso en estado natural, y por los productos de la corrosión. Para ser agradable, tanto a los visitantes como a los nativos, el color de un agua debe ser tenue. Sin embargo, en el pasado, el color normal de un abastecimiento pudo ser muy fuerte sin provocar inquietud. Lo mismo puede decirse de la turbidez. Un agua lodosa por efecto de la arcilla en suspensión, es mas desagradable para aquellos que no viven donde, de acuerdo con Mark Twain, “ un vaso lleno de agua del río contiene un acre de tierra”. La turbidez proviene de la erosión de los bancos de arcilla, pero también de residuos industriales, productos de la corrosión, así como del crecimiento de algas y otros organismos del plancton”.

Sabores y olores. “Las palabras sabor y olor se usan frecuentemente en forma imprecisa e intercambiable . En realidad existen solo cuatro sabores-agrio, salado, dulce y amargo-percibidos únicamente por las papilas gustativas de la lengua. Los olores parecen ser innumerables y se sabe que cambian de características conforme varia la concentración del compuesto odorífero, o intensidad de su olor. Sin embargo, una clasificación cuidadosa de los olores indica que puede haber ciertos olores fundamentales, a partir de los cuales podrían componerse todos los demás. El menor número en cualquiera de las clasificaciones es cuatro: dulce o fragante, agrio o ácido, quemado o empireumático, y caprino o caprilico. El hombre percibe los olores a través de los nervios olfatorios expuestos en la parte alta de la nariz, pero protegidos por secreciones acuosas y aceitosas. Cilios diminutos o receptores, en forma de pelo,

sobrepasan las células que cubren las fibras del nervio olfatorio. Por consiguiente se supone que la percepción del olor requiere la absorción de las moléculas de las sustancias olorosas por la cubierta acuosa y aceitosa protectora del área olfativa; pero también se han sugerido otros mecanismos para la función olfativa.

Los sabores y olores están asociados con : 1) materia orgánica en descomposición; 2) algas y otros organismos microscópicos vivos que contienen aceites esenciales y otros compuestos olorosos; 3) hierro, manganeso y otros productos metálicos de la corrosión; 4) residuos industriales, particularmente sustancias ferricas; 5) cloro y sus compuestos de sustitución , que son desinfectantes, y 6) compuestos orgánicos sintéticos .El sabor metálico o ferruginoso del agua de los manantiales calientes fue descrito en forma imaginativa por Charles Dickens como el “sabor de planchas caliente”. En general, los sabores y olores no deberán ser suficientemente intensos como para causar una impresión sobre el consumidor sin que este los busque deliberadamente”. (Fair, Geyer; Purificación de aguas y tratamiento 1996)

1.3 Propiedades Físicas del agua

Densidad: 1 g./c.c. a 4°C

Punto de congelación: 0°C

Punto de ebullición: 100°C

Presión crítica: 217,5 atm.

Temperatura crítica: 374°C

Las constantes físicas del agua sirvieron para marcar los puntos de referencia de la escala termométrica Centígrada. A la presión atmosférica de 760 milímetros el agua hierve (**punto de ebullición**) a temperatura de 100°C . El **calor de vaporización** del agua asciende a 539 calorías/gramo a 100°. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4 °C y se expande al congelarse. Mientras que el hielo funde en cuanto se calienta por encima de su punto de fusión, el agua líquida se mantiene sin solidificarse algunos grados por debajo de la temperatura de cristalización (agua subenfriada) y puede conservarse líquida a -20° en tubos capilares o en condiciones extraordinarias de reposo. La solidificación del agua va acompañada de desprendimiento de 79,4 calorías por cada gramo de agua que se solidifica. Cristaliza en

el sistema hexagonal y adopta formas diferentes, según las condiciones de cristalización.

A consecuencia de su elevado calor específico y de la gran cantidad de calor que pone en juego cuando cambia su estado, el agua obra de excelente regulador de temperatura en la superficie de la Tierra y más en las regiones marinas.

El agua se comporta anormalmente; su presión de vapor crece con rapidez a medida que la temperatura se eleva y su volumen ofrece la particularidad de ser mínimo a la de 4°. A dicha temperatura la densidad del agua es máxima, y se ha tomado por unidad. A partir de 4° no sólo se dilata cuando la temperatura se eleva, sino también cuando se enfría hasta 0°: a esta temperatura su densidad es 0,99980 y al congelarse desciende bruscamente hacia 0,9168, que es la densidad del hielo a 0°, lo que significa que en la cristalización su volumen aumenta en un 9 por 100.

1.4 Propiedades Químicas del agua

El agua pura tiene la capacidad de disociarse en iones, por lo que en realidad se puede considerar una mezcla de: agua molecular (H_2O), protones hidratados (H_3O^+) e iones hidroxilo (OH^-). En realidad esta disociación es muy débil en el agua pura, y así el producto iónico del agua a 25° es: $K_w = [H^+][OH^-] = 1,0 \times 10^{-14}$

El pH indica la medida de la concentración de los cationes hidronios H^+ , libres en el agua. En función de las sustancias presentes y de su afinidad por los H^+ , el agua tendrá un pH u otro. El pH del agua en su estado natural de los ríos está entre 6,5 y 8. El agua es uno de los agentes ionizantes más conocidos.

Puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, se le conoce frecuentemente como el disolvente universal, esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias, ya que estas se disuelven cuando interaccionan con las moléculas polares del agua. El agua se combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de los metales formando ácidos.

Capítulo 2

Características del Agua Residual

“Las aguas residuales tienen un origen doméstico, industrial y, estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente, domésticas e industriales.

Las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga.

La descarga inadecuada de aguas residuales domésticas en medios de agua dulce y costeros puede dar lugar a diversos problemas”:

- agentes patógenos que pueden causar problemas a la salud humana, por la exposición en aguas de baño o por la contaminación de mariscos;
- sólidos en suspensión;
- aportes considerables de nutrientes;
- demanda bioquímica de oxígeno (DBO);
- plásticos y otros desechos marinos
- efectos en la población de ecosistemas, y
- metales pesados y otras sustancias tóxicas, como los hidrocarburos, en los casos en que fuentes industriales hayan descargado efluentes en los sistemas municipales de recolección. (PNUMA, 2004)

“Los efectos ambientales asociados con las descargas de aguas residuales domésticas suelen ser locales, con consecuencias transfronterizas en ciertas áreas geográficas. Los problemas relacionados con las aguas residuales en las zonas costeras del mundo entero presentan un gran número de características comunes. En consecuencia, las descargas de aguas residuales domésticas se consideran una de las amenazas más importantes para el medio costero de todo el mundo”.

“La contaminación que produce la industria es altamente variada dependiendo del giro que se trate. Puede producir contaminantes que tengan efectos tóxicos crónicos, aún cuando los descargue en pequeñas cantidades. Los índices de cadmio, plomo, arsénico y

selenio, son altos en aguas de descarga de las industrias metalúrgicas. Los fenoles que sirven de base para la fabricación de medicamentos, colorantes, explosivos, herbicidas, insecticidas, detergentes, desinfectantes que a demás son auxiliares en la industria textil y del cuero aparecen cada vez con mayor frecuencia”.

“La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO), y el Ph”.

“Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral”.

“La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO5 y DQO. La DBO5 es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. De modo similar, el DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de bicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO5 suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El pH mide la acidez de una muestra de aguas residuales”.

“Las aguas residuales municipales, también llamadas aguas negras son una mezcla compleja que contiene agua mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto

en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña y se expresa en mg/L, esto es miligramos de contaminante por litro de mezcla. Esta es una relación de peso/volumen que se emplea para indicar concentraciones de componentes en agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas. Puesto que la densidad relativa (DR) de estas soluciones es similar a la del agua, las concentraciones también se pueden considerar relaciones de peso/ peso, como mg/kg o ppm (partes por millón). Sin embargo, cuando la DR de la mezcla no es 1.0, mg/L y ppm no son términos distintos". (PNUMA)

2.1 Componentes de Aguas Residuales

Microorganismos:

“Dondequiera que hay alimento adecuado, suficiente humedad y una temperatura idónea, los microorganismos prosperan. Las aguas negras proporcionan un ambiente ideal para una inmensa colección de microbios, sobre todo bacterias, más algunos virus y protozoarios. La mayor parte de los microorganismos de las aguas residuales son inofensivos y se pueden emplear en procesos biológicos para transformar materia orgánica en productos finales estables. No obstante, las aguas negras también pueden contener patógenos (organismos causantes de enfermedades) provenientes de los excrementos de personas con enfermedades infecciosas susceptibles y transmitirse en el agua contaminada. Enfermedades bacterianas de transmisión por agua como el cólera, la tifoidea y la tuberculosis, o enfermedades virales como la hepatitis infecciosa y la disentería causada por protozoarios, rara vez constituyen un problema en la actualidad en los países desarrollados, sin embargo, todavía son una amenaza en los lugares donde no se dispone de agua tratada correctamente para uso público. Las pruebas para identificar los pocos patógenos que podrían estar presentes son difíciles y requieren tiempo, de modo que la práctica normal consiste en hacer pruebas para buscar otros organismos más abundantes que están presentes siempre (en número de miles de millones) en el intestino de los animales de sangre caliente, entre ellos los humanos”. (Glynn ; Heinke,1999)

Sólidos:

“Los sólidos totales (orgánicos mas inorgánicos) de las aguas residuales son, por definición, los residuos que quedan una vez que la partícula líquida se ha evaporado y el remanente se ha secado a peso constante a 103° C. se hace la distinción entre sólidos disueltos y sólidos no disueltos (esto es en suspensión) evaporando muestras de aguas residuales filtradas y sin filtrar. La diferencia de peso entre las dos muestras secas indica el contenido de sólidos en suspensión. A fin de clasificar aun mejor los residuos, se mantienen a 550°C durante 15 min. Se considera que las cenizas residuales representan los sólidos inorgánicos y que la pérdida de materia volátil es una medida del contenido orgánico”.

	Sólidos totales (residuo a 103°C)	Inorgánicos (residuo a 550° C)	Orgánicos (pérdida a 550°C)
Sin filtrar (en suspensión+disueltos)	Sólidos totales (ST)	Sólidos totales fijos	Sólidos totales Volátiles
Filtrada (disueltos)	Sólidos totales disueltos (STD)	Sólidos fijos disueltos	Sólidos volátiles disueltos
Por diferencia	Sólidos en suspensión (SS)		Sólidos Volátiles en suspensión.

Tabla 2 . Sólidos en aguas residuales (Glynn ; Heinke,1999)

“De las categorías que se muestran, los sólidos en suspensión (SS) y los sólidos volátiles (SV) son los mas útiles. Los SS y la DBO (demanda bioquímica de Oxígeno), se emplean como medidas de la concentración de las aguas residuales y del rendimiento del proceso. Los SV pueden ser un indicador del contenido orgánico del los residuos crudos y también proporcionan una medida de la población microbiana activa en los procesos biológicos”.

Componentes Inorgánicos. “Los componentes inorgánicos comunes de las aguas residuales incluyen los siguientes”:

Cloruros y Sulfatos: presentes normalmente en el agua y residuos generados por humanos.

Nitrógeno y Fósforo: en sus diversas formas (orgánicas e inorgánicas) en residuos de humanos, con fósforo adicional de los detergentes.

Carbonatos y bicarbonatos: normalmente presentes en el agua y en los residuos como sales de calcio y de magnesio.

Sustancias tóxicas: Arsénico, cianuro y metales pesados como Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn, pueden estar presentes en los residuos industriales.

Además de estos componentes químicos, la concentración de gases disueltos, en especial de oxígeno y la concentración de iones hidrógeno (expresada como pH) son otros parámetros de interés en las aguas residuales.

Materia Orgánica. “Las proteínas y carbohidratos constituyen el 90% de la materia orgánica de las aguas negras domésticas. Las fuentes de estos contaminantes biodegradables incluyen los excrementos y orina humanos, los residuos de alimentos de los fregaderos, el polvo y la suciedad procedente del baño y del lavado de ropa, mas varios jabones, detergentes y otros productos de limpieza”.

“Se utilizan diversos parámetros como medida de la concentración orgánica de las aguas residuales. Un método se basa en la cantidad de carbono orgánico (carbono orgánico total, o COT) presente en los residuos. El COT se determina midiendo la cantidad de CO₂ que se produce cuando el carbono orgánico de la muestra se oxida por medio de un oxidante fuerte y comparándolo con la cantidad que genera un estándar de COT conocido. En su mayoría los otros métodos se basan en la cantidad de oxígeno que se necesita para convertir el material oxidable presente, sirve como una medida relativa de la concentración de las aguas residuales. Los dos métodos de uso mas frecuente para determinar las necesidades de oxígeno de las aguas residuales son las pruebas de DQO y DBO. La demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales es la cantidad de oxígeno necesario para obtener químicamente las sustancias orgánicas presentes; la

demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad medida de oxígeno que requieren microorganismos aclimatados para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales”.

“La DBO es el parámetro más importante en el control de la contaminación del agua. Este dato se utiliza como una medida de la contaminación orgánica, como una base para estimar el oxígeno necesario para los procesos biológicos y como un indicador del rendimiento de los procesos”. (Glynn ; Heinke,1999)

Tipo de Característica	Características
Físicas	Color ,Odor, Sólidos , Temperatura
Químicas	<p>Orgánico: Carbohidratos, grasas, aceites, plaguicidas, fenoles, proteínas, surfactantes, compuestos orgánicos volátiles.</p> <p>Inorgánico: Alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, pH, fósforo, azufre.</p> <p>Gases: Sulfuro de Hidrogeno, metano, oxígeno.</p>
Biológicas	<p>Animales , plantas</p> <p>Protistas: Eubacteria, Archaeobacteria.</p> <p>Virus</p>

Tabla 3 . Características Físicas, Químicas y biológicas de aguas residuales.
(Metcalf & Eddy, 1991).

2.2 Fuentes de Aguas Residuales

Aguas residuales municipales: “Los residuos que excretan los humanos se conocen como aguas negras sanitarias. Las aguas residuales de áreas residenciales, que se describen como aguas negras domésticas, incluyen residuos provenientes de cocinas, baños, lavado de ropa y drenaje de pisos. Estas, junto con los residuos líquidos de los establecimientos comerciales e industriales, se designan como aguas residuales municipales. Estas normalmente se recogen en un sistema de alcantarillado público (alcantarillas, registros, estaciones de bombeo, etc.) y se envían a los centros de tratamiento para su eliminación sin peligro”. (Glynn ; Heinke,1999)

“La cantidad de aguas residuales municipales por lo común se determina a partir del uso de agua. Puesto que el agua es consumida por los humanos, se utiliza en productos industriales, se emplea como medio de enfriamiento, y es necesaria para actividades como el riego de prados y el lavado de calles; solo el 70% al 90% del agua suministrada llega a las alcantarillas. No obstante suele suponerse que la pérdida de agua se compensa por infiltración (fugas de aguas subterráneas hacia el sistema de alcantarillado a través de uniones defectuosas) o con aguas pluviales, que entran al sistema de alcantarillas sanitarias por conexiones ilícitas (bajadas pluviales de los techos y sumideros de caminos) o por las aberturas de los registros”.

“En Estados Unidos, el uso de agua municipal y el flujo de aguas residuales resultante varían desde alrededor de 280 L per capita por día en el caso de municipios residenciales pequeños hasta más de 900 lpd en las grandes ciudades industrializadas. Estos promedios diarios se basan en cantidades anuales. Sin embargo, los flujos varían día con día. De los municipios más grandes (500,000 habitantes) a los más pequeños (10,000 habitantes), los flujos, como porcentaje del promedio diario anual, pueden variar desde 50 a 30% por hora, en donde los extremos de cada caso (el segundo valor) se aplican al municipio más pequeño. La calidad de las aguas residuales municipales varía con la proporción de contribuyentes residenciales, comerciales e industriales y con la naturaleza de los residuos industriales que el sistema recibe. La concentración de contaminantes en las aguas negras de áreas residenciales se puede estimar con base en la contribución diaria per capita si se conoce el uso de agua”. (Glynn ; Heinke, 1999)

PARAMETRO									
	DBO ₅	SS	SD	DQO	COT	P ₁	P ₂	N ₁	N ₂
Per Capita									
g/día	76	90	180	128	54	1.6	4.0	16	0
Lb/día	0.17	0.20	0.40	0.28	0.12	0.003	0.009	0.035	0
Concentración									
Mg/L	190	225	450	320	135	4.0	10	40	0

Tabla 4. Características de las aguas negras domesticas con base en contribuciones típicas per capita de las aguas residuales. (Glynn ; Heinke,1999)

“El peso seco total de los componentes de las aguas residuales de áreas residenciales es relativamente constante, pero su concentración varia con la cantidad de agua que se utiliza. A medida que la comunidad aumenta de tamaño y se diversifica, la adición de contaminantes procedentes de establecimientos comerciales e industriales modifica las características de las aguas residuales”.

Aguas residuales industriales: “Las aguas residuales de las industrias incluyen los residuos sanitarios de los empleados, los residuos de los procesos derivados de la manufactura, aguas de lavado y aguas relativamente contaminadas procedentes de las operaciones de calentamiento y enfriamiento. Las aguas residuales de los procesos son las que causan más preocupación, y varían con amplitud según el tipo de industria. En ciertos casos puede ser obligatorio un tratamiento previo para quitar ciertos contaminantes o una compensación para reducir la carga hidráulica a fin de que las aguas residuales sean aceptables en el sistema municipal. En contraste con las cualidades relativamente congruentes de las aguas negras domesticas, las aguas residuales industriales suelen tener características muy variadas, incluso cuando las industrias son similares. Por esta razón, es posible que se requieran estudios extensos para valorar los requisitos de pretratamiento y el efecto de las aguas residuales en los procesos biológicos”.

“Los residuos son específicos de cada industria y varían desde fuertes residuos biodegradables (de DBO₅ alta) como los que proceden del empacado de carnes, hasta residuos como los de talleres de recubrimiento con metales y de fabricas textiles, los cuales pueden ser inorgánicos y tóxicos y requerir un tratamiento físico y químico local

antes de su descarga al sistema municipal. El volumen o concentración de las aguas residuales industriales suele compararse con la de las aguas negras domesticas en términos de un equivalente de población (EP) , con base en contribuciones per capita representativas”.

Tabla 5. Industria. “Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante”. (Ceit, 2004)

Sector industrial	Substancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoniaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

Agua pluvial : “El desagüe de la precipitación pluvial, de la fusión de la nieve y del lavado de calles esta menos contaminado que las aguas residuales municipales, razón por la cual recibe poco o ningún tratamiento antes de su descarga en colectores de agua de lluvia (para su liberación directa en aguas receptoras), o antes de combinarlo con las aguas residuales municipales para entregarlo a la planta de tratamiento de aguas residuales”.

“La cantidad de desagüe de aguas pluviales de un municipio varía en gran medida con la época del año, el tipo de terreno y la intensidad y duración de las tormentas que se producen. Si se excluyen las áreas desérticas existe un intervalo de variación de 250 a 2,000 mm de precipitación anual en todo el continente de América. En áreas templadas, por ejemplo de 750 a 900 mm de precipitación pluvial por año, el desagüe de agua pluvial por año, el desagüe de agua pluvial equivaldría a cerca del 25% del volumen total anual de aguas residuales municipales. Sin embargo, durante una tormenta el régimen de desagüe de agua pluvial es en muchos casos de varias veces, y en ocasiones hasta 100, el flujo normal hacia las alcantarillas sanitarias. Esto explica porque, para reducir al mínimo la posibilidad de retorno de agua en las alcantarillas e inundación en sótanos, se debe prohibir la admisión de aguas pluviales en un sistema de alcantarillas sanitarias independiente”.

“De la precipitación pluvial total por año en el mundo, quizá dos tercios se pierden por evaporación y transpiración, y el resto queda almacenado como aguas superficiales y aguas subterráneas. Incluso durante las tormentas, no toda el agua de lluvia se convierte en desagüe. La proporción que lo hace varía alrededor del 20% en parques y prados hasta el 100% en techo y áreas pavimentadas. Un valor medio global para un municipio puede estar entre el 30 y el 50% durante las tormentas intensas”.

“El desagüe de agua pluvial, en particular en las ciudades contiene aceite, grasa, polvo y otros particulados procedentes de caminos, hojas de árboles, recortes de hierba de prados y parques, así como precipitación de contaminantes del aire. La concentración de estos contaminantes es mas alta cuando los mismos son arrastrados inicialmente al sistema de alcantarillado durante las primeras etapas de la precipitación y después disminuye conforme la lluvia continua”.

Capítulo 3

Humedales Naturales

3.1 Definición de Humedales Naturales

“No es fácil definir los humedales dado que van desde terrestres a acuáticos y debido a que muchos son dinámicos en regímenes de agua varían en patrones de vegetación y de fauna. Algunos varían de manera impredecible y dramática por temporada o por año, muchos también están sujetos a variaciones a largo plazo debido a patrones y ciclos climáticos de gran escala”. (Weller, Milton W. 1999)

“Además de la presencia de agua no muy profunda, otras dos características importantes de los humedales son la presencia periódica de plantas adaptadas al agua (hidrofitas), que varían desde musgos hasta árboles gigantes y suelos inundables, con propiedades bioquímicas influenciadas por condiciones anaeróbicas de inundación”.

“La clasificación de humedales que hace Cowardin et al (1979) es una de las más populares a nivel mundial, involucra a cinco sistemas (no confundir con ecosistemas) delimitados en la mayoría de los casos por zonas altas en el lado somero y por la profundidad del agua, fuentes de salinidad y patrones de vegetación en la porción más profunda. Los cinco sistemas son Marinos (Agua salina costera somera), Estuario (Agua ligeramente salina costera), Lacustre (relativamente somera, lagos de agua dulce o sus márgenes), palustre (agua fresca de esteros o aguas salinas de tierra adentro) y Rivera (se refiere a aquellos humedales encontrados solo dentro del canal del río, opuesto a aquellos humedales formados por ríos). Las subdivisiones jerárquicas dentro de cada sistema incorporan términos que ayudan a describir la estructura del hábitat o la vegetación del tipo de humedal. (Weller, Milton W. 1999).

Definición

En el párrafo 1 de la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) la expresión "humedales" se define como sigue:

"A los efectos de la presente Convención son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros".

La definición de los humedales consta de tres elementos principales:

- 1) Los humedales se caracterizan por la presencia de agua.
- 2) Los suelos de los humedales suelen poseer características propias que los distinguen de las tierras secas adyacentes.
- 3) Los humedales sustentan una vegetación adaptada a las condiciones de humedad (plantas hidrófitas).

El párrafo 1 del artículo 2 estipula que los humedales:

"podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal". (Ramsar, 2004)

"Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más importantes del planeta. Aunque es reconocido su valor para la protección de la pesca y fauna silvestre en general, algunos de sus otros beneficios no habían sido identificados sino hasta recientemente".

"Mitsch y Gosselink (1993) describen a los humedales como " los riñones del planeta" por el papel que desempeñan dentro de los ciclos químicos e hidrológicos, y porque funcionan como receptores de desperdicios, ya sean de origen natural o humano. Éstos actúan limpiando las aguas contaminadas, previniendo inundaciones, estabilizando la línea costera y como recarga de acuíferos subterráneos".

Además, los mismos autores consideran, que los humedales son valiosos como fuente de una gran cantidad de material químico, biológico y genético, y tienen funciones de retención tanto de nutrientes, como de sedimentos y contaminantes; y sirven como estabilizadores de las condiciones climáticas locales, particularmente lluvias y temperatura". (DUMAC, 2003)

3.2 Sistemas de Clasificación de Tipos de Humedales

"Dado los muchos tipos de humedales, un primer paso importante en el estudio científico es dividirlos en tipos similares de humedales. Cada tipo puede ser visualizado como un conjunto particular de asociaciones entre plantas y animales. Esta recurrencia probablemente significa que los mismos factores causantes y relaciones ecológicas similares ocurren dentro de cada tipo. Desafortunadamente la terminología para describir humedales varía tanto en sociedades humanas y entre sus comunidades científicas". (Keddy, Paul A.2000)

"Uno de los sistemas de clasificación simple solo reconoce cuatro tipos de humedales, los cuales son pantanos, esteros, turberas altas y turberas bajas".

Pantano : Una comunidad de humedal que es dominada por árboles cuyas raíces se encuentran en suelos inundados pero no en turbas. Ejemplos incluyen a los pantanos tropicales de manglares (mangle) y bosques con suelo de fondo y planicies inundables.

Estero (marsh): Una comunidad de humedal que es dominada por plantas herbáceas que usualmente emergen sobre el agua y tienen raíces en suelos inundados pero no en turbas. Ejemplos incluyen a los esteros alrededor de los Grandes Lagos y lechos de juncos alrededor del Mar Báltico.

Turba alta (bog): una comunidad de humedal dominada por musgo, arbustos o árboles perennifolios con raíces en turbas profundas. Ejemplos incluyen trampales en laderas de montañas de Europa y trampales flotantes que cubren las orillas de muchos lagos en regiones templadas y boreales.

Turba Baja (Fen): Una comunidad de humedales dominada por pastos con raíces en turbas no profundas, frecuentemente con considerable movimiento de agua a través de

la turba. Estos tipos de humedales se pueden encontrar en el Norte de Canadá y Rusia". (Keddy, Paul A. 2000)

Los códigos siguientes se basan en el Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales aprobado en la Recomendación 4.7, enmendada por la Resolución VI.5 de la Convención de Ramsar. Las categorías enumeradas a continuación sólo tienen por objeto aportar un marco muy amplio que facilite la identificación rápida de los principales hábitat de humedales representados en cada sitio. (Ramsar, 2004)

Humedales marinos y costeros

A -- **Aguas marinas someras permanentes**, en la mayoría de los casos de menos de seis metros de profundidad en marea baja; se incluyen bahías y estrechos.

B -- **Lechos marinos submareales**; se incluyen praderas de algas, praderas de pastos marinos, praderas marinas mixtas tropicales.

C -- **Arrecifes de coral**.

D -- **Costas marinas rocosas**; incluye islotes rocosos y acantilados.

E -- **Playas de arena o de guijarros**; incluye barreras, bancos, cordones, puntas e islotes de arena; incluye sistemas y hondonales de dunas.

F -- **Estuarios**; aguas permanentes de estuarios y sistemas estuarinos de deltas.

G -- **Bajos intermareales de lodo, arena o con suelos salinos** ("saladillos").

H -- **Pantanos y esteros** (zonas inundadas) intermareales; incluye marismas y zonas inundadas con agua salada, praderas halófilas, salitrales, zonas elevadas inundadas con agua salada, zonas de agua dulce y salobre inundadas por la marea.

I -- **Humedales intermareales arbolados**; incluye manglares, pantanos de "nipa", bosques inundados o inundables mareales de agua dulce.

J -- **Lagunas costeras salobres/saladas**; lagunas de agua entre salobre y salada con por lo menos una relativamente angosta conexión al mar.

K -- Lagunas costeras de agua dulce; incluye lagunas deltaicas de agua dulce.

Zk -- Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, marinos y costeros.

Humedales continentales

L -- Deltas interiores (permanentes).

M -- Ríos/arroyos permanentes; incluye cascadas y cataratas.

N -- Ríos/arroyos estacionales/intermitentes/irregulares.

O -- Lagos permanentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye meandros o brazos muertos de río.

P -- Lagos estacionales/intermitentes de agua dulce (de más de 8ha); incluye lagos en llanuras de inundación.

Q -- Lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos.

R -- Lagos y zonas inundadas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos.

Sp -- Pantanos/esteros/charcas permanentes salinas/salobres/alcalinos.

Ss -- Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos.

Tp -- Pantanos/esteros/charcas permanentes de agua dulce; charcas (de menos de 8 ha), pantanos y esteros sobre suelos inorgánicos, con vegetación emergente en agua por lo menos durante la mayor parte del período de crecimiento.

Ts -- Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes de agua dulce sobre suelos inorgánicos; incluye depresiones inundadas (lagunas de carga y recarga), "potholes", praderas inundadas estacionalmente, pantanos de ciperáceas.

U -- Turberas no arboladas; incluye turberas arbustivas o abiertas ("bog"), turberas de gramíneas o carrizo ("fen"), bofedales, turberas bajas.

Va -- Humedales alpinos/de montaña; incluye praderas alpinas y de montaña, aguas estacionales originadas por el deshielo.

Vt -- **Humedales de la tundra**; incluye charcas y aguas estacionales originadas por el deshielo.

W -- **Pantanos con vegetación arbustiva**; incluye pantanos y esteros de agua dulce dominados por vegetación arbustiva, turberas arbustivas ("carr"), arbustales de *Alnus sp*; sobre suelos inorgánicos.

Xf -- **Humedales boscosos de agua dulce**; incluye bosques pantanosos de agua dulce, bosques inundados estacionalmente, pantanos arbolados; sobre suelos inorgánicos.

Xp -- **Turberas arboladas**; bosques inundados turbosos.

Y -- **Manantiales de agua dulce, oasis**.

Zg -- **Humedales geotérmicos**.

Zk(b) -- **Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos**, continentales.

Nota: "**llanuras de inundación**" es un término utilizado para describir humedales, generalmente de gran extensión, que pueden incluir uno o más tipos de humedales, entre los que se pueden encontrar R, Ss, Ts, W, Xf, Xp, y otros (vegas/praderas, savana, bosques inundados estacionalmente, etc.). No es considerado un tipo de humedal en la presente clasificación. (Ramsar, 2003)

Históricamente las zonas húmedas costeras (áreas palustres, como ciénegas, pantanos y selva baja inundable), así como los esteros y las rías, han presentado solo áreas insalubres y precarias que deben ser rellenados y convertidos en tierras económicamente productivas. Debido a este punto de vista, su alta tasa de desaparición en los últimos años es una característica del impulso económico que se le da a las regiones costeras.

Los humedales contienen algunos de los ecosistemas mas productivos que existen y desempeñan una variedad de funciones naturales útiles para la humanidad. Son además uno de los habitats mas amenazados, por su vulnerabilidad y por el atractivo que ofrecen para los planes de "desarrollo". La primera convención mundial dedicada a la conservación, la Convención de Ramsar, se centro exclusivamente en los humedales y recientemente se ha reforzado y perfeccionado, abarcando ahora la explotación racional de todos estos tipos de tierras, y no solo las que gozan de protección jurídica.

Los humedales deben su importancia, mundialmente reconocida, a sus atributos que independientemente de su belleza, son catalogados como zonas de migración invernal de aves acuáticas, de playa y migrantes neotropicales además de ser zonas de crianza y reproducción de especies de pesca comercial y autoconsumo y de especies de alto valor ecológico y comercial como el cocodrilo; así también, representa un ambiente propicio para la práctica del ecoturismo y es la base o infraestructura requerida para el sustento del atractivo natural que permite el turismo convencional. Esto significa que lejos de ser tierras pobres, pueden desempeñar toda una serie de funciones útiles y proporcionar bienes y servicios a los seres humanos, lo contrario a lo que la mayoría de la gente cree.

3.3 Factores que influyen en la formación de humedales

“Uno esperaría encontrar más humedales donde hay una mayor precipitación, pero la presencia de los humedales está influenciada por las formaciones del suelo o la estructura de suelo que atrapa la humedad. Así como las decenas de miles de humedales pequeños, estanques y lagos en la región de pradera de la parte Norte de los E.U. y el Sur de Canadá son resultado más de la formación del suelo ondulatorio provocado por los glaciares que por la precipitación. Debido a varias profundidades de represa, el número y el tamaño de los humedales varían en respuesta al ciclo de precipitación, influenciado especialmente por las nevadas del invierno y lluvias de primavera. En regiones donde la topografía crea represas más grandes y profundas, la vegetación de tipo estero es formada. Las montañas en el Este de los E.U. influyen en un escurrimiento hacia las planicies costeras, lo cual resulta en menos pero más grandes y permanentes pantanos. En áreas de baja precipitación y alta evaporación, como en el Oeste de los E.U. y otras planicies áridas y represas del mundo, los humedales pueden ser muy grandes pero varían en tamaño con la cantidad de nieve acumulada en montañas altas la cual se derrite en esa temporada. Los lagos tienden a formarse en valles entre las elevaciones de las montañas hasta que el desagüe se desarrolle, y estas pueden formar estanques cerrados donde el agua se acumula y se evapora”. (Weller, Milton W. 1999).

“Las fuerzas de ríos son grandes creadores de humedales a través de corrientes dispersas que pueden formar ríos y lagos. Los humedales de ribera son inducidos por deposición de sedimentos, formando paredes de retención en las que atrás se forman pantanos en las zonas bajas. Los valles son más amplios cerca del mar, la corriente es

mas lenta excepto en inundaciones, y los meandros son mayores. Hay varios sistemas de clasificación de ríos en uso; el sistema Cowardin utiliza un parámetro común: Perennes bajos para áreas de canales de río amplio cerca del mar al contrario que Perennes altos o Intermitentes para corrientes estrechos de tierras altas u otros canales con flujos temporales. Algunos ejemplos de otros países demuestran la importancia de humedales de ribera para la sociedad y las influencias fisiográficas sobre regimenes de agua". (Weller, Milton W. 1999).

"Donde los ríos se encuentran con el mar (Estuarios), la acumulación de arena y el aluvión forman esteros. La mayoría de las costas de Lousiana caen en esta categoría debido a los grandes flujos del Missouri, Illinois, Ohio y muchas otras corrientes que forman y desembocan con el gran Río de Mississippi. También la modificación de estos flujos gracias a las represas que le quitan al delta una gran cantidad de aluvión en el cual pueden crecer una gran cantidad de plantas. Como resultado de esto y otros cambios inducidos por los humanos la perdida de esteros en Lousiana esta estimado en aproximadamente 40 millas cuadradas por año". (Weller, Milton W. 1999)

"Otros humedales a lo largo de la costa también son un producto final de la arcilla, aluvión y arena que son producto de los ríos y que es trasladada hacia el mar y redistribuida a lo largo de la costa en la dirección de los vientos y corrientes. De manera más directa la deposición de arena y aluvión forma puntos e islotes que tienen una función de barrera y a su vez crean bahías, estuarios y lagunas. Estos mismos patrones detienen el flujo y canales hechos por otras fuerzas como huracanes y tormentas severas de invierno. Al paso del tiempo y frecuentemente con cambios en el nivel del mar y el clima, las partículas pueden ser depositadas para formar playas". Weller, Milton W. 1999)

"Las estructuras de playa y cerros también son una gran influencia en la formación de humedales a diferentes escalas a lo largo de lagos como los Grandes Lagos de Norte América. En los estados fronterizos y provincias (entre E.U. y Canadá), los cuales eran una ves parte del post-glacial Lago Agassiz, el declive del lago dejo playas ancestrales las cuales son atravesadas por grandes pistas sin darse cuenta de su existencia, historia o formación y las grandes áreas de humedales en estas playas". (Weller, Milton W. 1999)

“Las costas marinas pueden demostrar un perfil diferente en cuanto a los materiales y la pendiente de la línea costera que afectan el tiempo de permanencia del agua de marea. Las características del sustrato afectan el tiempo de retención del agua en la arena, aluvi6n o lodo y determina que tan apto es para presas como almejas y gusanos, lo cual influye de gran manera en la composici6n y densidad de especies de aves que se encuentran en los humedales”.

“Una regi6n de humedales 6nica es la tundra costera del 6rtico, la cual muestra la importancia de influencias f6sicas en el desarrollo de humedales. Estos humedales abiertos y someros son formados por el derretimiento de permafrost debido al sol en cualquier tipo de sustrato donde el agua obtenga calor. Una vez formado, estos tienden a aumentar de tama1o debido al derretimiento del sustrato y por la erosi6n provocada por el viento. Una vez que el agua se estanca sigue la evaporaci6n y por lo tanto pocas plantas crecen en el agua, pero la acumulaci6n de turba forma sustratos ricos en invertebrados y por lo tanto es atractivo para aves rasadoras”.

“El proceso geol6gico que forma humedales y lagos tambi6n incluye fuerzas tect6nicas tales como grandes fuerzas que le dan forma a la tierra; los terremotos y actividad volc6nica pueden ser algunos ejemplos. Algunos pantanos de cipr6s de tierra adentro (Lago Reelfoot, Tennessee y el Lago Caddo , Texas) pudieron haber sido formados por terremotos tan reci6ntemente como en los 1800. Los terremotos han modificado 6reas extensas de humedales en el delta del Ri6 Copper en Alaska. Lagos con 6reas de humedales asociadas han sido formadas por actividad volc6nica en las Islas Gal6pagos al igual que se han perdido y desarrollado de nuevo en el terremoto del Monte St. Helen en el Sur de Washington , E.U”. (Weller, Milton W. Wetland Birds. 1999).

“Las fuerzas biol6gicas tambi6n tiene una influencia y en algunos casos de hecho forman abundantes e importantes humedales locales. El animal m6s com6n que forma humedales es el castor, el cual habita en gran parte de los Estados Unidos y puede tener impactos mayores en sistemas de peque1as corrientes. Los castores no son muy populares ya que matan 6rboles a trav6s de inundaciones y cort6ndolos, pero esto es parte de un proceso de sucesi6n que produce otras especies de plantas de humedales en las 6reas que resultan inundadas. Los lagartos de esteros del sur de E.U. crean aberturas en la vegetaci6n herb6cea y caban agujeros que influyen de gran manera en la presencia

de agua y en el potencial de supervivencia de peces, culebras y anfibios, al igual que insectos en tiempos de sequía”. (Weller, Milton W. Wetland Birds. 1999)

“La reproducción de las mismas plantas provee un mecanismo de retención de agua a través del desarrollo de suelos orgánicos húmedos. Las turbas altas “crecen” en sustratos que retienen agua, a veces formando islas con fosos de agua alrededor. Un proceso similar pero mas dinámico es el proceso de desarrollo de islas flotantes de pastos, comunes en etapas de inundación de esteros herbáceos o pantanos, islotes de arboledas, que también incluyen plantas herbáceas (Everglades, Florida) y manglares tropicales, que pueden establecerse en tales islotes”. (Weller, Milton W. 1999)

De esta manera los humedales son producto de muchos procesos biológicos y físicos al igual que de eventos a varias escalas de manera continua. El impacto del desarrollo del humano a menudo a cambiado muchos de los parámetros que influyen y especialmente la razón a la cual se dan los cambios. Una vez que los humedales se han formado, muchos factores influyen en la integridad, resiliencia y existencia de estas comunidades bióticas; su productividad influye en que tipo de fauna lo utilice, en que temporada y porque tiempo.

3.4 Suelos de los humedales

Los suelos de los humedales son el medio en el que se llevan a cabo muchas de las transformaciones químicas en los humedales y también son el almacenamiento primario de químicos disponibles para las plantas de los humedales. Estos suelos son a menudo descritos como “suelos hídricos”, definido por el U.S Department of Agriculture’s Natural Resources Conservation Service (NRCS) como suelos que se forman en condiciones de saturación, inundación y estancado durante el tiempo suficiente para desarrollar condiciones anaeróbicas. Los suelos de humedales son de dos tipos: (1) Suelos Minerales o (2) Suelos Orgánicos. La mayoría de todos los suelos tienen material orgánico; pero cuando un suelo tiene menos de 20 a 35 % de materia orgánica, se le considera como suelo mineral.

Suelos orgánicos y materiales de suelos orgánicos son definidos bajo las dos condiciones de saturación:

1. Los suelos están saturados por largos periodos o son drenados artificialmente y, excluyendo raíces vivas, (a) tienen 18% o más de carbono orgánico si la fracción mineral es 60% o más de barro, (b) tienen 12 % o más de carbono orgánico si la fracción mineral no tiene barro, o (c) tiene un contenido proporcional de contenido de carbón orgánico entre 12 y 18 % si el contenido de barro de la fracción mineral esta entre 0 y 60 %.

2. Los suelos nunca están saturados por más de unos cuantos días y tienen 20% o más de carbono orgánico.

Para una estimación de carbono orgánico cuando se conoce el contenido de materia orgánica,

$$\% \text{ Corg} = \% \text{ OM} / 2$$

Donde %Corg = porcentaje de carbón orgánico

 %OM = porcentaje de materia orgánica

Cualquier material de suelo que no este incluido en la definición anterior es considerado material de suelo mineral. Donde los suelos minerales se encuentran en humedales tales como esteros de agua dulce o humedales con arboledas, estos generalmente tiene un perfil de suelo hecho de horizontes, o capas. La capa superior de los suelos minerales de humedales es a menudo turba orgánica compuesta de material de plantas parcialmente en descomposición.

A pesar de que la definición de suelo orgánico es aplicable a muchos tipos de humedales, particularmente para turbas en el Norte, turba, un término genérico para suelos orgánicos relativamente sin descomposición, no es tan estrictamente definido. La mayoría de las turbas contienen menos del 20% materia orgánica no quemable (y por lo tanto usualmente contiene más de 80% de material orgánico quemable, el cual es aproximadamente 40% de carbono orgánico).

Los suelos orgánicos son diferentes a los suelos minerales en muchas características fisicoquímicas, más que solo en sus diferencias de porcentaje de carbono orgánico.

1. Densidad y porosidad de material: Los suelos orgánicos tienen densidades de material más bajas y capacidades para retención de agua más altas a diferencia de los suelos minerales. La densidad del material es definida como el peso seco del material de suelo por unidad de volumen, este es generalmente 0.2 a 0.3 g/cm³ cuando el suelo orgánico está bien descompuesto, aunque los suelos de turbas están compuestos por musgos sphagnum, estos pueden ser extremadamente ligeros con densidades tan bajas como .04 g/cm³. La densidad del material en suelos orgánicos es baja debido a su alta porosidad o porcentaje de espacio de poros. Los suelos de turba generalmente tienen por lo menos 80% de espacio de poros y son por lo tanto 80% agua en volumen cuando están inundados. Los suelos minerales generalmente van desde 45% a 55% de espacio total de poros, a pesar de la cantidad de barro o de su textura.

2. Conductividad Hidráulica: Los suelos minerales y orgánicos tienen amplios rangos de posible conductividad hidráulica; todo esto depende en su grado de descomposición. Los suelos orgánicos pueden retener más agua que los suelos minerales, pero dada las mismas condiciones hidráulicas, no necesariamente permiten pasar el agua más rápidamente.

3 Disponibilidad de Nutrientes: Los suelos orgánicos generalmente tienen más minerales en forma orgánica no disponible para plantas que los suelos minerales. Esto debido a que gran porcentaje del suelo es material orgánico. Sin embargo, esto no significa que hay más total de nutrientes en suelos orgánicos. Por ejemplo, los suelos orgánicos pueden ser extremadamente bajos en fósforo biodisponible o en contenido de hierro, lo suficiente para limitar la productividad de las plantas.

4. Capacidad de Intercambio de Cationes: Los suelos orgánicos tienen una mayor capacidad de intercambio de cationes, definida como la suma de los cationes intercambiables (iones positivos) que un suelo puede retener. Los suelos minerales tienen una capacidad de intercambio de cationes que es dominada por los cationes metales principales (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺). Mientras va incrementando el contenido orgánico, el porcentaje al igual que la cantidad de iones hidrogeno intercambiables

umenta. Para los musgos de turba , la alta capacidad de cationes es causada por polimeros de cadena larga de ácido urónico.

3.4.1 Suelo Orgánico de Humedal

El suelo orgánico esta compuesto principalmente de residuos de plantas en varias etapas de descomposición y se acumula en los humedales como resultado de las condiciones permanentes de agua o condiciones de un mínimo drenaje. Dos de las características más importantes del suelo orgánico, son el origen botánico del material orgánico y el grado a el que este es descompuesto. Algunas de las propiedades mencionadas anteriormente, como densidad, capacidad de intercambio de cationes, conductividad hidráulica y porosidad, son comúnmente dependiente a estas dos características. Por lo tanto es normalmente posible predecir el rango de las propiedades físicas de un suelo orgánico si el origen y el estado de descomposición pueden ser observados en el campo o en el laboratorio.

Origen botánico: el origen botánico del material orgánico puede ser (1) musgos (2) material herbáceo y (3) madera y desecho de hojas. Para la mayoría de las áreas de turba del norte, el musgo es usualmente sphagnum, aunque otras especies de musgos pueden dominar si la turba esta recibiendo afluentes de agua mineral. Los suelos orgánicos se pueden originar de pastos herbáceos como phragmites y arroz silvestre (zizania). Los suelos orgánicos también pueden ser producidos en esteros de agua dulce por fragmentos de o tro tipo de plantas como el lirio acuático (Nymphaea) y la espadaña (Typha). En humedales forestados, la turba puede resultar de detritus de madera o de material de hojas.

Descomposición: El estado de descomposición o humificación de los suelos de humedales es la segunda característica clave de la turba orgánica. A manera que la descomposición avanza de manera lenta en condiciones inundadas, la estructura de la planta es cambiada física y químicamente. Mientras la turba se descompone, la densidad incrementa, la conductividad hidráulica disminuye y la cantidad de partículas grandes de fibra disminuye. Químicamente la cantidad de material soluble en solventes no polares y lignina incrementa con la descomposición, mientras los compuestos de

celulosa y pigmentos de planta disminuyen. Cuando algunas plantas de humedales mueren tales como los pastos de esteros salinos, el detrito rápidamente pierde un gran porcentaje de sus compuestos orgánicos a través de filtración. Se piensa que estos compuestos orgánicos ya solubles están listos para ser metabolizados en sistemas acuáticos adyacentes.

Suelos Minerales de humedales

Los suelos minerales al estar inundados por largos periodos, desarrollan ciertas características que los permiten clasificar. Estas características son llamadas colectivamente redoximorficas, definidas como características formadas por la reducción, translocación, y/o la oxidación de hierro y óxidos de manganeso.

El desarrollo de estas características redoximorficas en suelos minerales es mediado por procesos microbiológicos. La razón a la que son formadas depende de tres condiciones de las cuales todas deben estar presentes:

1. Condiciones anaeróbicas sostenibles.
2. Suficiente temperatura del suelo (5°C es a menudo considerado "cero biológico" debajo de la cual la actividad biológica se detiene o se vuelve mas lenta).
3. Materia orgánica, la cual sirve como sustrato para la actividad microbial.

3.5 Vegetación de los Humedales

La vegetación típicas de los humedales son plantas hidrofíticas, las cuales poseen unas adaptaciones morfológicas o fisiológicas que les permiten crecer y sobrevivir en agua o en suelos que periódicamente se encuentran en condiciones anaeróbicas. Muchas de ellas tienen estrategias reproductivas únicas que les permiten desarrollarse exitosamente en este ambiente. Algunas cuentan con células especializadas en las raíces las cuales le permiten bloquear la entrada de sales, otras son capaces de secretar las sales incorporadas a través de glándulas secretoras en la base de las hojas. Estas adaptaciones le permiten a estas especies colonizar los pantanos inundados por las mareas. Algunas especies necesitan suelos húmedos permanentemente o temporalmente para poder sobrevivir por lo que se conoce como una especie obligada. Estas plantas se encuentran

en el 95% en los humedales. Otras especies pueden crecer tanto en los humedales como en lugares que no lo son, por lo que son facultativas y generalmente están representando el 33-66% en los humedales.

3.6 Humedales y el hombre

Desde los tiempos más remotos, la gente ha utilizado la variadísima fauna y flora de los humedales para subsistir: para obtener alimentos, combustibles y las materias primas necesarias para construir viviendas, vestirse, adornarse y obtener otras posesiones personales. Las osamentas de elefantes de los marjales de Torralba, España, y las largas lanzas de madera halladas en Schoningen, Alemania, muestran claramente que nuestros remotos antepasados del Paleolítico temprano ya se dedicaban a cazar en los humedales. En las cataratas de Kalambo, del lago Tanganika, se ha conservado bien restos de maderas y plantas que nos recuerdan que los primeros seres humanos ya obtenían alimentos vegetales y otros recursos de humedales.

Poco después de que concluyese el último periodo glaciario, yacimientos arqueológicos del Japón muestran que cada vez se utilizaban más los recursos de los humedales. El sitio de Awazu en el lago Biwa (un sitio Ramsar) está formado en lo esencial por un vertedero de restos de mariscos, y otros restos de castañas de agua, carpas y siluros, tortugas y patos indican que esos alimentos procedentes de humedales constituían una parte considerable de la dieta de quienes habitaban en la zona.

Distintos sitios de América del Norte y Europa septentrional muestran que los seres humanos pescaban en humedales aproximadamente en la misma época.

En la costa noroccidental de América del Norte, en el río Hoko, se han hallado en excavaciones recientes maderas alabeadas y anzuelos formados por distintos materiales de 3.000 años de antigüedad, y los ensayos de pesca efectuados por arqueólogos y ancianos de la tribu makah han demostrado que los anzuelos de madera alabeada se utilizaban para pescar bacalao del Pacífico y los formados por distintos materiales para capturar peces planos. En Friesack, Alemania, se utilizaban redes, y dos esqueletos de lucio hallados en Kunda, Estonia, con puntas de flecha de hueso clavadas en ellos, indican que se atrapaban peces con flechas o arpones. En Usvyaty, Rusia noroccidental,

se han hallado restos similares a los de Awazu: castañas de aguas y varias especies de peces, entre ellas, carpas, lucios, luciopercas y bramas.

Desde épocas remotas se han cazado aves de humedales para alimentarse de ellas, utilizando redes, arcos y flechas, felinos amaestrados y aves de presa, entre otras muchas técnicas. En los bajo relieves del templo de Esna, del Egipto de la quinta dinastía, aparecen pintados métodos complejos de captura de aves acuáticas, entre ellos el empleo de ocas domesticadas como cebos y señuelos fabricados con arcilla y hoja para atraer a aves migratorias hacia cazadores ocultos.

Más recientemente, la difusión de la caza recreativa, especialmente en el mundo desarrollado, ha suscitado preocupación por la sostenibilidad de las prácticas de caza y la necesidad de mantener los ecosistemas de humedales. Las asociaciones de cazadores han ayudado a menudo a sostener las poblaciones de aves silvestres y su entorno de humedal.

Asimismo, los primeros agricultores utilizaron los humedales, sobre todo en las regiones tropicales y subtropicales, a menudo, aunque no siempre, de manera sostenible. En Belice y Guatemala, los mayas drenaban y cultivaban suelos de humedales hace unos 3.000 años. En Papua Nueva Guinea, las investigaciones efectuadas a lo largo del río Wahgi, en las tierras altas, han aportado pruebas de épocas anteriores: hace 9.000 años se construyeron sistemas de acequias y montículos del tamaño de un huerto para cultivar distintas plantas y hace aproximadamente unos 2.000 años el sistema había sido convertido en una producción más intensiva de tala de humedales. En el Japón, hace por lo menos 2.500 años se cultivaban humedales entre otras técnicas de aprovechamiento de recursos silvestres y se establecían arrozales en pantanos, con sumideros y empalizadas de madera y banales forrados de madera. En la Europa medieval, se drenaron parcialmente muchos humedales para mejorar el pastoreo y poder producir heno; en marismas, las ovejas podían pastar a salvo de la distomatosis parásita.

Otras materias primas de los humedales son las arcillas y turbas que se acumulan en condiciones de humedad y anegamiento. En Dolni Vestonice, República Checa, se han hallado figuritas de arcilla horneada realizadas por personas que vivieron allá hace 25.000 a 30.000 años. Hace aproximadamente 3.000 años se extraía y secaba turba en Europa para utilizarla como combustible; en los terrenos pantanosos del oriente de

Inglaterra constituían el combustible necesario para producir sal (a su vez, otro recurso del humedal), por ejemplo, quemando turba o juncos, cañas, ñapos y carrizos embebidos con agua salada.

Muchas plantas de humedales también constituyen recursos valiosos, en particular las múltiples especies de juncos y ñapos de agua dulce, que se han utilizado durante muchos siglos en todo el mundo para construir canoas y balsas, empleo todavía actual, por ejemplo en los humedales del Tigris y el Éufrates, en los que se utiliza el junco *Phragmites*, o en los Andes sudamericanos, donde se utiliza la totora, o bien el papiro en África.

Los animales que viven en humedales han servido para obtener alimentos y materias primas. Por ejemplo, en Europa y América del Norte se han cazado castores no sólo para alimentarse con su carne, sino también por su espesa piel, para extraer de sus glándulas el castoreum, que tiene efectos similares a los de la aspirina, y por sus afilados dientes que pueden utilizarse como hojas de formón sin necesidad de trabajarlas. En ocasiones se ha extraído de estos animales productos utilizados en rituales, como es el caso de las alas de cisne que se colocaban bajo los niños que se enterraban junto a sus madres en Vedbaek, en un antiguo brazo de mar cerca de Copenhague, hace unos 6.000 años.

En todo el planeta y desde los comienzos de la historia de la humanidad, la gente ha recurrido a los humedales para su sustento. Es importante recordar que esta dependencia sigue vigente hoy en día. En la actualidad, el pescado es la fuente primordial de proteínas de mil millones de personas, consumiéndose mayoritariamente pescados de mar, dos terceras partes de los cuales dependen de humedales costeros para alguna fase de su ciclo vital. Para tres mil millones de personas de todo el mundo, el arroz, una planta de humedal, constituye la dieta básica

En el pasado, antes de que se reconociera su importancia, los humedales eran considerados lugares inhóspitos, llenos de bichos y alimañas peligrosas, y fuentes de enfermedades, cuyo mejor fin era ser desecados y utilizados para otros propósitos, como labores agrícolas o para construir casas. En México, el caso más conocido puede que sea el de la Ciudad de México, que según los registros de los Aztecas, fue fundada en 1325 cuando un grupo de nómadas se asentó en una isla del Lago de Texcoco. La ciudad,

llamada entonces Tenochtitlan, se fue expandiendo sobre las aguas del lago, hasta llegar a ser lo que es actualmente.

3.7 Ciencia de los humedales y científicos

“Aun después de que ya se han determinado los beneficios ecológicos y económicos de los humedales y han sido ampliamente apreciados, los humedales han permanecido un enigma para los científicos. Los humedales son difíciles de definir de manera precisa, no solo por su gran extensión geográfica, sino también por su gran variedad de condiciones hidrológicas en las cuales se encuentran. Son encontrados normalmente en la interfase de ecosistemas terrestres, tales como bosques en partes altas, pastizales y en sistemas acuáticos como lagos y océanos, lo cual los hace muy diferente uno del otro. También son encontrados en situaciones aparentemente aisladas donde el sistema acuático cercano es a menudo acuíferos de agua subterránea. Debido a que los humedales combinan atributos de ecosistemas acuáticos y terrestres pero no entran en ninguna categoría, estos se han quedado entre la división de las disciplinas científicas de ecología terrestre y acuática. Una especialización en el estudio de humedales es a menudo se le da el término de ciencia de humedales o ecología de humedales y aquellos que lleven a cabo investigaciones se les conoce como científicos de humedales o ecólogos de humedales. Algunos han sugerido que al estudio de humedales se le de el término de telmatología del cual telma significa turba en griego. Sin importar el campo en que se encuentre el estudio de los humedales es claro que hay muchas buenas razones para tratar la ecología de los humedales como un campo de estudio distinto.” (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

1. Los humedales tienen propiedades únicas que no las cubren de manera adecuada campos en la actualidad como la limnología, ecología de estuarios y ecología terrestre.
2. Los estudios de humedales han empezado a identificar algunas propiedades en común entre humedales que aparentan ser diferentes.
3. La investigación sobre humedales requiere un acercamiento multidisciplinario o un entrenamiento en número de campos que no son estudiados rutinariamente o combinados en programas académicos universitarios.
4. Existen un gran interés para la formulación de políticas fuertes para la regulación y manejo de humedales.

“Una gran cantidad de evidencia sugiere que las características únicas de los humedales tales como agua estancada, condiciones anoxicas y adaptaciones de plantas y animales pueden proveer un campo de estudio común que no es ni ecología terrestre ni acuática. Los humedales proporcionan oportunidades para probar teorías “universales” ecológicas y principios que involucran sucesión y flujo de energía, los cuales fueron desarrollados para ecosistemas terrestres o acuáticos. Por ejemplo, los humedales proporcionaron es escenario para las teorías de sucesión de Clements (1916) y para el aborde de flujo de energía de Lindeman (1942). También pueden ser un excelente laboratorio para el estudio de principios relacionados con las zonas de transición, interfaces ecológicas y ecotonos”.(Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

“Los humedales ha menudo han sido descritos como ecotonos, es decir, zonas de transición entre tierras altas como bosques y tierras para la agricultura y sistemas acuáticos profundos como ríos, lagos y estuarios. Este nicho en el ambiente permite a los humedales funcionar como exportadores de nutrientes orgánicos e inorgánicos. También esta posición de zona de transición que tienen los humedales los llevan a tener una gran biodiversidad, y a que le es “prestado” especies de los sistemas acuáticos y terrestres. Por lo contrario de ser un simple ecotono, los humedales son ecosistemas por si mismos. Tienen algunas características de sistemas acuáticos profundos como algas, bentos, necton, sustrato anoxico y movimiento de agua. Por otro lado también tienen flora de plantas vasculares similar en estructura a la encontrada en tierras altas y sistemas acuáticos, debido a esto los ecosistemas tienen la distinción de estar entre los ecosistemas mas productivos”.(Mitsch, William J; Gossedink, James G. Wetlands.2000)

“Normalmente cuando se habla de un humedal en algún libro o cualquier tipo de información, se trata sobre un tipo de humedal como humedales costeros, humedales con arboledas y esteros de agua dulce. Algunos investigadores han analizado las propiedades y funciones comunes a todos los humedales. Esta es probablemente el área más emocionante de investigación sobre humedales debido a que hay mucho que aprender. Las comparaciones entre tipos de humedales han demostrado, por ejemplo, la importancia de flujo hidrológico para el mantenimiento y productividad de estos ecosistemas. Los procesos bioquímicos anoxicos que son comunes a todos los humedales proporcionan un área para investigación comparativa y dejan muchas preguntas: ¿ Cual es el rol de diferentes tipos de humedales en los ciclos bioquímicos a

escala local y global? ¿Cómo influyen las actividades humanas en estos ciclos en varios humedales? ¿Como las adaptaciones de animales y plantas hasta el stress anoxico pueden ser comparadas en varios tipos de humedales?” (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

“El verdadero ecólogo de humedales debe ser un ecólogo en general debido al numero de ciencias que sostienen estos humedales. La flora y la fauna de los humedales a menudo están adaptadas únicamente a un sustrato que puede variar de sumergido a seco. Las especies de plantas emergentes soportan animales acuáticos bénticos e insectos terrestres. Debido a que las condiciones hidrológicas son tan importantes para determinar la estructura y función de los ecosistemas de humedales, un científico estudiando humedales debe tener conocimientos sobre hidrología superficial y subterránea. En los ambientes de agua somera la química juega un papel importante debido al tipo de agua, sedimentos, suelos y la interacción entre agua y sedimentos”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

“De manera similar, preguntas sobre fuentes, desagües y transformadores de químicos de los humedales requieren que los investigadores tengan experiencia en el uso de técnicas de biología y química”.

“La identificación de vegetación de humedales requiere conocimientos en botánica y zoología, al igual que conocimientos en bioquímica microbial y las ciencias que estudian los suelos también contribuyen de manera significativa para poder entender el ambiente anoxico. Para entender las adaptaciones de biota de humedales en los ambientes inundados, se requiere el conocimiento de bioquímica y fisiología. Si los científicos que estudian los humedales se han de involucrar mas en el manejo de humedales se necesita aprender técnicas de ingeniería, particularmente para el control hidrológico de los humedales. Por lo tanto un punto de vista holístico de estos sistemas complejos se puede alcanzar solo a través de la comprensión de los principios de ecología, especialmente los que son parte de ecología de ecosistemas y de análisis de sistemas”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

“Hoy en día muchos científicos estudian los humedales. Solo unos cuantos pioneros investigaron estos ecosistemas con anterioridad a la década de 1960. La mayoría de los

primeros estudios hechos en humedales trataban con investigaciones botánicas y sobre estructuras de turbas”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

Tipo de Humedal e Investigador	País	Año de Publicación
Esteros de Costa / Manglares		
Valentine J. Chapman	Nueva Zelanda	1938, 1940 (Chapman)
John Henry Davis	E.U.	1940, 1943 (Davis)
John M. Teal	E.U.	1958, 1962 (Teal)
Lawrence R. Pomeroy	E.U.	1959 (Pomeroy)
Eugene P. Odum	E.U.	1961 (E.P. Odum)
D.S. Ranwell	Reino Unido	1972 (D.S. Ranwell)
Peatlands/ Humedales de agua dulce		
C. A. Weber	Germany	1907 (Weber)
Herman Kurz	E.U.	1928 (Kurz)
A.P. Dachnowski-Stokes	E.U.	1935(Dachnowski-Stokes)
R.L. Lindeman	E.U.	1941,1942 (Lindeman)
Eville Gorham	Reino Unido/ E.U.	1956,1961 (Gorham)
Hugo Sjors	Suecia	1948,1950 (Sjors)
G. Einar Du Rietz	Suecia	1949,1954 (Du Rietz)
P.D. Moore/D.J. Bellamy	Reino Unido	1974(Moore and Bellamy)
S. Kulczynski	Polonia	1949 (Kulczynski)
R.S. Clymo	Reino Unido	1965 (Clymo)

Tabla 6. Investigadores Pioneros en ecología de humedales y los años de sus publicaciones.(Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

3.8 Manejo de Humedales

“De la misma manera que hay científicos de humedales que están realizando procesos para determinar las funciones y los valores de estos, también hay quienes están involucrados en muchos aspectos del manejo de los humedales. Estos individuos están involucrados en actividades desde la reproducción de aves en humedales hasta el

tratamiento de aguas residuales. Deben de ser capaces de tener un balance entre los aspectos científicos de los humedales con las restricciones legales, institucionales y económicas para poder proporcionar un manejo óptimo. El manejo de humedales ha incrementado su importancia en muchos países debido a políticas gubernamentales y regulaciones de humedales que buscan revertir las pérdidas históricas de estos. El simple hecho de ser capaz de identificar los límites de los humedales se ha convertido en una habilidad importante para un nuevo tipo de técnico en humedales llamado delineador de humedales". (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

"Organizaciones privadas como Ducks Unlimited, inc., y The Nature Conservancy han protegido humedales comprando miles de hectáreas de humedales en todo Norte América. A través de un tratado conocido como la Convención Ramsar y un acuerdo en conjunto firmado por los Estados Unidos y Canadá en 1986 llamado North American Waterfowl Management Program, los humedales ahora están siendo protegidos por su importancia en aves acuáticas en una escala internacional. En 1988 un Foro Nacional de Políticas de Humedales llevado a cabo en los E.U. obtuvo el interés del público en cuanto a la pérdida de humedales y recomendó una política de "pérdida neta cero" de humedales. Esta recomendación ha estimulado el interés en la restauración y creación para reemplazar los humedales perdidos y "pérdida neta cero" ha permanecido como la política de protección de humedales en los E.U. desde finales de los años ochenta". (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

3.9 La Extensión Global de los Humedales

Los humedales incluyen pantanos, esteros, turbas y otros ecosistemas húmedos encontrados alrededor del mundo. Se encuentran en todos los continentes excepto en Antártica y en todo tipo de clima desde los tropicales hasta la tundra. "Basado en estimaciones, la extensión de los humedales en el mundo generalmente debe estar entre 7 a 9 millones de km^2 o alrededor de 4 a 6 % de la superficie terrestre. Maltby y Turner en 1983 basados en el trabajo de geógrafos rusos, estimaron que la tierra está cubierta por 6.4% de humedales o 8.6 millones de km^2 . Casi 56 % del total de esta área estimada de humedales se encuentra en regiones tropicales y subtropicales. Los humedales ocupan 1 millón de km^2 en regiones subboreales y 2.6 millón de km^2 y 0.2 millones de km^2 en regiones polares". (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

“Otras estimaciones de la extensión global de los humedales se han hecho en base a estudios del papel que juegan los humedales en los ciclos biogeoquímicos globales, especialmente en cuanto a los gases de invernadero. Usando bases de datos globales digitales, Matthews y Fung (1987) estimaron que existían 5.3 millones de km² de humedales en el mundo, con un porcentaje de humedales mas alto en regiones boreales y un porcentaje mucho mas bajo en zonas tropicales y subtropicales que las que fueron estimadas por Maltby y Turner (1983)”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

3.9.1 Regiones Importantes de Humedales en el Mundo

Algunas de las áreas de humedales en el mundo, son únicas por su extensión, variedad e importancia histórica.

Esteros de Agua Dulce en Centro América

“Los ríos en el lado de la Costa Pacífica de Centro América son mas cortos dependen más de las temporadas que los ríos del caribe. Como resultado de esto los ríos de la Costa del Pacífico tienden a ser muy secos en invierno. Uno de los humedales más importantes en Centro América es el estero de agua dulce del Parque Nacional Palo Verde localizado en Costa Rica. El estero de 500 ha recibe agua de lluvia y agua de sobre flujo del río Tempisque durante la temporada de lluvia. El estero se seca casi completamente en el mes de Marzo durante la temporada seca. Es el hábitat de alrededor de 60 especies de aves residentes y migratorias. Estos esteros reciben miles de aves cada año proveniente de diferentes partes de Norte América. Recientemente el estero ha sido invadido agresivamente por la espadaña (*Typha domingensis*), la cual cubrió 95% del estero a finales de los 80's”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

Delta del Río Orinoco

“Es el río más largo y caudaloso del norte del continente suramericano, con una longitud de 2140 Km. Su nacimiento se encuentra en un punto inmediato a la frontera entre el Edo. Amazonas y Brasil al sureste, en el Cerro Delgado Chalbaud, y se desplaza primero hacia el oeste, y luego al norte y finalmente toma la dirección este, para llevar sus aguas al Océano Atlántico. Este gran río se encuentra dividido por tres partes

principales: el alto Orinoco, el Orinoco medio y el Orinoco bajo”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

Alto Orinoco: Se considera comprendido entre el nacimiento del río y el raudal de los Guaharibos. En esta parte es un río de montaña, que por su perfil irregular presenta numerosos saltos, como por ejemplo, el primero y más elevado de todos que ocurre a los 3 kilómetros y con una altura de 17 metros de caída, el Salto Libertador.

En los primeros 80 kilómetros se encuentra bordeado de una densa selva, hecho que dificultó su descubrimiento. Siguiendo su curso, a los 100 kilómetros, se une con su primer afluente importante: el río Ugueto, con esta unión el Orinoco alcanza una anchura de 51 metros, y su cauce una profundidad de más de 4 metros.

Orinoco Medio: Su extensión es de aproximadamente 750 kilómetros, que van desde el raudal de los Guaharibos al de Atures, en este inicio el río corre en dirección oeste, luego, al recibir por su margen izquierdo el afluente Mavaca cambia su curso hacia el norte por unos 175 kilómetros.

En su curso sigue recibiendo nuevos afluentes, como el Ocamo, y alcanza una anchura de 400 metros de orilla a orilla, y empiezan a aparecer en su cauce islas arenosas producto de la deposición de sedimentos.

Bajo Orinoco : Esta sección, es la de mayor desarrollo económico y donde se concentra la mayor cantidad de población, además presenta notables diferencias en sus tramos, que van desde los raudales de Atures a Piacoa, con una extensión de 950 kilómetros.

“El delta del Río Orinoco de Venezuela fue explorado por Colon durante una de sus expediciones. Cubre 36,000 km² y es dominado en las orillas por espectaculares bosques de manglar”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

El vértice del Delta está situado entre Barrancas y Piacoa, la costa atlántica forma su base, la cual posee 275 kilómetros de largo entre Pedernales al norte, y Punta Barima al sur. Su área no está limitada por el Orinoco, ya que, se extiende por el Golfo de Paria al norte y por el Amacuro al sur.

El Delta se originó, debido a la llegada del Orinoco al Océano Atlántico, con numerosos sedimentos aportados por sus afluentes, los cuales forman numerosas islas que son separadas por brazos y caños del río nombrado. Los grandes caños poseen más de 30 kilómetros de largo y 20 metros de profundidad, entre ellos al Macareo, Sacupana, Araguao, Tucupita, Pedernales, Cocuima y el brazo del río Grande. Sin embargo, la dirección, sitio y amplitud de estos caños pueden cambiar, debido a las grandes crecidas del Orinoco.

“Los indígenas que viven cercanos al delta practican agricultura para su propio consumo y pesca, de la cual exportan a otras poblaciones cercanas a la región. A pesar de que algunas regiones están protegidas y se han hecho esfuerzos de conservación por el gobierno y las industrias, el pasteo y la caza ilegal han afectado significativamente la flora y fauna del área”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

Los Llanos

“La parte occidental de la cuenca del Río Orinoco en el Oeste de Venezuela y Norte de Colombia es una cuenca sedimentaria de gran tamaño (450,000 km²). Este región representa una de las áreas más extensas de humedales de tierra adentro en Sur América. Los Llanos tienen una temporada de invierno húmeda y una de verano seca, la cual causa que sea un humedal dominado por pastizales de sabana y palmas dispersas en vez de bosques de planicies inundables como los del Delta del Río Orinoco. La región es muy importante para diversas especies de aves y es rica en fauna con animales como el caimán (caimán sp) y la piraña roja (*serrasalmus nattereri*)”. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

La Amazona

Grandes humedales se pueden encontrar a lo largo de los ríos en todo el mundo antes que lleguen al mar, especialmente en zonas tropicales. El río Amazona in Brasil es uno de los mejores ejemplos. Es considerado uno de los principales ríos en el mundo, con un flujo que resulta ser desde un sexto a un quinto de toda el agua dulce del mundo por lo tanto este es el río que transporta mas agua en el mundo... La deforestación debido al desarrollo amenaza muchos de los ecosistemas acuáticos del mundo y tiene grandes

ramificaciones sociales para la gente desplazada en el proceso. Algunos de los humedales arbolados, que se estima que cubren alrededor de 300,000 km², atraviesan una inundación de niveles que alcanzan desde 5 hasta 15 m. Durante la temporada de inundaciones es posible andar en bote alrededor de algunas copas de árboles. (Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

3.10 Pérdida de Humedales

La razón por la que se están perdiendo humedales en una escala global es desconocida. Hay demasiadas áreas donde no se han llevado a cabo los registros adecuados y muchos humedales en el mundo que han sido secados siglos atrás. Probablemente es seguro asumir que todavía estamos perdiendo humedales de manera rápida a escala global y que hemos perdido hasta el 50% de los humedales originalmente sobre la fase de la tierra. Se estima que se ha perdido alrededor de 50% de los humedales de Norte América desde la llegada de los europeos. De manera similar, también se ha registrado la pérdida aproximada del 90% de los humedales de Nueva Zelanda. Varias Regiones del mundo han tenido grandes pérdidas de humedales que han sido registradas de manera confiable, estas regiones son mostradas en la tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de pérdida de humedales en varias regiones del mundo

Lugar	Perdida en Porcentaje	Referencia
Norte América		
E.U.	53	Dahl (1990)
Canadá		Grupo de Trabajo Nacional de Humedales (1998)
-Esteros Marinos (Atlántico)	65	
-Parte baja de Grandes lagos- Río St. Lawrence	71	
-Humedales Costeros del Pacífico	80	
Australasia		
Australia	50	Agencia Australiana de Conservación de la Naturaleza (1996)
Nueva Zelanda	90	Dugan (1993)
Pantanos de Manglar de las Filipinas	67	Dugan (1993)
China	60	Lu (1995)
Europa	90	Estimación

(Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000)

3.11 Humedales de México

Los humedales mexicanos son ecosistemas altamente productivos, algunos de ellos llegan a producir 10 veces mas que lo que su misma área produciría en cultivos agrícolas. Tal es el caso de las lagunas costeras y marismas en las costas mexicanas, que debido a las condiciones que presentan, sirven de área de reproducción para algunos moluscos (ej. ostras y caracoles), peces y crustáceos (ej. camarones, langostas y cangrejos) de importancia económica, pues son fuentes de alimento para el hombre.

Otra función de gran importancia que brindan estas áreas es la de proveer refugio y alimento a aves acuáticas residentes y migratorias tales como patos y gansos. También proveen de áreas de anidación para varias especies amenazadas de tortuga marina, son hábitat de otras como el manatí y el cocodrilo, y en sus sistemas habitan especies terrestres muy diversas, tales como tapires, jaguares, monos, varias especies de rapaces, pelícanos y flamencos, entre otros.



Figura 1. Humedales de México. (DUMAC, 2004)

Algunos humedales en el interior del país, como las milenarias pozas de Cuatrociénegas en el estado norteroño de Coahuila, son de gran importancia ecológica, por la singularidad de su biodiversidad. Lo aislado y estable de estos humedales complejos, ha ocasionado la evolución de especies únicas en el lugar, entre las que podemos mencionar peces, caracoles, algas y tortugas.

En general, los humedales tienen una alta producción pesquera, son refugio de flora y fauna silvestres y nos brindan una gran variedad de bienes, servicios y funciones de gran valor. Son fuente de agua para uso humano, recargan los mantos acuíferos, filtran

el agua y mejoran su calidad, pueden ser utilizados como fuente de energía, barreras contra huracanes, vías de comunicación, etc. Ayudan a controlar las inundaciones y erosiones, y protegen las costas.

3.11.1 HUMEDALES EN LA PENINSULA DE YUCATAN

“Los humedales de la Península de Yucatán cubren aproximadamente 8,000 km² a través de una banda de casi 550 km. en los Estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, convirtiéndolo en uno de los humedales más extensos del mundo. De esta área, casi el 50 % se encuentra en Quintana Roo, y la mitad de ésta (24 %) corresponde a la Reserva de Sian Ka'an. En Yucatán los humedales costeros se extienden por 378 km con una cobertura superior a los 4000 km² desde Celestún por el occidente hasta El Cuyo por el oriente. Existen 4 áreas naturales protegidas en la costa, 2 de carácter federal y 2 estatales que en conjunto cubren 2000 km² equivalentes al 50 % de la costa yucateca. Dentro del área de los humedales se llevan diversas actividades económicas en los 13 municipios que la conforman. Las principales actividades que se desarrollan son la extracción de sal, puertos militares, comercio ultramarino, aduana fiscal, copra, pesca ribereña y de altura, producción de harina de pescado, forestal y ornamental de la vegetación, cacería de subsistencia, cinegética, ganadería, turismo y recreación, etc. El Estado de Campeche tiene 29 % de los humedales costeros de la Península y sólo el 3 % corresponde a la Reserva de Celestún. Actualmente se encuentra bajo protección el área norte de los humedales de Campeche conocida como zona de petenes. El restante 24 % se localiza en Yucatán, donde más de la mitad de su extensión (15%) queda incluida en las áreas naturales protegidas de Ría Lagartos, Dzilám, El Palmar y Celestún. Algunas áreas de la Península que poseen grandes extensiones de humedales, recientemente se decretaron como áreas de reserva y protección de flora y fauna, tal es el caso del sureste de Quintana Roo (Reserva Uaymil) y el suroeste de Campeche (Área de protección de flora y fauna de Laguna de Términos), en donde se encuentra el 14 % y el 13% de los humedales de la península, respectivamente”. (Ecoyuc, 2003)

Capítulo 4

Humedales Artificiales

El concepto de los humedales creados comenzó con la observación de que ciertas plantas de pantano, como el carrizo y la espadaña, tienen tejidos especiales que mueven oxígeno a la zona de raíces. El oxígeno es el factor principal en el tratamiento de aguas residuales por promover el crecimiento de microorganismos que transforman los elementos de nuestros residuos. Las plantas también toman el agua y nutrientes para crecer y a la vez proveen belleza y hábitat.

4.1 Clasificación de Humedales artificiales

- 1 -- **Estanques de acuicultura** (por Ej. estanques de peces y camarónicas)
 - 2--**Estanques artificiales**; incluye estanques de granjas, estanques pequeños (generalmente de menos de 8ha).
 - 3-- **Tierras de regadío**; incluye canales de regadío y arrozales.
 - 4-- **Tierras agrícolas inundadas estacionalmente**; incluye praderas y pasturas inundadas utilizadas de manera intensiva.
 - 5-- **Zonas de explotación de sal**; salinas artificiales, salineras, etc.
 - 6-- **Áreas de almacenamiento de agua**; reservorios, diques, represas hidroeléctricas, estanques artificiales (generalmente de más de 8 ha).
 - 7-- **Excavaciones**; canteras de arena y grava, piletas de residuos mineros.
 - 8-- **Áreas de tratamiento de aguas servidas**; "sewage farms", piletas de sedimentación, piletas de oxidación.
 - 9-- **Canales de transportación y de drenaje, zanjas.**
- Zk(c) -- **Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, artificiales**

(Ramsar,2004)

4.2 Características Generales de Humedales Artificiales

“Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm. con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar”. (Tchobanoglous, G. 1987.)

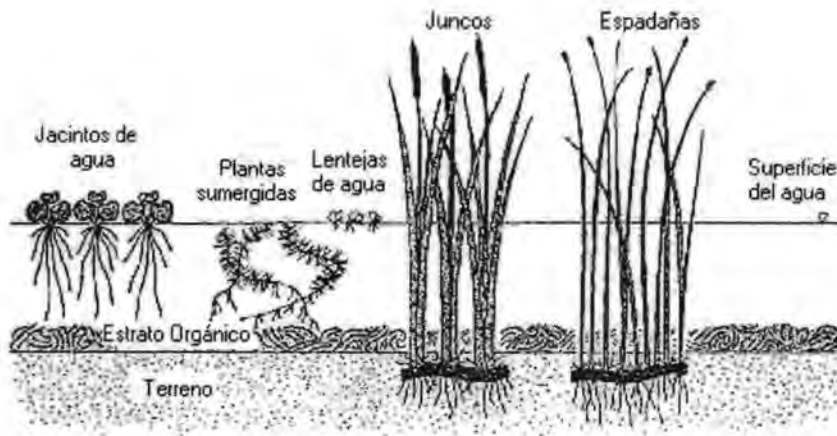


Figura 2. Vegetación común de humedales artificiales. (Tchobanoglous, G. 1987)

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

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

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual. Sistemas a Flujo Libre (FWS) y Sistemas de Flujo Subsuperficial

(SFS). Cuando se emplea para dar tratamiento secundario o avanzado, los sistemas FWS suelen consistir en balsas o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo esta compuesto por suelo relativamente impermeable o con una barrera subsuperficial, vegetación emergente, y niveles de agua poco profundos (0.1 a 0.6 m).

A los sistemas FWS normalmente se les aplica agua residual pretratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo libre también se pueden diseñar para crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales cercanos. Los sistemas FWS suelen incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar hábitats de cría para aves acuáticas. Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objetivo de poder dar un tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava. Un punto importante es que para los dos tipos de humedales artificiales se utilizan las mismas especies de plantas.

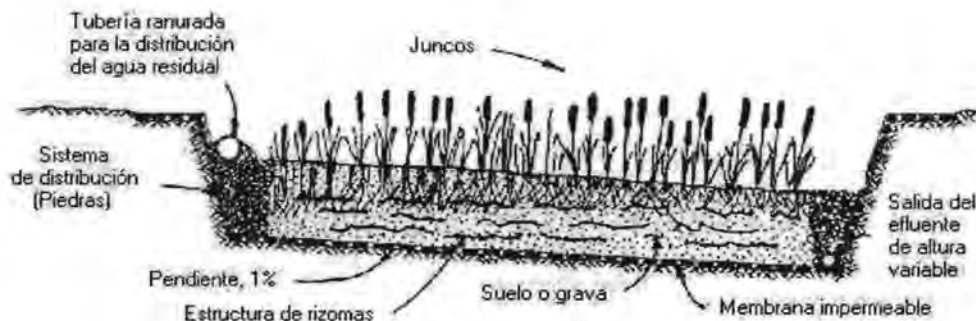


Figura 3. Perfil de Humedal Artificial. (Jaime Andrés Lara B.1999)

El concepto de SFS tiene varias ventajas. Existe la creencia de que las reacciones biológicas en ambos tipos de humedales se deben al crecimiento de organismos. El lecho de grava tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. Tampoco se presentan

inconvenientes con el acceso público, así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

Aunque el área requerida sea menor que la de un sistema FWS, la viabilidad económica del sistema dependerá del coste de conseguir y poner el material granular en el lecho.

Es improbable que un sistema SFS sea competitivo desde el punto de vista de costos, frente a uno FWS para pequeñas comunidades y caudales, pero esto siempre dependerá de los costos de la tierra, el tipo de impermeabilización que se requiera y el tipo y disponibilidad del material granular empleado.

Adicionalmente de las aguas residuales municipales, los humedales construidos han sido usados para una variedad de industrias, escorrentía de aguas agrícolas y de lluvias, lixiviados de vertederos, rebose de alcantarillados combinados, drenaje de minas y aguas residuales domésticas en pequeños humedales tras tanques sépticos convencionales.

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

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

4.3 El agua

Es probable que se formen humedales en donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener el agua.

La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. Mientras la hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales y cercanas a la superficie, difiere en aspectos importantes:

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

4.4 Substratos, Sedimentos y Restos de vegetación

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

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del substrato.
- El substrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.

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

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

4.5 Vegetación

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Lo más importante en los humedales FWS es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos se degradan y se convierten en lo que hemos llamado restos de vegetación, que sirven como substrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

Plantas comúnmente utilizadas en Humedales artificiales:

Árboles/Arbustos Inapropiados

Washingtonii robusta Washingtonii Palm

Cocoloba uvifera Sea Grape

Thrinax radiata Chit

Conocarpus erectus Botoncillo, Buttonwood

Chamaedorea seifrizii Palma Camedor

Croto Croto

Carica papaya Papaya

Arboles/Arbustos para Uso Limitado

Ixora coccinea Ixora
Nerium oleander Oleander
Musa sp. Platano, Banana
Lantana sp. Lantana

Plantas del Humedal

Typha dominguensis Tule, Espadaña, Cattail
Eleocharis cellulose Sedge
Phragmites australis Reed, Carrizo
Cladium jamaicense Sawgrass
Equisetum limosum Horsetail
Juncus roemerianus Soft Rush, Junco
Cyperus ligularis Zacate Cortadera
Acrostichum danaefolium Helecho, Wetland Fern
Xanthosoma roseum,
Alocasia macrorrhiza Mafota, Elephant Ears, Taro

Plantas de Flor

Heliconiaceae sp. Heliconia
Hymenocalyx littoralis Spider Lily
Canna edulis Platanillo, Canna Lily
Irlbachia purpurascens Lila de campo
Portulaca oleracea Verdolaga, Moss Rose
Bidens pilosa Margarita
Vicaria, Mañanita, Teresita

Plantas rastreras (opt.)

Ipomea pes-caprae Rinonina
Scindapsus aureus Telefono
(ceakumal.org, 2004)

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

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

“Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos, y juncos de laguna. Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies, son las dominantes en la mayoría de los humedales artificiales en los Estados Unidos. También existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos. Cuando se diseñan sistemas que específicamente buscan un incremento en los valores del hábitat, además de conseguir el tratamiento del agua residual, usualmente incluyen una gran variedad de plantas, especialmente para proporcionar alimentación y nido a las aves y otras formas de vida acuática”. (Jaime Andrés Lara B.1999)

Espadaña (Typha)

La Espadaña es ubicua en distribución, robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, y se propaga fácilmente, por lo que representa una especie de planta ideal para un humedal artificial. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha. Los rizomas de Espadaña plantados a intervalos de aproximadamente

0.6m pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Tiene una relativamente baja penetración en grava 0.3m por lo que no es recomendable para sistemas SFS.

Juncos (*Juncus*)

Son de la familia de las ciperáceas, son perennes y crecen en grupos. Son plantas ubicuas que crecen en un rango diverso de aguas interiores y costeras, pantanos salobres y humedales. Los juncos son capaces de crecer bien en agua desde 5 cm a 3 m de profundidad. Las temperaturas deseables son 16-27° C. Se encuentran juncos creciendo en un pH de 4 a 9. La mayoría de las especies tienen un crecimiento moderado y pueden lograr un buen cubrimiento en alrededor de un año con separaciones de \square 0.3 m. Algunas variedades crecen más rápido y pueden cubrir en un año con un espaciamiento algo menor (de entre 0.3 y 0.6 m). Penetra en grava aproximadamente \square 0.6m por lo que son muy usadas en humedales SFS. Existen muchas variedades de *Scirpus*. Carrizos (*Phragmites*)

Son anuales y altos con un rizoma perenne extenso. Logran buena cobertura en un año con separación de 0.6 m. Se han usado carrizos en Europa y han sido la planta acuática emergente más extendida. Sistemas que utilizan carrizos pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque los rizomas penetran verticalmente, y más profundamente que los de las espadañas pero menos que los juncos \square 0.4m. son muy usados para humedales artificiales porque presentan la ventaja de que tienen un bajo valor alimenticio y por tanto no se ven atacadas por animales como otros tipos de plantas.

4.6 Microorganismos

“Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes”. ”. (Jaime Andrés Lara B.1999)

La actividad microbiana:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- Altera las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (es decir, requieren oxígeno libre) mientras otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y puede permanecer así durante años.

La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

4.7 Animales

Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados.

Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando el detritus y consumiendo materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significantes de materia durante sus fases larvales. Los invertebrados también tienen varios papeles ecológicos; por ejemplo, las ninfas de la libélula son rapaces importantes de larvas de mosquito.

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

4.8 Consideraciones de Construcción

“Los aspectos más importantes a tener en cuenta para la construcción de humedales son básicamente, la impermeabilización de la capa subsuperficial de terreno, selección y colocación del medio granular para el caso de los sistemas SFS, el establecimiento de la vegetación, y por último las estructuras de entrada y salida. Estaciones de bombeo, instalaciones de desinfección y tuberías de conducción pueden ser también necesarias, pero estas instalaciones como otras que puedan llegar a ser indispensables no son únicas de los humedales y se tratan en otros textos. Puesto que los niveles de oxígeno disuelto pueden llegar a ser bajos, en algunos casos pueden ser necesarias también unas instalaciones de post aireación. Donde la topografía lo permita, una caída en cascada cubierta de cemento para protegerla puede ser suficiente para este propósito”. (Jaime Andrés Lara B.1999)

Impermeabilización

“Los dos tipos de humedales generalmente requieren que se coloque una barrera impermeable para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o el agua subterránea. Algunas veces está presente naturalmente por una capa de arcilla o los materiales que se encuentran in-situ y que pueden ser compactados hasta un estado cercano al impermeable. Otras posibilidades son los tratamientos químicos, una capa de bentonita, asfalto o algún tipo de membrana”.

“El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si éste es del tipo de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse. El terreno que corresponde a la cubierta vegetal debe retirarse de forma cuidadosa para que pueda reservarse para ser utilizado en los humedales FWS como base para la vegetación o usarse después de la obra. El fondo debe ser nivelado cuidadosamente de lado a lado del humedal y en la totalidad de la longitud del lecho. Los dos tipos de humedales deben tener una ligera pendiente para asegurar el drenaje,

de forma que se asegure que se proporcionaran las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema. El gradiente hidráulico que se requiere y el control del nivel de agua en cada celda se realiza con el dispositivo de salida que debe ser regulable”.

“Durante las operaciones finales de afinación de la rasante, el fondo del humedal debería ser compactado de forma similar a como se hace con la subrasante de una carretera. El propósito es mantener la superficie de diseño durante las subsecuentes actividades de construcción. Muchos sistemas de humedales construidos de ambos tipos, han tenido flujos preferenciales debido a errores en esta parte de la construcción. En el caso particular de los humedales SFS, los camiones que transportan la grava pueden ser un problema. Las huellas de los neumáticos sobre el fondo del lecho pueden inducir flujos preferentes permanentes en la totalidad del sistema. Por tanto, no debe estar permitido el tráfico pesado por el fondo de las celdas cuando se tengan condiciones climáticas de humedad”. (Jaime Andrés Lara B.1999)

“La membrana impermeabilizante, si se usa, debe colocarse directamente en la totalidad de la superficie de la celda. El medio granular, en el caso de los humedales SFS, será colocado directamente sobre la membrana que debe tener las propiedades mecánicas necesarias para soportarlo sin llegar a perforarse. Para el caso de los FWS, la capa superficial de suelo que se reservó anteriormente, se coloca sobre la membrana, de forma que sirve de base para las raíces de la vegetación”.

“La selección del material granular para el humedal SFS es crítica para el éxito del sistema. La roca triturada y seca puede ser usada, pero durante el transporte en los camiones, existe el problema de generación de polvos finos, que más tarde darán lugar a posibles atascamientos, por lo que es preferible la utilización de piedra lavada o grava. En la construcción de humedales SFS pueden también utilizarse agregados gruesos de los usados en la fabricación de concreto”.

“Los diques y bermas de las celdas de los humedales pueden construirse de la misma manera que cuando se construyen lagunas o instalaciones similares”.

“Para sistemas a gran escala, la parte alta del dique debería tener un ancho suficiente para colocar un camión o cualquier equipo necesario para el mantenimiento. Cada celda

del sistema deberá tener una rampa que permita el acceso a los vehículos de mantenimiento". (Jaime Andrés Lara B.1999)

Vegetación

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

Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y un control estricto del agua. Adicionalmente presenta el problema del posible consumo de semilla por parte de los pájaros, por lo que lo más aconsejable es plantar a partir del trasplante de rizomas al lecho previamente preparado.

Estructuras de entrada y salida

Los dos sistemas, FWS y SFS, requieren condiciones de flujo uniformes para alcanzar los rendimientos esperados. Esto se alcanza en sistemas de pequeño o moderado tamaño con tuberías de recolección perforadas que se extienden a lo ancho de toda la celda, tanto para la entrada como para la salida.

"Un colector de entrada sobre la superficie permite el acceso para ajustes y control, por lo que se prefiere para muchos sistemas. Este colector generalmente consiste en una tubería plástica de 100 a 200 mm de diámetro, con una "t" ubicada sobre la línea, aproximadamente cada 3m. El operario puede mover cada "t" alrededor de un arco vertical y de ese modo puede hacer un ajuste visual e igualar los caudales de cada uno. Los pequeños sistemas SFS incluyen normalmente una tubería perforada colocada en el fondo del lecho y rodeada por material rocoso".

"El conducto de salida tanto para los sistemas SFS como para los FWS consiste normalmente en una tubería perforada colocada al final de la celda y en el fondo del lecho. En algunos casos se coloca en una zanja poco profunda, rellena con material rocoso, ligeramente por debajo del fondo de la celda del humedal, para asegurar un drenaje completo".

“Los sistemas grandes normalmente tienen estructuras de entrada y salida en concreto. En el caso de las de salida, suelen contar con un dispositivo variable que permita controlar el nivel del agua en la celda del humedal”. (Metcalf & Eddy. 1991)

4.9 RENDIMIENTO

“Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. La remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo. Los mecanismos básicos de tratamiento son los antes citados, e incluyen sedimentación, precipitación química, absorción, e interacción biológica con la DBO y el nitrógeno, así como la captación por parte de la vegetación. Si no se practica la poda, se encuentra una fracción de la vegetación que se descompone y que permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal. Los nutrientes y otras sustancias asociadas a esta fracción refractaria se considera que son eliminados permanentemente del sistema”. (Metcalf & Eddy. 1991)

4.9.1 Remoción de DBO

En los sistemas de humedales la remoción de materia orgánica sedimentable es muy rápida, debido a la quietud en los sistemas tipo FWS y a la deposición y filtración en los SFS, donde cerca del 50% de la DBO aplicada es removida en los primeros metros del humedal. Esta materia orgánica sedimentable es descompuesta aeróbica o anaeróbicamente, dependiendo del oxígeno disponible. El resto de la DBO se encuentra en estado disuelto o en forma coloidal y continúa siendo removida del agua residual al entrar en contacto con los microorganismos que crecen en el sistema. Esta actividad biológica puede ser aeróbica cerca de la superficie del agua en los FWS y cerca de las raíces y rizomas en los SFS, pero la descomposición anaerobia prevalece en el resto del sistema.

Todos los valores del efluente están por debajo del nivel de referencia de 20 mg/l, y esto puede lograrse sin tener en cuenta la concentración de la entrada (dentro del rango mostrado). Datos de los sistemas similares en Europa muestran esencialmente la misma relación para concentraciones de DBO₅ a la entrada superiores a 150 mg/l.

En climas relativamente cálidos, la remoción de DBO observada durante los primeros días es muy rápida y puede ser razonablemente aproximada a una relación de flujo a pistón de primer orden. La remoción subsiguiente está más limitada y se cree que esta influida por la producción de DBO residual debida a la descomposición de los residuos de las plantas y otra materia orgánica natural presente en el humedal. Esto hace a estos sistemas únicos, ya que se produce DBO dentro del sistema y a partir de fuentes naturales, por tanto, no es posible diseñar un sistema para una salida de cero DBO, independientemente del tiempo de retención hidráulica. En términos generales la DBO del efluente puede estar entre 2 y 7 mg/L.

4.9.2 Remoción de sólidos suspendidos

La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los dos tipos de humedales artificiales, produciendo efluentes con concentraciones inferiores a 20 mg/L que es el valor de referencia. Al igual que ocurre con la remoción de DBO, se alcanzan valores siempre por debajo del valor de referencia, independientemente de la concentración de entrada. Solamente una instalación del tipo SFS sobrepasó este valor, debido a un cortocircuito causado al presentarse flujo superficial, con lo que el efluente alcanzó una concentración de 23 mg/L.

La remoción de sólidos en humedales es más o menos rápida, y se estima que ocurre en gran parte entre el 12 al 20 % inicial del área.

En el diseño de humedales del tipo SFS, es importante tener en cuenta las posibles obstrucciones parciales del substrato. Esto ocasionaría una reducción de la conductividad hidráulica del medio, que resultaría en un flujo superficial que como es lógico no es acorde con las condiciones de diseño y el adecuado funcionamiento del sistema. Estas obstrucciones se presentan principalmente en instalaciones que tienen la entrada del agua sumergida, por lo que es recomendable que siempre se coloque sobre la superficie del medio.

No se cuenta con un modelo cinético de remoción de sólidos suspendidos, pero las investigaciones indican que sigue el mismo patrón que la DBO. De forma que cuando se diseña un sistema para la remoción de una concentración particular de DBO, se puede

esperar una remoción de sólidos suspendidos comparable, siempre y cuando se mantengan las condiciones de flujo de diseño.

4.9.3 Remoción de nitrógeno

La remoción de nitrógeno puede ser muy efectiva en ambos tipos de sistemas de humedales artificiales y los principales mecanismos de eliminación son similares para los dos casos. Aunque ocurre la asimilación de nitrógeno por parte de las plantas, solo una pequeña fracción del nitrógeno total puede ser eliminada por esta vía. Experiencias en Norteamérica demuestran que solamente entre el 10 y el 15% del nitrógeno eliminado se retira del sistema usando la poda de las plantas. La remoción de nitrógeno en humedales puede alcanzar valores por encima del 80%.

Puede medirse el nitrógeno que entra en sistemas de humedales como nitrógeno orgánico y amoniacal [la combinación de estas dos se representa como Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)], nitrito y nitrato.

En los sistemas de humedales, el potencial de remoción del nitrógeno puede tomar varios años en desarrollarse, por lo menos se requieren dos o tres etapas del crecimiento de las plantas, sistemas de raíces, capa de residuos, y materiales del bentos, para alcanzar el equilibrio.

Los tanques sépticos, sistemas del tratamiento primarios, y efluentes de lagunas facultativas normalmente no contienen nitratos, pero pueden tener niveles significantes de nitrógeno orgánico y amoniacal. Durante los meses de verano calurosos, las lagunas facultativas pueden tener niveles bajos de nitrógeno amoniacal en el efluente, pero a menudo contienen altas concentraciones de nitrógeno orgánico asociadas con las algas que salen con el efluente. Los efluentes de sistema de tratamiento secundarios aireados tienen niveles bajos de nitrógeno orgánico típicamente pero contienen concentraciones significativas de nitrógeno amoniacal y nitratos. Los sistemas con intensidad alta o aireación prolongada pueden tener la mayoría del nitrógeno en forma de nitrato.

El nitrógeno orgánico que entra en un humedal esta típicamente asociado con materia particulada como sólidos orgánicos del agua residual y/o algas. La remoción inicial de estos materiales como sólidos suspendidos es más o menos rápida. Mucho de este nitrógeno orgánico sufre descomposición o mineralización y descarga entonces

nitrógeno en forma amoniacal al agua. También pueden ser una fuente de nitrógeno, los detritos de las plantas y otros materiales orgánicos producidos naturalmente en el humedal, produciendo una descarga estacional de amoníaco. Una aproximación conservadora al diseño, sería asumir que la mayor parte de NTK que entra al sistema, está en forma de nitrógeno amoniacal.

Se cree que la mejor forma para remover el amoníaco en ambos tipos de humedales artificiales es la nitrificación biológica seguida por desnitrificación. La oportunidad de nitrificar existe cuando se tienen condiciones aeróbicas, se tiene la suficiente alcalinidad y la temperatura adecuada, y después de que la mayoría de la DBO ha sido removida, para que los organismos nitrificantes puedan competir con los organismos heterótrofos por el oxígeno disponible.

La experiencia ha demostrado que la condición limitante para la nitrificación en los humedales es la disponibilidad de oxígeno. La relación teórica indica que son necesarios 4,6 g de oxígeno para oxidar 1 g de nitrógeno amoniacal.

La disponibilidad de oxígeno esta relacionada con la eficiencia en la transferencia de oxígeno atmosférico en los humedales tipo FWS y con el alcance de la penetración de las raíces y la eficiencia en la transferencia de oxígeno de estas raíces en el caso de los SFS. Por tanto, es de gran importancia si se quiere tener una buena eficiencia en el proceso de nitrificación que a la hora de diseñar humedales de flujo subsuperficial se hagan con una profundidad igual a la potencial penetración de las raíces. Cualquier flujo bajo la zona de las raíces será anaeróbico y la nitrificación en esta zona no será posible. En climas o estaciones cálidas serán necesarios tiempos de retención hidráulica de 6 a 8 días para lograr los niveles de nitrificación deseados.

La remoción de amoníaco es también dependiente de la temperatura. Durante los meses de verano la remoción es bastante buena, pero decrece a medida que baja la temperatura, siempre dependiendo de la temperatura del agua.

La alcalinidad es necesaria para dar lugar a las reacciones biológicas de nitrificación. Está teóricamente aceptada para diseño una relación de 7.1 g de alcalinidad (como CaCO_3) por cada gramo de $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{N}$ oxidado. Es prudente ser un poco conservador y usar 10 g de alcalinidad por cada gramo de nitrógeno amoniacal a causa de las pérdidas

externas. Típicamente las aguas residuales municipales deben tener alcalinidad suficiente, pero puede ser necesaria una adición extra para lograr niveles verdaderamente bajos de amoníaco y para algunas aguas residuales industriales con baja alcalinidad. Más o menos la mitad de la alcalinidad puede ser removida cuando el nitrato producido es biológicamente reducido por desnitrificación.

La remoción de nitratos (NO_3) por vía de una desnitrificación biológica en humedales, requiere condiciones anoxicas, una adecuada fuente de carbono y condiciones adecuadas de temperatura. La presencia de condiciones anoxicas esta casi garantizada en muchos humedales artificiales y la temperatura del agua depende del clima local y de la estación, así que la disponibilidad de una fuente adecuada de carbono tiende a ser el factor que controla el proceso. Metano y otras fuentes de carbono fácilmente degradables son usadas comúnmente en procesos convencionales de desnitrificación, pero esta solución no es aplicable desde el punto de vista de los costos a los humedales, así que la desnitrificación dependerá de los organismos presentes en el agua residual o que se encuentren de forma natural en el humedal.

Se dijo antes que para la nitrificación se requiere que se elimine previamente mucha de la DBO, así que puede que la disponibilidad original de carbono orgánico ya no exista en el momento de la desnitrificación. Se estima que entre 5 y 9 g de DBO se requieren para desnitrificar 1 g de $\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}$.

La otra gran fuente de carbono en los humedales son los residuos de las plantas y otros organismos naturales presentes en el bentos. Si las condiciones de temperatura son favorables, esto podría ser suficiente para una desnitrificación total, para cargas orgánicas y de nitrógeno usadas típicamente en los humedales. Los sistemas de flujo libre tienen una ventaja en este apartado, ya que la caída de hojas sobre el agua hace que sean susceptibles de tener una descomposición más rápida, comparada con los sistemas de flujo subsuperficial donde estos residuos yacen sobre la superficie del medio.

4.9.4 Remoción de fósforo

La remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales artificiales no es muy eficaz debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno. Algún trabajo experimental ha usado arcilla expandida y adición de óxidos de

hierro y aluminio; algunos de estos tratamientos pueden ser prometedores pero las expectativas a largo plazo no se han definido aún. Algunos sistemas en Europa usan arena en lugar de la grava para aumentar la capacidad de la retención del fósforo, pero este medio requiere instalaciones muy grandes, debido a la reducida conductividad hidráulica de la arena comparada con la grava. Si una importante remoción de fósforo es requisito del proyecto, entonces se necesitará un área de terreno muy grande o métodos de tratamiento alternativos.

4.9.5 Remoción de metales

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

Los metales pueden acumularse en los humedales artificiales, pero las concentraciones que normalmente tienen las aguas residuales no representan una amenaza para los valores del hábitat o para los posibles usos a largo plazo.

4.9.6 Remoción de coliformes fecales

Los humedales artificiales son en general, capaces de una reducción de coliformes fecales de entre uno a dos logaritmos con tiempos de retención hidráulica de 3 a 7 días que en muchos casos no es suficiente para satisfacer los requisitos de la descarga que a menudo especifican $< 200\text{NMP}/100\text{ ml}$. Tiempos de retención superiores a 14 días serían necesarios para lograr reducciones de 3 o 4 logaritmos.

Cuando se presentan eventos intensos de lluvia, los picos de caudal influyen negativamente en la eficiencia de remoción de coliformes fecales. Como resultado, la mayoría de los sistemas utilizan alguna forma de desinfección final. En la instalación antes citada, que cuenta como medio con grava fina de río los coliformes fecales se han reducido de $8 \times 10^4\text{ NMP} / 100\text{ ml}$ a $10/100\text{ ml}$ de media.

4.10 Operación y Mantenimiento

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

- Proporcionar una amplia oportunidad para el contacto del agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.
- Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.
- Mantener un ambiente saludable para los microbios Manteniendo un crecimiento vigoroso de vegetación”. (Tchobanoglous, G. 1987)

4.10.1 Hidrología

En humedales de FWS, el agua debe cubrir todas las partes de la superficie del humedal. El humedal debe ser verificado periódicamente para asegurar que el agua se está moviendo a través de todas las partes del humedal y que el aumento de residuos no ha bloqueado caminos de flujo, y no se han desarrollado áreas de estancamiento que aumentan la probabilidad de mosquitos. Deben verificarse flujos y niveles de agua regularmente. Deben verificarse los humedales SFS para ver que no se está desarrollando flujo en la superficie.

4.10.2 Estructuras

“Deben inspeccionarse diques, vertederos, y estructuras de control de agua de forma regular e inmediatamente después de cualquier anomalía en el flujo. Los humedales deben verificarse después de subidas importantes de caudal o después de la formación de hielo, ya que pueden afectar el sustrato, particularmente a las estructuras de salida. Cualquier daño, corrosión u obstrucción, debe corregirse lo más pronto posible para prevenir fallos y reparaciones que podrían ser costosos”. (Tchobanoglous, G. 1987)

4.10.3 Vegetación

“El manejo del nivel del agua es la clave para el éxito de la vegetación. Mientras las plantas del humedal pueden tolerar cambios temporales en la profundidad del agua, debe tenerse cuidado de no exceder los límites de tolerancia de las especies usadas durante periodos largos de tiempo. La profundidad del agua puede aumentarse durante los meses fríos aumentando así el tiempo de retención y protegiendo contra las heladas. La cubierta vegetal en los diques debe mantenerse para desarrollar una capa de tierra buena con sistemas de raíz extensos que resisten a la erosión.

La vegetación debe ser inspeccionada regularmente y deben quitarse las especies invasoras. Los herbicidas no deben usarse excepto en circunstancias extremas, y sólo entonces y con cuidado extremo, dado que pueden dañar severamente la vegetación emergente”.

(Metcalf & Eddy, 1991)

4.10.4 Ratas

Las ratas y otros roedores pueden dañar los diques y la impermeabilización. Por tanto, deben preverse las medidas necesarias para evitar que esto ocurra, hasta el punto de que puede ser necesario atrapar y retirar los animales hasta que pueda instalarse una pantalla de alambre. Las madrigueras también pueden ser selladas poniendo bentonita en la entrada.

4.10.5 Mosquitos

Los mosquitos son comunes en los humedales naturales y pueden esperarse en humedales artificiales. La mejor manera de evitar problemas con mosquitos en los humedales artificiales es crear condiciones en el humedal que no sean atractivas a los mosquitos o que no conduzcan al desarrollo de larvas. Lugares abiertos con agua estancada son un excelente hábitat para los mosquitos, y los nutrientes del agua estancada, son ideales para el desarrollo larval. Cuando el agua esta en movimiento se minimiza el riesgo de desarrollo de mosquitos.

“El control de mosquitos con insecticidas, aceites, y agentes bacterianos como Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis*) es a menudo difícil en humedales artificiales. El uso

de insecticidas en humedales artificiales con cantidades grandes de materia orgánica es ineficaz porque la materia orgánica los adsorbe y porque se diluyen rápidamente o son degradados por el agua que viaja a través del humedal. Los tratamientos químicos deben usarse con cautela porque se corre el riesgo de contaminar el humedal y el cauce receptor". (Tchobanoglous, G. 1987)

4.11 Control

La supervisión es una herramienta operacional importante que:

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

El control necesita medir si el humedal está obteniendo los objetivos y para indicar su integridad biológica. Esta supervisión permite identificar los problemas temprano, cuando la intervención es más eficaz. Las fotografías pueden ser inestimables documentando estas condiciones. Deben tomarse fotografías cada determinado tiempo en las mismas condiciones, localizaciones y con el mismo ángulo de visión.

El nivel de detalle del control dependerá del tamaño y la complejidad del sistema de humedales y puede cambiar cuando el sistema madura y se conoce mejor su comportamiento. Los sistemas ligeramente cargados que han estado operando satisfactoriamente sólo necesitarían ser verificados una vez al mes y después de cada tormenta importante. Aquellos que están muy cargados requerirán una supervisión más frecuente y detallada.

Un plan de control escrito es esencial para la continuidad del sistema a largo plazo.

Control para cumplir exigencias de descarga:

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

Control del rendimiento del sistema :

El rendimiento del humedal es normalmente evaluado para determinar:

- Carga hidráulica
- Volúmenes de entrada y de salida
- Variación de la calidad del agua entre la entrada y la salida

“La efectividad en la remoción de contaminantes puede determinarse mediante la diferencia entre la carga a la entrada (volumen de entrada multiplicado por la concentración del contaminante) y la de salida (volumen de la descarga multiplicado por concentración del contaminante). Los parámetros de interés pueden ser”:

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

“Si el agua residual pudiera contener contaminantes tóxicos, como pesticidas o metales pesados, deben analizarse los sedimentos una o dos veces al año para supervisar el aumento potencial de estos contaminantes en los sedimentos del humedal. El efluente debe analizarse durante las tormentas importantes para asegurar que están reteniéndose los sedimentos en el humedal. El agua subterránea también debe supervisarse una vez o dos veces al año para asegurar que el humedal no la está contaminando”. (Tchobanoglous, G. 1987)

Control de la salud del humedal:

“Los humedales deben controlarse periódicamente para observar las condiciones generales del sitio y para descubrir cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación indeseable. Debe supervisarse la vegetación periódicamente para evaluar su salud y abundancia. Para humedales que no reciben cargas altas, la supervisión de la vegetación no se necesita que sea cuantitativa. Normalmente bastará con observaciones cualitativas. Los sistemas grandes y aquéllos

que están muy cargados requerirán ser supervisados más frecuentemente, y de forma cuantitativa. En general, esta supervisión debe ser más frecuente durante los primeros cinco años después de la instalación del sistema”.

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

“La vegetación del humedal construido está sujeta a cambios graduales de año en año, así como en los humedales naturales. Puede haber tendencia a que algunas especies mueran y sean reemplazadas por otras. Dado que los cambios vegetativos son a menudo lentos, no son obvios a corto plazo y, por tanto, es esencial mantener buenos registros”.

“El aumento de los sedimentos acumulados así como de la capa de residuos, disminuye la capacidad de almacenamiento de agua, afectando la profundidad de ésta en el humedal y posiblemente alterando los caminos de flujo. Los sedimentos, la capa de residuos, y la profundidad del agua deben verificarse de vez en cuando”.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

Como conclusión final del trabajo realizado se tiene que la tecnología de humedales artificiales tiene mucho futuro, esto debido a que se considera que es una tecnología viable para el tratamiento de aguas residuales. En relación a las fuentes de aguas residuales esta tecnología es de más utilidad para las aguas residuales de origen urbano o de pequeñas comunidades debido a que se ha observado que da un tratamiento efectivo a los sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, metales pesados, DBO y bacterias.

Este tratamiento es recomendable para climas tropicales y subtropicales ya que se ha observado una mayor efectividad en temperaturas altas en comparación a temperaturas bajas, por lo tanto es muy recomendable en el estado de Quintana Roo ya que en este estado se cuenta con un clima tropical con lluvias en verano (Aw) de acuerdo a la clasificación de Koppen.

También es importante recalcar que el tratamiento mediante humedales artificiales tiene costos relativamente bajos en comparación con otras tecnologías y por lo tanto pueden ser utilizados en comunidades de diferente tamaño al igual que en zonas rurales. Gracias a esto es posible ser utilizado en las diversas comunidades de Quintana Roo cuya población varía significativamente.

De los dos tipos de humedales artificiales (SFS y FWS) se recomienda debido a sus costos el sistema de flujo libre ya que tiene cierta ventaja sobre el sistema de flujo subsuperficial y por lo tanto el sistema de flujo libre puede ser utilizado en pequeñas comunidades.

De la misma manera el FWS tiene cierta ventaja sobre el SFS en cuanto a mantenimiento ya que en el sistema SFS se debe monitorear que el flujo sea solamente subsuperficial y no en la superficie. Si el flujo en los sistemas SFS deja de ser solo subsuperficial esto afectara de manera muy significativa la efectividad del humedal para tratar las aguas residuales.

El único punto a cuidar en el uso de humedales artificiales en el Estado de Quintana Roo es la impermeabilización del fondo de ellos ya que como es sabido, las características del suelo de Quintana Roo son principalmente calcáreos pedregosos que permiten la filtración del agua fácilmente. Se debe ser mucho mas cuidadoso en la impermeabilización del fondo para los sistemas de SFS, para que el flujo de entrada no se filtre a través del suelo. Lo anterior le da otro punto de ventaja al sistema de FWS ya que este no necesita tanto cuidado en este aspecto en relación al SFS.

Los humedales artificiales cuentan con varias ventajas que son las siguientes:

- Son menos costosos que otras opciones de tratamiento.
- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos. (energía y suministros)
- La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación.
- Los humedales soportan bien las variaciones de caudal.
- Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua.
- Proporcionan un hábitat para muchos organismos.
- Pueden construirse en armonía con el paisaje.
- Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua, como el ser un hábitat para la vida silvestre y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos.
- Son una aproximación sensible con el medio ambiente que cuenta con el favor del público.

Las desventajas del tratamiento a través de Humedales artificiales son las siguientes:

- Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparado con los tratamientos convencionales. El tratamiento con humedales puede ser relativamente más barato que otras opciones, solo en el caso de tener terreno disponible y asequible.

- El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional. El rendimiento del sistema puede ser estacional en respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.
- Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y los pesticidas que llegan a ser tóxicos.
- Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos.

ABREVIATURAS

Bti	<i>Bacillus thuringiensis israelensis</i>
CaCO ₃	Carbonato de Calcio
CO ₂	Dióxido de Carbono
COT	Carbono Orgánico Total
Corg%	Porcentaje de Carbono Orgánico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DR	Densidad Relativa
O ₂	Oxígeno
pH	Valor de concentración de iones H ⁺
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DUMAC	Ducks Unlimited de México Asociación Civil. (Organización internacional dedicada a la conservación de aves acuáticas)
EP	Equivalente de población
FWS	Sistema de Flujo Libre
GPR	Grado de Presión del Recurso
ha	Hectáreas
L	Litros
Lbs	Libras
Lpd	Litros por día
mg	Miligramos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
NRCS	Natural Resources Conservation Service (E.U.)
NO ₃	Nitrato
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
NTK	Nitrógeno Total Kjeldahl
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OM%	Porcentaje de Materia Orgánica
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Ramsar	Ciudad de Irán sede del tratado sobre los humedales firmado en 1971. Organización que lleva tal nombre.
SS	Sólidos Suspendidos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SFS	Sistema de Flujo Subsuperficial
SO ₂	Dióxido de Azufre
ST	Sólidos Totales
SV	Sólidos Volátiles

BIBLIOGRAFIA CITADA

Bibliohemerografía:

Battlori, E. ; Febles, J. ; Castillo, D. ; Farfan, M. 1999. Manual de Capacitación, Los Humedales Costeros de Yucatán. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. México.

Fair, G. ; Geyer, J. 2001. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Limusa. México, D.F. 764 pg.

Keddy, Paul A. 2000. Wetland Ecology, principles and conservation. Cambridge Studies. U.K.

Letterman , R.D. 1999. Water Quality and Treatment. 5 Ed. McGraw-Hill. U.S.A.

Metcalf & Eddy. 1991. WASTEWATER ENGINEERING, Treatment , Disposal and Reuse. 3 Ed. McGraw-Hill. U.S.A . 1334 pg.

Mitsch, William J; Gossedink, James G. 2000. Wetlands. Wiley U.S.

Peavy, S.H. ; Donald, R.R. ; Tchobanoglous, G. 1985. ENVIRONMENTAL ENGINEERING. Ed. McGraw-Hill. U.S.A . 699 pg.

Tchobanoglous, G. 1987. Water Quality. Addison- Wesley. U.S.

Weller, Milton W. 1999. Wetland Birds. Cambridge Univ. U.K.

Electrónica:

<http://www.ecoyuc.com/humedales.html>

http://www.ramsar.org/key_ris_types_s.htm

<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm>

<http://www.dumac.org/dumac/habitat/esp/conservacion/humedales.htm>

http://ceakumal.org/bguias_de_las_plantas_de_los_humedales_creadosb.html

Jaime Andrés Lara B. <http://www.geocities.com/jalarab/>

<http://www.pnuma.org/gpa/fuentes.htm>

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Bibliohemerografía:

Macmillan. 1997. Macmillan Enciclopedia of the Environment Vol. 6. ✓
E.U. 140 pgs.

Planeta. 1997. Ciencias de la Naturaleza, Botánica II. Vol. 15. ✓
España. 504 pgs.

Gale Group. 2001. Plant Sciences. Vol. 4. Mcmillan Reference. ✓
Canada. 257 pgs.

Nature Publishing Group. 2000. Enciclopedia of Life Sciences. Vol. 19. ✓
U.S. 670 pgs.

Gale Group. 2000. Encyclopedia of the Biosphere. Vol 2, Tropical Rainforests. ✓
U.S. 526 pgs.

Gale Group. 2004. The Gale Encyclopedia of Science. Vol. 6
Canadá. 4495 pgs.

Gale Group. 1999. World of Biology.
U.S. 942 pgs.

Corbitt, A. Robert. 2003. Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental. McGraw-Hill. España. 10 Capítulos.

SEMARNAP; INEGI. 1997. Estadísticas del Medio Ambiente, México 1997.
México. 447 pgs.

Electrónica :

<http://conanp.gob.mx/dcei/hum/hum0.htm>

<http://www.idaan.gob.pa>

<http://www.agualtiplano.net/humedales/humedales.htm>

http://carpetas.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.4_Disponibilidad/index.shtml

<http://ponce.inter.edu/acad/cursos/ciencia/pages/humedales.htm>

<http://www.wetlands.org/>

<http://www.epa.gov/owow/wetlands/>

<http://www.medioambiente.gov.ar/faq/humedales/default.htm>

<http://uicnhumedales.org/>

<http://www.pr.nrcs.usda.gov/news/humedales.html>

<http://www.guiascostarica.com/humeda.htm>

<http://www.rcfa-cfan.org/spanish/s.issues.6.html>

www.unesco.org/uy/mab/documentospdf/humedales1.pdf

<http://www.inbio.ac.cr/es/biod/estrategia/Paginas/ecosistema02.html>

<http://www.radiohc.cu/espanol/medioambiente/humedales/ramsar.htm>

<http://tierra.rediris.es/hidrored/humedales.html>

<http://www.ecoportal.net/content/view/full/25699>

http://www.wwfca.org/wwfpdfs/Revista_3.pdf

<http://www.fao.org/montes/foda/wforcong/PUBLI/V2/T11S/1-2.HTM>

<http://www.thewildones.org/Habitats/humedales.html>

<http://www.itson.mx/drn/dcama/Humedales%20costeros/hummex.htm>

<http://www.ecologia.edu.mx/nawcc/>

<http://apt.allenpress.com/aptonline/?request=getabstract&issn=X0000002&volume=027&issue=01&page=0052>

<http://northamerican.fws.gov/NAWCA/images/Terminos.pdf>

http://www.parkswatch.org/patables/mx_spa.htm