

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS PANTANOS ARTIFICIALES INSTALADOS EN SERIE CON *Phragmites australis* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Ing. Lawrence Enrique Quipuzco Ushñahua*

RESUMEN

La presente investigación consistió en evaluar el comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

La fuente de agua residual fue captada de la red de desagües de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las aguas residuales fueron conducidas mediante tuberías hacia un tanque y cilindros sedimentadores y posteriormente se distribuyó hacia dos pantanos instalados en serie sembrados con *Phragmites australis*: un pantano horizontal seguido de un pantano vertical. El medio poroso de los pantanos estaba constituido por substratos de grava y arena. Los pantanos se hicieron operar con flujo subsuperficial en condiciones de alimentación continua. El monitoreo del desempeño del sistema de tratamiento se llevó a cabo durante los meses de noviembre del 2000 y enero del 2001, con muestreo semanal. Al hacer un análisis del comportamiento de los SST y de la DBO_5 en el pantano horizontal se obtuvieron una remoción del 97,2% y 79,6%. En el pantano horizontal se realizó la mayor remoción de materia orgánica debido a la efectiva mineralización. En contraste, un pobre desempeño fue observado en el pantano vertical. La DQO es mayormente eliminada en el pantano horizontal (84,3%). En esta etapa el filtro de arena fue responsable para la mayor remoción de DQO. El nivel de remoción de sulfato por etapas en el sistema de tratamiento fue significativo para ambos pantanos con un 71,2% para el pantano horizontal y 52,85% para el pantano vertical. El nivel de eficiencia en la remoción de coliformes fecales y enteroparásitos en el sistema de tratamiento fue significativo alcanzando porcentajes de 98 y 62% respectivamente.

Palabras clave: Pantanos artificiales, *Phragmites australis*, alimentación continua, flujo subsuperficial.

ABSTRACT

The present investigation consisted on evaluating the removal capacity of two artificial wetlands installed in series with *Phragmites australis* for the domestic wastewater treatment. The source of wastewater was captured of the net of drainage of the Universidad Nacional Agraria La Molina. The domestic wastewaters were driven by means of pipes toward a tank and cylinders of sedimentation and later, it was distributed toward two constructed wetlands installed in series sowed with *Phragmites australis*: a horizontal wetland followed by a vertical wetland. The horizontal wetland had characteristic geometric of trapezoidal section. The base and the banks of the wetland were covered with polyethylene plastic and the bottom of the wetland had a slope of 1% toward the entrance. The porous mean was constituted by substrata of gravel and sand using 3 material sizes. The vertical wetland was installed to the exit of the horizontal wetland and it contained different layers of selected substrata. The wetlands were made operated with subsuperficial flow under conditions of continuous feeding, flow was given to the wetlands during the whole day with a time of permanency of the wastewater inside each wetland of 24 hours. The evaluation of the performance of the treatment system was carried out during the months of November 2000 and January 2001, with weekly sampling. When making an analysis of the behaviour of the TSS and of the BOD_5 in the horizontal wetland a removal of 97,2% and 79,6% were obtained. In the horizontal wetland was carried out the biggest removal of organic matter due to the effective mineralization. In contrast, a poor performance was observed in the vertical wetland. The COD is mostly eliminated in the horizontal wetland (84,3%). In this stage the filter of sand was responsible for the biggest removal in COD. The level of removal of sulfate for stages in the treatment system was significant for both wetlands with 71,2% for the horizontal wetland and 52,85% for the vertical wetland. The level of efficiency in the removal of fecal coliforms and enteroparasites in the treatment system was significant reaching percentages of 98 and 62% respectively.

Key words: Constructed wetland, *Phragmites australis*, continous feeding, subsuperficial flow.

* Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Miembro del Instituto de Investigación de la FIGMMG–UNMSM. E-mail: lawrence2002pe@yahoo.com

1. INTRODUCCIÓN

La pérdida de la calidad de agua es crítica en algunas regiones del país y se debe fundamentalmente a la contaminación por efluentes provenientes de los desechos domésticos que afectan fuentes de abastecimiento de agua. Esto trae como consecuencia la proliferación de enfermedades y el deterioro irreversible del medio ambiente.

La tecnología de pantanos artificiales está definida como un complejo ecosistema de substratos saturados, vegetación (macrófitas) y agua, cuyo objetivo es la remoción de la mayor cantidad de contaminantes del agua residual a través de mecanismos de depuración que actúan en los pantanos como la remoción de sólidos suspendidos por sedimentación y filtración; biodegradación de la materia orgánica a partir de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos; eliminación de microorganismos patógenos por sedimentación, filtración, toxicidad por antibióticos producidas por las raíces de las macrófitas, absorción en partículas de arcilla y la acción predatoria de otros organismos; remoción de metales pesados atribuido al fenómeno precipitación-absorción; precipitación de los hidróxidos, sulfuros; y ajuste de pH.

La tecnología de los pantanos artificiales permite combinar diferentes tipos de pantanos con diferentes regímenes de flujo, sistemas de alimentación, plantas y substratos, lo cual hace que se obtengan mayores posibilidades de optimizar el tratamiento.

II. OBJETIVO

Evaluar el tratamiento de aguas residuales domésticas, usando dos tipos de pantanos artificiales (pantano de flujo horizontal subsuperficial y pantano de flujo vertical ascendente).

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

3.1 UBICACIÓN DEL MÓDULO DE TRATAMIENTO DE PANTANOS ARTIFICIALES.

El módulo de tratamiento de pantanos artificiales se encuentra en un área de terreno de aproximadamente 300 m², ubicada dentro del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina-Lima.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PANTANOS ARTIFICIALES INSTALADOS EN SERIE CON *Phragmites australis*.

a) Sistema de captación e impulsión

La fuente de agua residual fue captada en el buzón N.º 19, correspondiente al último buzón de la red de desagües de la UNALM.

El sistema de captación utilizado es una bomba sumergible para lodos, con una capacidad de 1 HP. Entre la bomba y el tanque de sedimentación está instalada la tubería de impulsión de fierro galvanizado de 1 1/2" de diámetro y la tubería de conducción de PVC clase 10 de 1 1/2".

b) Sistema eléctrico y tanque de sedimentación

El sistema eléctrico está constituido por una llave de cuchilla para operar la bomba y un sistema de radar entre la bomba y el tanque de sedimentación para prender y apagar la bomba automáticamente.

El agua residual impulsada por la bomba es conducida por las tuberías de impulsión y conducción, y elevada hacia el tanque de fibra de vidrio con capacidad de 1 m³ para una sedimentación primaria. Este tanque se ubica en una elevación natural del terreno, creando un desnivel de 2,5 m con respecto al nivel de los pantanos, lo que favorece la distribución del agua por gravedad.

Fue necesario colocar en serie dos cilindros de plástico adicionales con capacidad efectiva de 0,41 m³ cada uno entre el tanque de sedimentación y el pantano horizontal con el fin de mejorar la remoción de sólidos y evitar obstrucciones en la tubería y en los lechos de los pantanos.

c) Sistema de distribución

El sistema de distribución de agua residual está instalado desde la salida del último cilindro de sedimentación hacia el pantano horizontal. Está constituido por tubería PVC SAL (desagüe) de 2" de diámetro y válvulas tipo compuerta para controlar mejor el flujo de agua hacia los pantanos.

d) Pantano horizontal

El pantano horizontal tiene las siguientes características geométricas: Sección transversal: trapezoidal; Base menor: 1,0 m; Base mayor: 2,0 m; Talud: 45°; Tirante de agua: 0,5 m; Longitud en la base: 8 m; Borde libre: 0,4 m.

La base y los taludes del pantano están revestidos con plástico polietileno de color negro de 8 mm de espesor. El fondo del pantano tiene una pendiente de 1% hacia la entrada. Teniendo en cuenta los criterios de diseño, el medio poroso está constituido por un substrato de grava y arena usando 3 tamaños de material dispuestos desde el fondo hacia arriba:

- Piedra chancada (1/2" de Ø) con una altura de 0,25 m

- Confitillo (3/8") 0,10 m
- Arena gruesa 0,10 m
- Confitillo (3/8") 0,05 m

En la cabecera del pantano se instaló un sistema de ingreso de agua a través de un codo y una tubería transversal perforada, con el objetivo de distribuir el agua de modo uniforme. Esta tubería se cubrió con una capa de grava de 1/2" de diámetro.

e) Instalación del pantano artificial de flujo vertical ascendente

El pantano vertical fue instalado a la salida del pantano horizontal. Consta de un barril de plástico de 0,6 m de diámetro y 0,95 m de altura. Este barril fue colocado en una fosa excavada de 1 m de profundidad a una distancia de 1,5 m de la salida del pantano horizontal, con el propósito de permitir el flujo de agua residual ascendente dentro del pantano vertical. El barril contiene diferentes capas de substratos seleccionados dispuesto del fondo hacia arriba, como se indica a continuación:

- Piedra chancada (15-30 mm de Ø) con una altura de 0,12 m
- Confitillo (4-10 mm) 0,13 m
- Arena (1-4 mm) 0,35 m
- Confitillo (4-10 mm) 0,18 m

La entrada de agua residual al pantano vertical se reguló con una llave compuerta de 1/2" de diámetro. Las tuberías que distribuyen y recogen el agua residual tanto en el fondo y como en parte superior del barril están conformando una corona de PVC de 1/2" de diámetro con perforaciones.

f) Siembra de *Phragmites australis*

Para implantar una cobertura vegetal de *Phragmites australis* en los pantanos se procedió al trasplante de rizomas, los cuales se obtuvieron en los alrededores del lugar.

3.3 Funcionamiento del sistema

Los pantanos se construyeron para operar con flujo subsuperficial en condiciones de alimentación continua, es decir se suministró caudal a los pantanos durante todo el día con un tiempo de permanencia del agua residual dentro de cada pantano de 24 horas. Tanto en el pantano horizontal como en el pantano vertical se realizó el aforo mediante el método volumétrico. El promedio de caudales tratados fue el siguiente:

| | |
|---------------------|-------------------------|
| Pantano horizontal: | 2,4 m ³ /d |
| Pantano vertical : | 0,096 m ³ /d |

El sistema ha sido operado continuamente desde agosto del 2000, sin embargo el pantano vertical tuvo que ser operado recién a partir de octubre del 2000 a consecuencia de los inconvenientes y daños sufridos por inundaciones y paso de cargadores frontales cerca al área del proyecto.

Realizando el diseño teórico de los pantanos se obtuvo que durante el periodo de operación la tasa de aplicación hidráulica del pantano horizontal fue de 0,15 m³/m²-d y de 0,34 m³/m²-d en el pantano vertical.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Análisis del agua residual

Se realizaron mediciones de los principales parámetros físicos, químicos y biológicos con el fin de evaluar el comportamiento de las aguas residuales antes y después del tratamiento. Asimismo se determinó la eficiencia del sistema de pantanos artificiales. Los análisis se realizaron siguiendo la metodología descrita en *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*. APHA. 19th Edition, 1995.

Se evaluaron los siguientes parámetros: ph, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, alcalinidad, sólidos totales, sólidos suspendidos, DBO₅, DQO, sulfato, coliformes fecales y enteroparásitos.

4.2 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Los sitios seleccionados de muestreo fueron en el afluente del sistema, efluente del tratamiento primario (sedimentadores), efluente del pantano horizontal y en el efluente del pantano vertical. Se tomaron muestras un día a la semana durante los meses de noviembre del 2000 a enero del 2001.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización del agua residual cruda

Con los valores obtenidos de las concentraciones de los contaminantes del agua residual cruda en el afluente del sistema de tratamiento se determinó el tipo de agua residual, clasificándola en agua residual doméstica de fuerte concentración.

5.2 Caracterización del agua residual tratada

En los Cuadros N.º1 y N.º 2 se muestran los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos del sistema de pantanos artificiales. En estos cuadros se detallan las concentraciones a la entrada

y salida de cada una de las etapas, el rendimiento para la etapa misma y finalmente el rendimiento total. De la información obtenida acerca de las características de las aguas residuales en el sistema de pantanos artificiales se puede observar lo siguiente:

a) Temperatura

Las variaciones de temperatura del agua residual cruda y del efluente de cada uno de los pantanos durante el periodo de muestreo coinciden con los cambios estacionales, pudiendo observarse que a partir del mes de enero se tuvieron las temperaturas más altas. Además se pudo observar que las temperaturas del efluente del pantano horizontal se situaron por debajo de las del agua residual cruda debido al flujo subsuperficial. Las temperaturas del efluente del pantano vertical fueron ligeramente superiores a las temperaturas del efluente del pantano horizontal debido al aumento de las velocidades de las reacciones químicas producidas en la cama y a que el sistema se transforma en anaeróbico.

b) pH

De manera general los valores promedios de pH del agua residual a través del sistema fueron ligeramente alcalinos, oscilando entre 7,1 y 7,24.

c) Conductividad eléctrica

Los valores promedios de la C.E del agua residual a través del sistema de tratamiento no presentaron cambios drásticos. Este parámetro se mantuvo constante en todos los puntos, oscilando entre 1,57 a 1,63 mmhos/cm, lo cual significa un agua de baja salinidad sin ninguna restricción de uso para riego.

d) Alcalinidad

Este parámetro presentó un incremento a través del sistema, probablemente debido a la acumulación de carbonatos en las unidades de tratamiento durante el periodo de su operación.

e) Turbidez

El agua residual afluyente al sistema de pantanos artificiales presentó una elevada turbiedad (549,2 UNT) debido a la presencia de sólidos en suspensión de gran tamaño. Posteriormente fue disminuyendo en el efluente del pantano horizontal (100,34 UNT) y vertical (30 UNT) por acción del medio filtrante en los pantanos.

f) Sólidos Suspendidos Totales (SST)

De acuerdo a estos resultados obtenidos el pantano horizontal posee una notable capacidad de eliminación de SST (97,2%). En esta etapa los SST fueron probablemente removidos por filtración, seguido por degradación aeróbica en la superficie o

anaeróbica dentro de la matriz del suelo. En contraste, el pantano vertical presentó una pobre capacidad de eliminación de SST (7,5%). Del análisis anterior se pudo deducir que la mayor parte del tratamiento se realizó hasta el pantano horizontal, y que el pantano vertical contribuyó con muy poco en la mejoría de calidad del agua en cuanto a remoción de SST.

g) DBO₅

Al hacer un análisis del comportamiento de la DBO₅ en cada una de las etapas de tratamiento se obtuvo una remoción del 27,3% en la primera etapa (sedimentadores) y en el pantano horizontal una remoción de 79,6%. Este es el proceso en el que se realiza la mayor remoción de materia orgánica debido a la efectiva mineralización. Posteriormente en el pantano vertical se presenta un valor negativo de remoción (-15,8%), lo que indica que la materia orgánica se ha estado acumulando en el pantano.

h) DQO

La DQO es mayormente eliminada en el pantano horizontal (84,3%). Luego en el pantano vertical se presenta un valor negativo (-23,8%). Igual con lo sucedido para la DBO₅, la DQO se incrementó por la acumulación de materia orgánica en el pantano.

i) Sulfato

El sistema de tratamiento es efectivo en reducción de concentraciones de sulfato; el rendimiento global del sistema fue de 88,24%. La remoción de sulfato en los sedimentadores fue de 13,4% la cual es poco significativa, sin embargo la remoción en el pantano horizontal y vertical fue de 71,2 y 52,85% respectivamente, la cual es bastante buena.

j) Coliformes fecales

La capacidad de remoción de coliformes fecales en el pantano horizontal y en el pantano vertical fue de 97 y 39% respectivamente, obteniendo un rendimiento global del sistema de 98%.

i) Enteroparásitos

El porcentaje de remoción de enteroparásitos en el sistema de tratamiento fue 62%. Se obtuvo una remoción por etapas de 51% en el pantano horizontal y 23% para el pantano vertical.

5.3 Adaptación Y Crecimiento De Los *Phragmites Australis*

- En el pantano horizontal, los *Phragmites australis* se adaptaron y propagaron rápidamente en 3 y 4 meses, llegando a alcanzar una altura promedio de 2,10 a 2,50 metros y a presentar un aspecto vigoroso (tallos resistentes y hojas verdes). Se

pudo observar una buena densidad de raíces del *Phragmites australis* al final del periodo de ocupación en el pantano.

- En el pantano vertical, *los Phragmites australis* tuvieron un crecimiento acelerado, sin embargo sólo alcanzaron a tener una altura promedio de 1,20 m a los tres meses de plantados. Los *Phragmites australis* presentaban un buen aspecto de color y fortaleza en sus hojas y tallos. Asimismo se observó una densidad de raíces menor en comparación a los del pantano horizontal.

VI. CONCLUSIONES

- Al analizar los rendimientos en cada etapa del sistema de tratamiento, se comprobó que el pantano horizontal presenta un mejor rendimiento que el pantano vertical.
- El nivel de remoción de SST en el pantano horizontal fue alto (97,2%) debido a una buena se-

lección del medio filtrante, lo que aseguró una muy buena filtración.

- El pantano horizontal mostró un buen comportamiento en el proceso de mineralización de la materia orgánica, manteniendo un buen rendimiento a lo largo del estudio. Su capacidad le permitió absorber altas concentraciones de DBO_5 y DQO, manteniendo medias de eliminación de 79,6 y 84,3% respectivamente.
- El pantano vertical fue operado completamente como un cuerpo de suelo saturado por el flujo continuo de agua residual dentro del pantano, como consecuencia fue imposible mantener buenas condiciones de aireación y degradación de materia orgánica, a pesar que la tasa de aplicación hidráulica y la carga orgánica se encontraban por debajo de las recomendadas según criterios de diseño.
- El nivel de remoción de sulfato por etapas en el sistema de tratamiento fue significativo para

Cuadro N.º 1 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS EN EL SISTEMA DE PANTANOS ARTIFICIALES
(Valores promedios representativos entre noviembre 2000 y enero 2001)

| PARAMETROS | AFLUENTE | EFLUENTE | | |
|------------------------------------|----------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | | ETAPA 1 SEDIMENTADORES | ETAPA 2 PANTANO HORIZONTAL | ETAPA 3 PANTANO VERTICAL |
| TEMPERATURA (°C) | 26.1 | 25.9 | 25.6 | 26.6 |
| pH | 7.24 | 7.18 | 7.1 | 7.12 |
| CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mmhos/cm) | 1.63 | 1.61 | 1.57 | 1.63 |
| ALCALINIDAD (mg/l) | 302.84 | 308.9 | 422 | 434.4 |
| TURBIDEZ (NTU) | 549.2 | 265.8 | 100.34 | 30 |

Cuadro N.º 2 DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE PANTANOS ARTIFICIALES
(Valores promedios entre 2000 y enero 2001)

| PARAMETROS | AFLUENTE | EFLUENTE | | | RENDIMIENTO GLOBAL |
|--|----------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | | ETAPA 1 SEDIMENTADORES | ETAPA 2 PANTANO HORIZONTAL | ETAPA 3 PANTANO VERTICAL | |
| DBO_5 mg/l (Remoción) | 347.83 | 252.72 (27.3%) | 51.68 (79.6%) | 59.85* (-15.8%) | 85.14% |
| DQO mg/l (Remoción) | 742 | - | 116.75 (84.3%) | 144.5* (-23.8%) | 84.30% |
| ST mg/l (Remoción) | 1741.50 | 1116 (33.1%) | 980 (16%) | 962.5 (1.8%) | 44.70% |
| SST mg/l (Remoción) | 460.98 | 194.23 (57.9%) | 5.08 (97.2%) | 4.7 (7.5%) | 99% |
| SULFATOS mg/l (Remoción) | 229.66 | 198.95 (13.4%) | 57.26 (71.2%) | 45.96 (19.7%) | 80% |
| COLIFORMES FECALES NMP/100ml (Remoción) | 9.3E+07 | - | 4.40E+06 (95%) | 1.70E+06 (61%) | 98% |
| ENTEROPARASITOS Número/l (Remoción) | 97 | - | 48 (51%) | 37 (23%) | 62% |

* No se tuvo en cuenta en el calculo de rendimiento global

ambos pantanos con un 71,2% para el pantano horizontal y 52,85% para el pantano vertical.

- El nivel de eficiencia en la remoción de coliformes fecales y enteroparásitos en el sistema de tratamiento no fue significativo alcanzando porcentajes de 98 y 62% respectivamente. De acuerdo con las normas sanitarias para el reuso de aguas residuales de la OMS no es apta para el reuso agrícola y acuícola.
- El crecimiento, la adaptación y la propagación de los *Phragmites australis* en los pantanos durante la temporada de investigación (agosto 2000– enero 2001) se produjeron rápidamente después de la plantación y puesta en marcha del sistema de tratamiento, lo que la califica como una especie adecuada para ser usada en pantanos artificiales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Brix, H. "Wastewater treatment in constructed wetlands: Systems design, removal processes and treatment performance". En *Constructed wetlands for water quality improvement*. Lewis Publishers. USA, 1993.
2. Brix, H. "Functions of macrophytes in constructed wetlands". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R.(eds.). Great Britain, 1997.
3. C. de Esparza, M. L. *Parámetros físicos, carga orgánica y nutrientes*. CEPIS. Lima, 1995.
4. España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Depuración de aguas con plantas emergentes*. Madrid, 1989.
5. Estudios técnicos de sustitución aplicables al saneamiento de aguas servidas de pequeñas comunidades. 2.^a ed. Sociedad Quebequence de Saneamiento de Aguas. Colombia, 1999.
6. García, J. Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales construidos. Tecnología del Agua. España 1997, p. 165.
7. Geller, G. "Horizontal subsurface flow systems in the german speaking countries". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R. (eds.). Great Britain, 1997.
8. Greenway, M. "Nutrient content of wetland plants in constructed wetlands receiving municipal effluent in tropical Australia". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R. (eds.). Great Britain, 1997.
9. Laber, J. Haberl, R. Two stage constructor wetland for treating hospital wastewater in Nepal. Institute for Water Provision. Austria, 1999.
10. Lakatos, G. "Application of constructed wetlands for wastewater treatment in Hungary". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R.(eds.). Great Britain, 1997.
11. Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales. 2.^a ed. Mac Graw-Hill Book, España, 1996.
12. Organización Mundial de la Salud. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Ginebra, 1989.
13. Ottova, V. "Microbial characteristics of constructed wetlands". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R. (eds.). Great Britain, 1997.
14. Reddy, K. R. D'Angelo, E. M. "Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetland". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R. (eds.). Great Britain, 1997.
15. Rivas Hernandez, A. *Diseño y diagnóstico de sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante humedales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, 1999.
16. Rivera, F. "The application of the root zone method for the treatment and reuse of high-strength abattoir waste in Mexico". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R. (eds.). Great Britain, 1997.
17. Schönborn, A. "Long term performance of the sand-plant-filter Schattweid (Switzerland)". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R. (eds.). Great Britain, 1997.
18. Seoanez Calvo, M. *Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales*. Ingeniería del Medio Ambiente. España, 2000.
19. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF. Edition 19th. 1995.
20. Wittgren, H. "Wastewater treatment in cold climates". En *Wetland systems for water pollution control*. Haberl, R. Perfler, R. (eds.). Great Britain, 1997.