



Capítulo 5. Factores condicionantes

En este capítulo se presentan los factores a tomar en consideración para tomar decisiones de las principales características físicas que tendrá el humedal artificial, es decir, la selección del lugar apropiado para su establecimiento, las condiciones del suelo, la topografía del lugar y de cómo se determinan sus dimensiones físicas preliminares de acuerdo al contaminante que se desea remover. También se hace mención de la relación entre clima y temperatura, así como registros de temperaturas medias anuales en el Distrito Federal para las condiciones locales de diseño.

5.1. Emplazamiento, suelo y dimensiones

El tamaño del humedal puede ser un factor limitante, aunque se debe tener en cuenta que su superficie es muy reducida si se compara con algunos sistemas no convencionales de tratamiento de aguas residuales.

Para decidir el lugar de emplazamiento más apropiado para establecer un humedal artificial de tratamiento de aguas residuales y para determinar sus dimensiones se requiere definir los siguientes factores básicos:

- Flujo del afluente
- Características de ese afluente
- Concentración
- Características que debe cumplir el afluente

En función de estos factores, se puede expresar la superficie necesaria en l/día.m²

Una estimación preliminar de los requerimientos de terreno para humedales FLS puede obtenerse de la tabla 5.1 para las tasas típicas de carga superficial presentadas.

El contaminante que requiere la mayor área para su remoción determina el tamaño del área de tratamiento del humedal, la cual corresponde a la superficie del fondo de la celda del humedal. La distribución del flujo de agua residual en toda la superficie debe ser uniforme para que esta área sea efectiva en un 100 por ciento. Esto se hace posible en humedales artificiales mediante un gradiente del fondo cuidadosamente seleccionado y el uso de estructuras apropiadas de entrada y descarga.

La distribución uniforme del flujo es más difícil en los humedales naturales que se utilizan para tratamiento del efluente porque estos normalmente retienen su configuración y topografía existentes. Estudios con rastreadores de tinta en este tipo de humedales han mostrado que el área efectiva de tratamiento puede ser tan reducida como el 10 % del área total del humedal. El área total del humedal debe ser dividida por lo menos en dos celdas, con excepción de los sistemas de menor tamaño.



Tabla 5.1. Tasas típicas de carga superficial para humedales FLS

Constituyente	Concentración típica del afluente (mg/l)	Meta de tratamiento del efluente (mg/l)	Tasa de carga contaminante (g/m ² /día)
Carga hidráulica (cm/día)	1 a 10	-	-
DBO	5 a 100	5 a 30	1 a 9
SST	5 a 100	5 a 30	1 a 10
Nitrógeno como NH ₃ /NH ₄	2 a 20	1 a 10	0.1 a 0.4
Nitrógeno como NO ₃	2 a 10	1 a 10	0.2 a 1
Nitrógeno total	2 a 20	1 a 10	0.2 a 1
Fósforo total	1 a 10	0.5 a 3	0.1 a 0.4

U.S. EPA, 2000

Los sistemas de humedales son ecosistemas vivos en los cuales los ciclos de vida y muerte de la biota producen residuos que pueden ser medidos en función de DBO, SST, nitrógeno, fósforo y coliformes fecales. Como resultado, y en forma independiente del tamaño del humedal o las características del afluente, en estos sistemas siempre existen concentraciones naturales de esos materiales. La tabla 5.2 resume esas concentraciones naturales.

Tabla 5.2. Concentraciones “naturales” en humedales FS y FLS

Constituyente	Rango de concentración
DBO (mg/l)	1 a 10
SST (mg/l)	1 a 6
Nitrógeno total (mg/l)	1 a 3
Nitrógeno como NH ₃ / NH ₄ (mg/l)	Menos de 0.1
Nitrógeno como NO ₃ (mg/l)	Menos de 0.1
Fósforo total (mg/l)	Menos de 0.2
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	50 a 500

U.S. EPA, 2000



La remoción de la DBO y las varias formas de nitrógeno depende de la temperatura del agua, la temperatura del humedal debe conocerse para lograr un diseño adecuado. La temperatura del agua en sistemas con un tiempo hidráulico de retención largo (mayor a 10 días) se acerca a la temperatura promedio del aire.

Debido a que las plantas vivas y los detritos presentan una resistencia significativa al flujo por la fricción a lo largo del humedal, se deben considerar los aspectos hidráulicos en el diseño del sistema. La ecuación de Manning es aceptada en general como el modelo del flujo de agua en los humedales FLS. La resistencia al flujo impacta la configuración seleccionada para las celdas del humedal, entre más larga sea la trayectoria de flujo, más grande será la resistencia. Para evitar problemas de tipo hidráulico, se recomienda un cociente máximo entre longitud y el ancho de 4 a 1.

La tabla 5.3 resume el desempeño real de 27 sistemas de humedales FLS incluidos en una evaluación de tecnología publicada por la U.S. EPA, 2000.

Tabla 5.3. Resumen del desempeño de 27 sistemas de humedales FLS

Constituyente	Promedio del afluente (mg/l)	Promedio del efluente (mg/l)
DBO ₅	70	15
SST	69	15
Nitrógeno total (mg/l)	12	4
Nitrógeno como NH ₃ / NH ₄ (mg/l)	9	7
Nitrógeno como NO ₃ (mg/l)	3	1
Fósforo total (mg/l)	4	2
Fósforo disuelto (mg/l)	3	2
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	73000	1320

U.S. EPA, 2000

En teoría el desempeño de un sistema de humedales puede estar influenciado por factores hidrológicos. Tasas elevadas de evapotranspiración (ET) pueden aumentar las concentraciones en el efluente y aumentar el TRH del humedal. Tasas altas de precipitación pluvial pueden diluir la concentración de contaminantes y reducir el TRH del humedal. En la mayoría de las zonas templadas con un clima moderado estos efectos no son críticos para el desempeño adecuado. Estos aspectos hidráulicos sólo deben ser considerados para valores extremos de ET y precipitación. La tabla 5.4 resume las cargas típicas de carga superficial para humedales FS.



Tabla 5.4. Tasas típicas de carga superficial para humedales FS

Constituyente	Concentración típica del afluente (mg/l)	Meta de tratamiento del efluente (mg/l)	Tasa de carga contaminante (g/m ² /día)
Carga hidráulica (cm/día)	7.5 a 30	-	-
DBO	30 a 175	10 a 30	7 a 16
SST	30 a 150	10 a 30	4.5 a 17
Nitrógeno como NH ₃ /NH ₄	2 a 35	1 a 10	0.1 a 1.1
Nitrógeno como NO ₃	2 a 10	1 a 10	0.3 a 1.3
Nitrógeno total	2 a 40	1 a 10	0.3 a 1.2
Fósforo total	1 a 10	0.5 a 3	0.1 a 0.4

Nota: la temperatura del humedal es 20 °C
U.S. EPA, 2000

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

El flujo del agua a lo largo de las celdas del humedal depende del gradiente hidráulico en la celda, así como de la conductividad hidráulica (k_s), el tamaño y la porosidad del medio utilizado (n). Para sistemas a mayor escala el medio propuesto debe ser evaluado en forma experimental para determinar esos valores.

La tabla 5.5 resume el desempeño real de 14 sistemas de humedales FS incluidos en la evaluación de tecnología de la U.S. EPA 1993.



Tabla 5.5. Resumen del desempeño de 14 sistemas de humedales FS

Constituyente	Promedio en el afluente (mg/l)	Promedio en el efluente (mg/l)
DBO ₅ *	28 (5 a 51)	8 (1 a 15)
Nitrógeno total	20 (9 a 48)	9 (7 a 12)
Nitrógeno como NH ₃ / NH ₄	5 (1 a 10)	5 (2 a 10)
Nitrógeno como NO ₃	9 (1 a 18)	3 (0.1 a 13)
Fósforo total	4 (2 a 6)	2 (0.2 a 3)
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	270 000 (1 200 a 1 380 000)	57 000 (10 a 330 000)

*Valor promedio de retención de 3 días (rango de 1 a 5 días)

5.2. Topografía

Es indispensable conocer las características geométricas del espacio en que se pretenda instalar un humedal artificial, una condición es que el área de instalación sea plana y con una pendiente ligera.

Los sistemas FLS se basan en estanques horizontales o en canales también horizontales. Los sistemas FS necesitan disponer de una pendiente máxima de 1 a 2% (preferentemente menor al 1%).

Ante esta situación, se puede llegar a instalar el sistema en cualquier terreno, pero con un condicionante económico y quizás el más importante, pues a mayor pendiente mayores movimientos de tierra habrá que realizar, con el consiguiente sobrecosto. Como regla general se puede admitir cualquier terreno con una pendiente menor al 4%.

5.3. Características del suelo

En principio se puede utilizar cualquier suelo, siempre que el presupuesto admita la preparación de las balsas o de los canales para una impermeabilización apropiada.

Los dos tipos de humedales (FLS y FS) requieren generalmente que se coloque una barrera impermeable para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o el agua subterránea. Algunas veces esta barrera está presente naturalmente por una capa de arcilla o por algún otro material de baja permeabilidad que se encuentre en el sitio y que pueden ser compactados hasta un estado cercano al impermeable.

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente aislado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si éste es 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 de flujo libre superficial como base para la vegetación o usarse después de la obra, así como una nivelación cuidadosa del fondo (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 proporcionarán las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema.



Durante las operaciones finales de afinación de la rasante, el fondo del humedal debería ser compactado de manera similar a como se hace en la subrasante de una carretera. El propósito es mantener la superficie de diseño durante las subsecuentes actividades de construcción. Se sabe que 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 FS, los camiones que transportan la grava pueden ser un problema ya que las huellas de los neumáticos sobre todo en el fondo del lecho pueden indicar flujos preferentes permanentes en la totalidad del sistema, por lo tanto, no debe estar permitido el tráfico pesado por el fondo de la celda cuando se tengan condiciones climáticas adversas de humedad.

Para el caso de los humedales FLS, 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 FS es crítica para el éxito del sistema. Puede usarse roca triturada y seca, pero durante el transporte en los camiones, existe el problema de segregación de 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 FLS pueden también utilizarse agregados gruesos de los usados en la fabricación de concreto.

Para sistemas a gran escala, la parte alta del dique debería tener un ancho suficiente para situar 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 cuando se requiera.

5.4. Clima y temperatura

El clima es otro factor condicionante, así como la energía luminosa recibida por el humedal, la temperatura y la pluviometría son factores básicos a tener en cuenta; la tabla 5.6 muestra una clasificación de climas que están en función de la temperatura promedio del lugar (CONAGUA 1999).

La razón es que la materia orgánica que ha sido captada del efluente aplicado, necesita cierta cantidad de energía calorífica (y luminosa) ya que la actividad microbológica depende directamente de la temperatura existente en los lugares de vertido.

Es admisible que con un aumento de 10 °C, el coeficiente de aumento de la intensidad de las reacciones biológicas es de 2 a 3, estando el límite superior entre los 70 y 80 °C. Si la temperatura sube o baja demasiado, la intensidad de las oxidaciones por vía microbológica disminuye, incluso se puede llegar a anular.

Cuando en el humedal de vertido se mantiene una humedad adecuada, la evaporación produce una refrigeración de los horizontes superiores que hace que no se alcancen temperaturas demasiado elevadas, favoreciendo así la mejor actividad de los microorganismos.



Tabla 5.6. Clasificación de climas por su temperatura

Temperatura media anual ° C	Tipo de clima
Mayor de 22	Cálido
De 18 a 22	Semicálido
De 12 a 17.9	Templado
De 5 a 11.9	Semifrío
Menor que 5	Frío

CONAGUA, 1999

De acuerdo a datos registrados por el Servicio Meteorológico Nacional, la temperatura promedio anual en el Distrito Federal en los últimos 21 años se resume en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Temperaturas medias anuales en el Distrito Federal de 1989 a 2010

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TMA *
1989	14.2	13.5	14.3	15.6	18.2	18.0	16.4	16.3	15.3	14.9	14.9	12.7	15.4
1990	13.2	13.8	15.1	16.3	17.6	17.4	16.6	16.6	16.1	15.8	14.8	12.8	15.5
1991	13.9	15.1	18.1	18.7	18.9	17.5	16.5	17.9	16.7	15.6	14.0	13.4	16.4
1992	13.5	14.3	17.8	17.2	17.1	18.7	17.4	17.1	16.7	15.4	14.4	13.8	16.1
1993	14.3	15.0	16.1	17.4	17.2	17.4	16.9	16.8	16.1	16.1	15.3	13.4	16.0
1994	13.3	15.4	17.3	17.5	18.4	17.5	17.0	16.9	16.4	16.8	15.1	14.2	16.3
1995	13.4	14.4	16.1	17.5	18.8	17.6	16.9	17.0	16.8	15.8	15.1	13.4	16.1
1996	12.0	13.6	15.8	16.3	17.7	15.9	16.0	15.8	16.0	14.5	13.0	12.8	14.9
1997	12.7	15.5	16.4	16.8	17.0	17.9	17.0	16.9	16.8	15.5	14.7	13.7	15.9
1998	12.8	14.0	16.6	19.3	20.6	19.5	17.7	17.0	16.5	15.6	15.5	13.5	16.5
1999	12.7	14.3	16.1	18.9	18.8	18.7	16.9	16.9	16.5	14.7	12.9	12.0	15.8
2000	12.8	14.3	16.4	17.9	17.7	16.9	17.2	16.4	16.7	16.7	16.2	12.5	16.0
2001	12.6	14.5	16.0	18.0	17.5	17.3	16.9	16.9	16.6	15.6	13.4	13.1	15.7
2002	13.3	13.9	16.9	18.0	18.5	17.3	16.5	16.7	16.2	16.0	14.1	13.6	15.9
2003	13.0	15.9	16.9	17.9	19.3	17.3	17.0	16.6	16.7	16.2	15.3	12.4	16.2
2004	13.5	14.8	16.2	16.8	17.2	16.6	16.5	16.8	16.4	17.2	15.6	13.9	16.0
2005	12.9	14.8	16.7	18.8	18.2	18.6	17.1	16.5	16.3	15.5	14.1	14.1	16.1
2006	14.2	16.7	17.6	19.7	18.9	18.4	18.2	18.2	18.6	18	14.7	13.9	17.3
2007	15.3	16.0	17.6	18.9	19.4	19.6	16.6	18.5	17.1	16.2	15.3	15.3	17.3
2008	14.5	16.6	17.2	19.8	19.8	18.4	17.2	18.5	17.7	16.4	14.7	14.2	17.1
2009	14.3	15.7	17.6	19.8	20.1	19.8	18.5	19.3	18.3	18.4	15.6	15.4	17.7
2010	13.2	14.5	18.0	18.8	20.6	20.5	17.9	18.3	18.0	16.5	15.0	15.0	17.2

Servicio Meteorológico Nacional
*TMA: Temperatura Media Anual

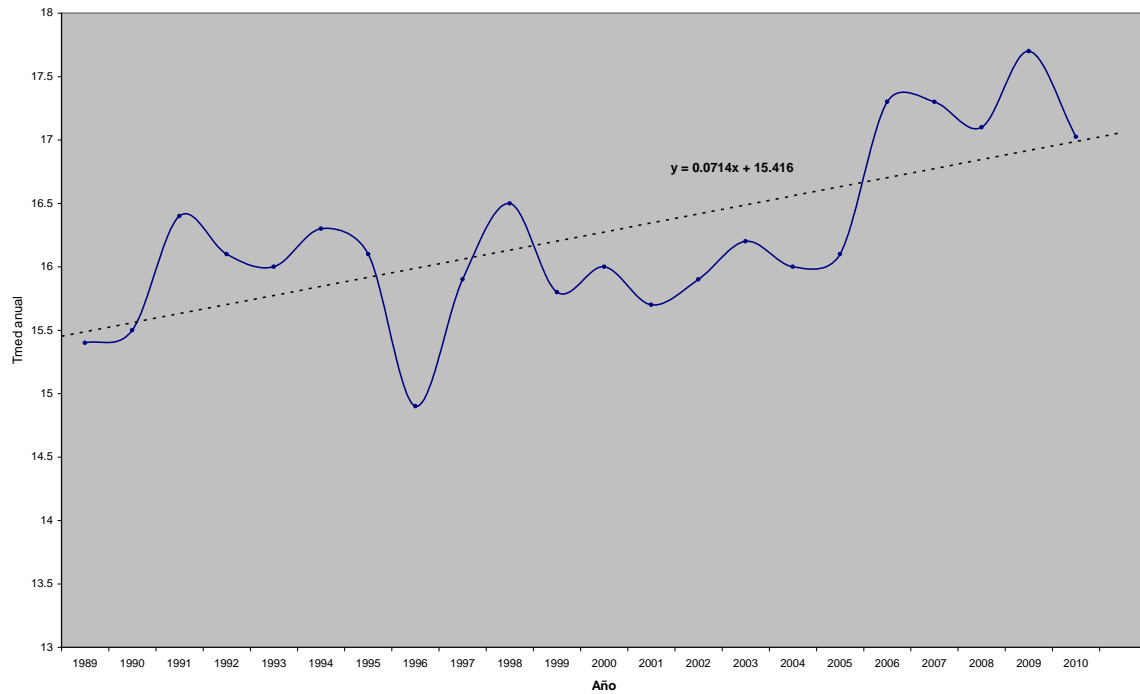


Figura 5.1. Gráfica que muestra los registros obtenidos de las temperaturas medias anuales en el Distrito Federal de 1989 a 2010 así como su tendencia

El promedio de temperaturas medias anuales de 1989 a 2010 en el Distrito Federal es de 16.2 ° C, tomando en cuenta esta aproximación y la tabla de clasificación de climas por su temperatura media anual, se define como clima templado, que se presume sean las condiciones favorables para el desarrollo del proyecto.