

Propuesta de un humedal artificial superficial para el ITS de Martínez de la Torre.

Miguel Ángel López-Ramírez*, César Argüelles-López y Mario Rafael Aguilar-Rodríguez

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. Martínez de la Torre, Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: malopez@tecmartinez.edu.mx; Tel.: 2292-285863

Contaminación de Agua, Suelo y Aire (Tratamientos Biológicos).

Resumen: Uno de los principales problemas a nivel mundial y la principal temática de la Agenda 2030 es la escasez del agua y la contaminación a este recurso provocado por los vertimientos de aguas residuales domésticas, municipales e industriales afectando sus propiedades de manera biológica, química y física degradando de manera indirecta la calidad de los suelos, daños a la biota y la salud. La zona de Martínez de la Torre no es la excepción debido a que no se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, debido a lo anterior se propone la implementación de un humedal para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, esto con la finalidad de reducir la contaminación que estas puedan ocasionar a los ríos, aguas subterráneas y suelos. Dentro de los parámetros de diseño se contemplan parámetros teóricos como son flujo de agua residual generado y contaminantes en el agua, obteniendo como resultado el diseño teórico de un humedal artificial superficial con las siguientes características: 13 m de ancho, 52 m de largo y 30 m de ancho, además de un tiempo de retención de 5 días con 22 horas.

Palabras claves: Agenda 2030; Planta de tratamiento de aguas residuales; humedal artificial superficial.

Proposal for an artificial surface wetland for the ITS of Martínez de la Torre.

Abstract: One of the main problems worldwide and the main theme of the Agenda 2030 is the scarcity of water and the contamination of this resource caused by the discharge of domestic, municipal and industrial wastewater, affecting its properties in a biological, chemical and physical way, degrading indirectly the quality of soils, damage to biota and health. The Martínez de la Torre area is not the exception because there is no wastewater treatment plant, due to the above, the implementation of a wetland for the treatment of wastewater generated in the Higher Technological Institute is proposed. of Martínez de la Torre, this in order to reduce the pollution that these can cause to rivers, groundwater and soils. The design parameters include theoretical parameters such as the flow of wastewater generated and pollutants in the water, resulting in the theoretical design of a surface artificial wetland with the following characteristics: 13 m wide, 52 m long and 30 m wide, in addition to a retention time of 5 days and 22 hours.

Keywords: Agenda 2030; Residual water treatment plant; surface constructed wetland.

Introducción

Actualmente la ingeniería en aguas residuales se encuentra en un proceso de desarrollo y mejora para tratar las aguas recolectadas de las comunidades urbanas y rurales ya que muchas veces deben devolverse al ambiente con la finalidad que estas no lo deterioren. Durante los últimos años el mundo ha visto las consecuencias en el mal tratamiento en el uso doméstico, industrial y comercial.

En algunas circunstancias los cuerpos receptores donde terminan las aguas residuales no pueden mitigar o neutralizar la carga de contaminantes, por este motivo las aguas residuales antes de ser descargadas deben recibir algún tipo de tratamiento que modifiquen las condiciones iniciales y den como resultados parámetros permisibles dentro de la normativa mexicana.

Debido a lo anterior el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre tiene como objetivo la implementación de humedales artificiales para dar un tratamiento a las aguas residuales generadas en sus instalaciones con la finalidad de reducir los impactos ambientales ocasionados por dichas aguas y así mismo brindar apoyo a los estudiantes en proyectos integrales y prácticas.

Marco Teórico

Humedales

El término “humedales artificiales” suele ser empleado como definición de aquellos sistemas que se diseñan para utilizar los procesos naturales que ocurren en el ambiente y que implican el uso de vegetación, material de soporte y asociaciones microbianas, con el objetivo de ayudar en el tratamiento de las aguas residuales (Vymazal, 2014). Esto ha llevado a la definición en detalle de su hidrología interna y externa, del material vegetal contenido en él, de su composición en cuanto a medios de soporte, de la forma en que fluye el agua a través de ellos, del tipo de contaminantes a tratar, entre otros (Kadlec y Wallace, 2009).

Como se puede observar en la figura 1 se identifican los tipos de humedales de acuerdo al flujo.

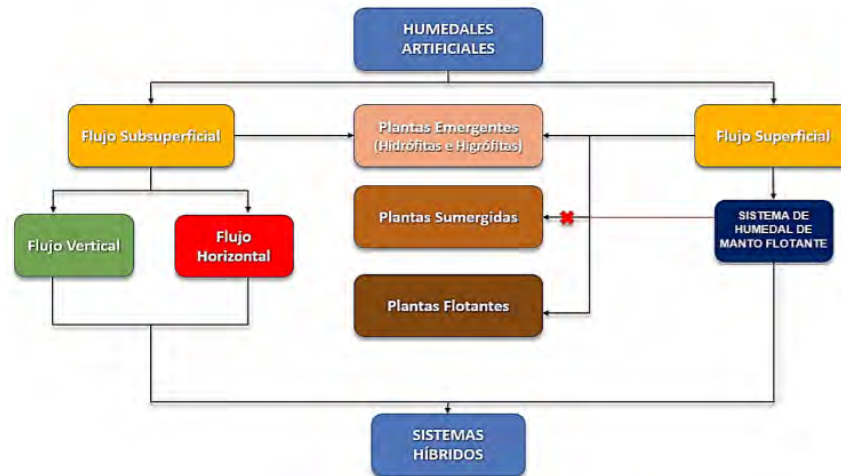


Figura 1. Tipos de humedales artificiales (González-Alonso y Hernández Orjuela, 2020).

A continuación, se definirán los tipos de humedales:

Humedales subsuperficiales:

Se caracterizan debido a que el flujo de agua a tratar, atraviesa un sustrato poroso que suele tener una profundidad entre 0.3 a 0.8 m, que a su vez permite el desarrollo de las plantas emergentes, donde las raíces y rizomas están en contacto con el agua, de modo que la lámina de agua este permanentemente por debajo del sustrato. Existen dos sistemas de humedales subsuperficial en función al flujo de agua: Sistema de flujo horizontal y sistema de flujo vertical (Martínez, 2014).

Flujo Horizontal:

Este sistema se caracteriza por que el flujo de agua atraviesa por gravedad de manera horizontal el sustrato y las raíces de las plantas, permitiendo la descontaminación del agua a tratar de manera biológica y a su vez, disminuir la materia orgánica y las distintas formas químicas de nitrógeno y fósforo, principalmente (García y Corzo, 2008).

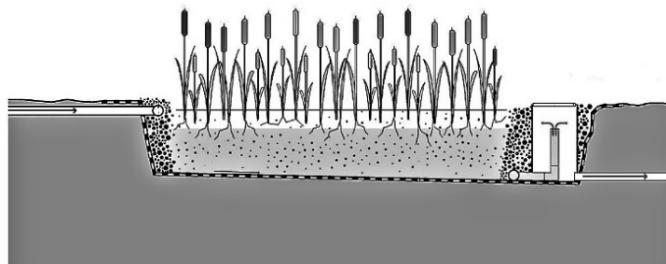


Figura 2. Humedal subsuperficial flujo horizontal (Tilley et al., 2018).

Flujo Vertical:

Se caracteriza por recibir aguas residuales de manera homogénea en la superficie del sustrato poroso, y estas van infiltrándose con trayectoria más o menos vertical hasta ser captados en el fondo del humedal por una red de desagüe. El suministro del agua a tratar de manera vertical permite una considerable transferencia de oxígeno aún más el sustrato, mejorando los procesos aeróbicos y de nitrificación mediante tubos cribados de aireación. (García y Corzo, 2008).

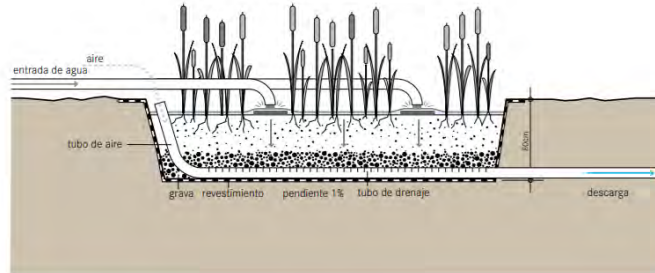


Figura 3. Humedal subsuperficial flujo vertical (Tiley et al., 2018).

Humedales superficiales:

Este tipo de sistema se caracterizan por que la lámina de aguas presente en el humedal, se encuentra a cielo abierto, en estos tipos de humedales se utilizan diversos tipos de plantas y diferentes mecanismos de depuración de acuerdo a la vegetación a implementar. El desarrollo de las plantas se da en condiciones de inundación total o parcial; en los humedales superficiales generalmente la profundidad oscila entre 0.3 a 0.7 metros (Martínez, 2014).

En estos humedales, la alimentación y el tránsito de las aguas tienen contacto con las raíces, en el cual las plantas están enraizadas en el sustrato que se encuentra en el fondo del cuerpo hídrico, o mediante diversos sistemas, el sustrato puede estar en flotación (para el caso de plantas emergentes); el uso de la vegetación flotante, las plantas se encuentran sobre la lámina del agua y no requieren de un sustrato, mientras en el caso de la vegetación sumergida sus raíces están cerca o plenamente enraizadas al suelo del humedal, sin embargo es la vegetación que menos se utiliza para la depuración de aguas residuales (IDEM).

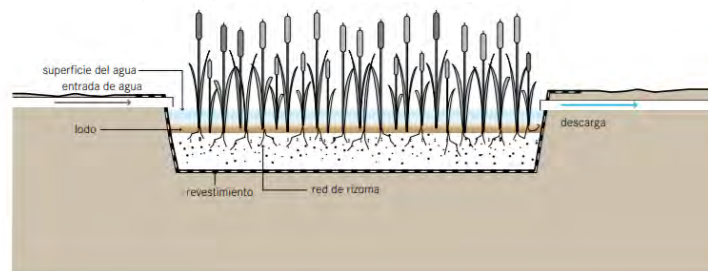


Figura 5. Humedal subsuperficial flujo vertical (Tiley et al., 2015).

Por especies flotantes:

Humedales que cuentan con plantas que se mantienen en flotación sobre la lámina de agua, y se caracterizan porque sus raíces no llegan a tocar el fondo del cuerpo hídrico, proliferan en condiciones de eutrofización y no requieren de un sustrato para el desarrollo de la especie. Algunas especies son la lenteja de agua (*Lemna sp.*), el buchón de agua (*Eirchornia crassipes*), oreja de elefante (*Salvinia auriculata*), entre otras (Kadlec y Wallace, 2009).

Por especies sumergidas:

Estos humedales cuentan con plantas que sus tallos, raíces y hojas se encuentran sumergidas completamente por el agua, y sus raíces están enraizadas al suelo del humedal. Son pocas las especies utilizadas para la remediación de cuerpos hídricos, son utilizadas principalmente como especies ornamentales en acuarios o estanques. Algunas de estas

especies son las mil hojas (*Ceratophyllum demersum*), miramar (*Hygrophila polysperma*), Hydrilla (*Hydrilla verticillata*), entre otras (IDEM).

Por especies emergentes:

Son aquellos humedales que poseen plantas que se caracterizan por que sus raíces crecen en un sustrato total o parcialmente inundado, sus tallos pueden atravesar la lámina de agua y sus hojas emergen por encima de la superficie permitiendo el desarrollo de la fotosíntesis, floración, fructificación, entre otras funciones de los vegetales. Algunas especies de este tipo son los juncos (*Schoenoplectus californicus*, *Scirpus acutus*, *Scirpus lacustris*), heliconias (*Heliconia psittacorum*), alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), la totora (*Thypha latifolia*), entre otras (IDEM).

Una vez conocidos los tipos de humedales nos concentraremos en las aguas residuales y los parámetros a estudiar.

Agua residual

Uno de los principales inconvenientes al momento de tratar las aguas residuales, son los componentes orgánicos ya que estos provocan una considerable demanda del oxígeno disuelto. Los componentes inorgánicos son los sólidos de origen mineral, como lo son las sales minerales (arcilla, arena, lodo, gravas) y elementos considerados como nutrientes, como el nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros.

Los componentes biológicos son los que están presentes en el agua residual como organismos vivos de máxima capacidad metabólica, produciendo fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica, de los cuales destacan como organismos vivos presentes en el agua residual algas, bacterias, virus, flagelados, ciliados, rotíferos, nemátodos, anélidos, rotíferos, protozoarios, rizópodos, entre otros. (Ferrer-Polo et al., 2018). Metcalf & Eddy (1995), presenta los rangos de una composición típica de las aguas residuales urbanas domésticas, recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de las aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1995).

Parámetro	Unidad	Concentración		
		Baja	Media	Alta
Sólidos Totales	mg L ⁻¹	390	720	1230
Sólidos Disueltos	mg L ⁻¹	270	500	860
Sólidos Suspendidos	mg L ⁻¹	120	210	400
Sólidos sedimentables	mg L ⁻¹	5	10	20
DBO en 5 días	mg L ⁻¹	110	190	350
DQO	mg L ⁻¹	250	430	800
Nitrógeno	mg L ⁻¹	20	40	70
Fósforo	mg L ⁻¹	4	7	12
Aceites y grasas	mg L ⁻¹	50	90	100
Compuestos orgánicos volátiles	mg L ⁻¹	<100	100-400	>400
Coliformes totales	NMP	106 - 108	107 - 109	107 - 1010
Coliformes fecales	NMP	103 - 105	104 - 106	105 - 108

Una vez establecidas las concentraciones se procede al cálculo del humedal.

Materiales y Métodos

Ubicación del sitio

El Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre se encuentra ubicado en la Zona 14Q, 705921.42 m E y 2218459.51 m N, en el municipio de Martínez de la Torre, ubicado entre aproximadamente a 730 metros de la carretera a Banderilla y 230 metros del río Filobobos.



Figura 6. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre (Google Maps, 2020).

Método de cálculo

Se calculan las dimensiones de un humedal artificial tipo superficial basado en la carga orgánica (DBO_5) por el área (método analítico de Reed y asociados en 1995), siguiendo los siguientes pasos:

1. Estimar el caudal de agua residual producida
2. Proponer un DBO_5 de acuerdo a las características de Metcalf y Eddy (1995)
3. Cálculo con los parámetros de DBO_5 por el método de Reed et al., 1995.

Resultados y Discusiones.

Estimación del agua residual producida.



Figura 7. Estimación de las variaciones horarias en el caudal del agua residual generada en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre

Se considera una generación de agua residual en promedio por alumno de 25 L d^{-1} y por trabajador académico y/o administrativo 75 L d^{-1} , de acuerdo con lo sugerido por la literatura especializada, se estima que, para una matrícula de 1000 alumnos, y una plantilla laboral de 100 trabajadores, se tenga una generación de agua residual de $32.5 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.

De igual manera, otro factor a considerar para el diseño de los humedales artificiales y el tratamiento de aguas residuales, es la condición crítica de operación, causada por las variaciones del caudal del agua tratar, por lo tanto, lo anterior se estima con base en el caudal diario promedio ($32.5 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$), para obtener las condiciones críticas originales

por caudales pico. Por ello, se ha contemplado un caudal de generación por hora, es decir, los $32.5 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ se han distribuido entre las horas que dura la jornada académica en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, cuando está ya se encuentre funcionando en sus nuevas instalaciones, por ello, se ha asumido que la jornada inicie a las 07:00 hrs. y culmine a las 21:00 hrs., es decir, una jornada laboral de 14 horas de lunes a sábado. Derivado de lo anterior, se generó una curva de generación de agua residual, misma que se detalla en la figura 7.

A pesar de tener un caudal estimado para proceder al cálculo se propone un porcentaje crítico de producción del 10% por lo que el caudal de operación sería de $35.75 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.

Propuesta de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se propone una Demanda Bioquímica de Oxígeno de 350 mg L^{-1} al ocupar el parámetro crítico (alto) se garantiza alcanzar la eficiencia deseada en el caudal de salida.

Método de Reed et al., 1995

Se calcula el tiempo de retención con la ecuación:

$$t = \frac{\ln(C_e) - \ln(C_s) + \ln(A)}{0.7 K_T (A_v^{1.75})}$$

Donde:

T: Tiempo de retención en días

C_e : Concentración de Entrada al humedal en mg L^{-1}

C_s : Concentración de Salida del humedal en mg L^{-1}

A: Efluente secundario 0.7 - 0.85

A_v : Área superficial específica para actividad microbiana $12 - 16 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$

K_T : $0.0057(1.06)^{(T-20)}$

A continuación, se sustituyen los valores:

C_e : 350 mg L^{-1}

C_s : 30 mg L^{-1}

A: *0.85

A_v : * $12 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ (Valor crítico)

K_T : $0.0057(1.06)^{(*25.6-20)}$

*Valores críticos para el diseño de humedales

$$t = \frac{\ln(350) - \ln(30) + \ln(0.85)}{0.7 * 0.00789 * (12^{1.75})}$$

$$t = 5.36 \text{ días}$$

Se procedió a calcular el área superficial proponiendo un humedal con una profundidad de 30 cm (0.30 m) y una compactación del 0.95.

$$A_s = \frac{Q * t}{y * n}$$

Donde:

A_s : Área superficial en m^2

Q: Caudal en $\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$

y: Profundidad

n: Porosidad

Se sustituyen los valores por:

Q: $35.75 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$

y: 0.20 m

n: 0.95

$$A_s = \frac{35.75 * 5.36}{0.30 * 0.95}$$

$$A_s = 672.69 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones del humedal se toma la relación rectangular típica $L : W = 4 : 1$

$$W = \sqrt{\frac{A_s}{4}}$$

Donde:

W: Ancho en m

A_s : Área superficial

Sustitución:

$$W = \sqrt{\frac{672.69}{4}}$$

$$W = 12.97 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$L: 51.87 \text{ m}$$

Una vez obtenido las dimensiones del humedal se procede a realizar una representación gráfica del humedal obtenido.

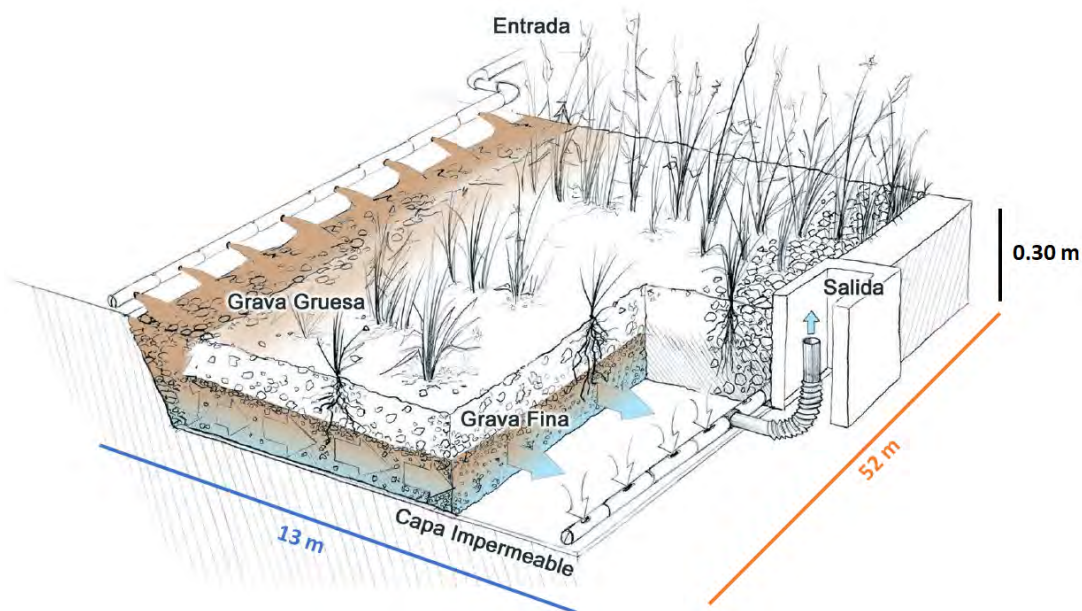


Figura 8. Humedal propuesto para el ITS de Martínez de la Torre (Adaptado de Martín-García et al., 2006).

Conclusiones

1. Los modelos matemáticos analizados para los sistemas de agua superficial libre requieren ser comprobados con datos de campo ya que son sensibles a los cambios de temperatura en los lugares donde se van a llevar a cabo.
2. Si los modelos matemáticos son óptimos el agua tratada por el humedal será utilizada para sistema de riego en las instalaciones.
3. La aplicación de sistemas de humedales reduce el costo de tratamiento al tratarse de un sistema ecológico y sin aplicación de reactivos químicos o sistemas costosos de bombeo y de movimiento.

Recomendaciones:

1. Se debe usar material impermeabilizante en la construcción de los humedales debido que el agua se puede filtrar y contaminar las aguas subterráneas.
2. Se debe utilizar flora de la región ya que tiene resiliencia a los cambios de clima.
3. Se debe estabilizar la flora a ocupar regando en pequeñas proporciones con las aguas residuales hasta que se cree resiliencia.
4. El caudal de la instalación debe estar operando y continuo para poder realizar el proyecto y en periodos vacacionales el caudal de agua debe suministrarse esto con la finalidad de mantener óptimo el humedal.
5. Se recomienda un pretratamiento y un tratamiento primario para reducir la concentración de sólidos en las aguas residuales antes de que entren al humedal.
6. Se propondría una pendiente del 1% para que el agua tratada caiga de manera natural por la gravedad y así evitar problemas de salida con el efluente.
7. Dar mantenimiento eliminando las malas hierbas y eliminar árboles dentro de la unidad.

Bibliografía

- Ferrer-Polo, J., Seco-Torrecillas, A., y Robles-Martínez, Á. 2018. Tratamientos biológicos de Aguas Residuales. Valencia: Universitat politècnica de Valencia
- García, J. y Corzo, A. 2008. Depuración con humedales construidos, Guía práctica de diseño, construcción y exploración de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Barcelona: Universidad Politècnica de Catalunya.
- Google Earth Pro. 2020. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. Martínez de la Torre, Veracruz.
- Reed, S. C., Miledlebrooks, J. y Crites, R.W. 1995. Natural systems for waste management y treatment, 1era edición: Mc Graw Hill. New York, USA.
- González-Alonso, A.M. y Hernández-Orjuela, O.A. 2020. Evaluación de remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas por plantas ornamentales mediante humedales flotantes en el cantón militar de Apiay, Villavicencio (Meta).
- Kadlec, R. H. y Wallace, S.D. 2009. "Treatment Wet-lands". Florida: CRC Press. Tesis de Grado. Universidad de Santo Tomás, Villavicencio.
- Martín-García, I., Betancort-Rodríguez, J.R., Salas-Rodríguez, J.J., Peñate Suárez, B., Pidre-Bocardo, J.R. y Sardón-Martín, N. 2006. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes, 1era edición: Instituto Tecnológico de Canarias. Canarias, España.
- Martínez, P. A. 2014. Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas. Tesis doctoral. Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Metcalf & Eddy. 1995. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, 3era edición., Vol. I, Madrid: McGraw-Hill. Interamericana de España.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R. y Zurbrügg, C. 2018. Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento, 2da. edición: Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag). Dübendorf, Suiza.
- Vymazal, J. 2014. Constructed wetlands for treatmentof industrial wastewaters: A review, Ecological Engineering, 73:724–751.