

TENDENCIAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

TRENDS OF GREENHOUSE GASES IN HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND

ARLYN VALVERDE-SOLÍS, ING¹, ARNETH BEJARANO-MURILLO, ING²

RESUMEN

Objetivo: Se determinó la tendencia del gas de efecto invernadero (N₂O) en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal.

Método: Las unidades experimentales fueron dos sistemas de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal (HFSS) a escala piloto utilizados para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Ginebra, Valle del Cauca. Uno de ellos se plantó con *Phragmites australis* y otro sin plantar (control) a través de la metodología lineal y exponencial desarrollada por Anthony *et al.* 1995. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software SPSS Versión 17.

Resultados: Los resultados permitieron encontrar que 52% de las tendencias fueron rechazadas al no presentar comportamientos similares a los tipos de flujo reportados por Anthony, mientras que 9% y 39% tienden a los tipos lineales y exponenciales respectivamente.

Conclusión: El sistema tiende a comportarse como emisor de N₂O bajo las condiciones estudiadas.

Palabras clave: Humedales construidos; Aguas residuales; Gases de efecto invernaderos; Óxido nitroso; *Phragmites australis*.

ABSTRACT

Objective: We calculate trends of greenhouse gas emissions (N₂O) in horizontal subsurface flow constructed wetland.

Method: The experimental units were two sets of horizontal subsurface flow constructed wetlands (HFSS) at pilot scale. Those units were used for the treatment of wastewater from municipality of Geneva in department of Valle del Cauca. One facility was seeded with *Phragmites australis* and the other facility was kept unseeded (control) by linear and exponential methodology developed by Anthony *et al.* (1995). Statistical analysis was performed using SPSS.

Results: We found that 52% of greenhouse emissions trends behave different that previously reported by (Anthony *et al.*, 1995). Meanwhile 9% of trends behave linearly and 39% behave exponentially.

Conclusion: The system tends to behave like emitter of nitrous oxide N₂O under studied conditions

Keywords: Constructed wetlands; Wastewater management; Greenhouse gases; Nitrous oxide; *Phragmites australis*.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento de la población mundial demanda altos consumos de recursos naturales, entre ellos el agua (Guerrero *et al.* 2010), siendo este uno de los recursos más abundantes en la naturaleza, además de ser un elemento esencial para la vida en el planeta (Pérez 2010). Sin embargo, su utilización se determina por la dis-

ponibilidad en cuanto a calidad y cantidad, según el uso, que a su vez, genera aguas residuales que se vierten a fuentes receptoras y se convierten en potenciales riesgos para la salud humana asociados a enfermedades que son responsables del 80% de la morbilidad y mortalidad en los países en desarrollo (Botero *et al.* 2011).

De esta manera, los humedales construidos son

1. Director y consultor ISAS Ltda, Quibdó, Colombia. e-mail: arlynvs@gmail.com
2. Gerente ISAS Ltda. Consultor Internacional en Salud Ambiental, Quibdó, Colombia. e-mail: arnethbejarano@gmail.com

Fecha de recibido: Diciembre 13, 2010

Fecha de aprobación: Abril 7, 2011

una alternativa simple y rentable en el tratamiento de las aguas residuales para países en desarrollo (Vymazal 2009). En ellos, se desarrollan procesos físicos, químicos y biológicos necesarios para reducir nutrientes y contaminantes de las aguas residuales (Keddy 2010). La vegetación sembrada en estos humedales (*Phragmites australis*) desempeña un papel integral al transferir oxígeno de la atmósfera a la zona radicular y proporcionar un medio de soporte para los microorganismos responsables del tratamiento biológico. Se generan gases de efecto invernadero (GEI) que aumentan su concentración en la atmósfera y se asocian al calentamiento global (Préndez and Lara-González 2008), cuyas principales consecuencias son la elevación de la temperatura del planeta, que afecta a millones de seres vivos, volviendo a comunidades enteras más vulnera-

de Investigación y Transferencia de Tecnología en Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de ACUAVALLE SA del municipio de Ginebra, Valle del Cauca, Colombia a 3°43'50" latitud norte y 76°16'20" latitud oeste, con temperatura promedio de 23°C, precipitación media anual de 1280 mm y altura de 1040 msnm (Figura 1).

Unidades experimentales. La unidad experimental (UE) fue el módulo de humedales de flujo subsuperficial (HFSS) a escala real conformado por dos unidades, una sembrada con *P. australis* y otra sin plantar (control). El medio de soporte empleado estuvo compuesto por tres capas, una inferior (grava de 3/4"), media (gravilla de 3/8") y superior (carbonilla) con profundidades de 0.5 m, 0.05 m y 0.05 m respectivamente. Cada unidad se dividió en tres zonas o puntos de medi-

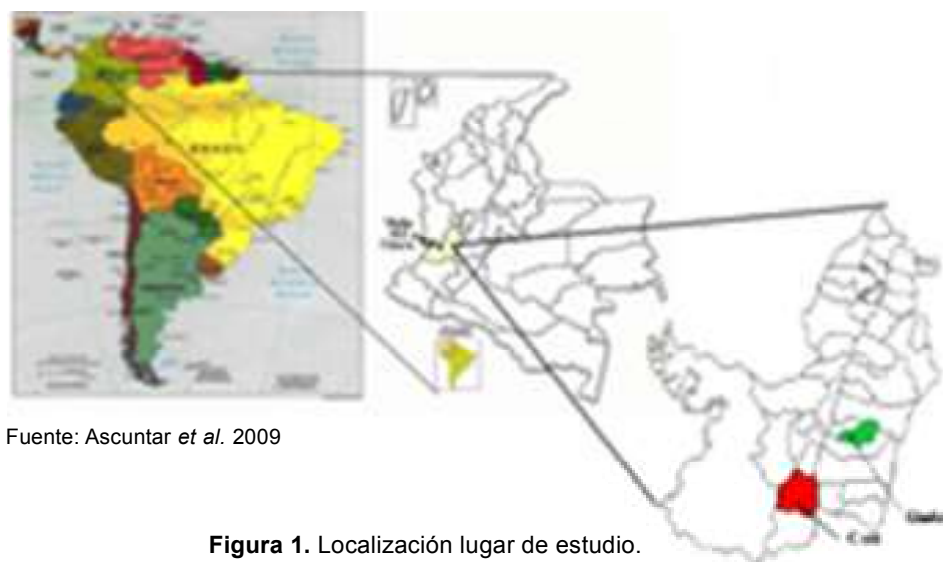


Figura 1. Localización lugar de estudio.

bles a diferentes enfermedades (Karki 2007). En esta investigación se determinó la tendencia de los GEI, en este caso el N_2O en un sistema de humedal construido de flujo subsuperficial horizontal que se utilizan en el tratamiento de las aguas residuales municipales (Bani Shahabadi et al. 2010).

METODOLOGÍA

Localización. El estudio se realizó en la Estación

ción, a la entrada (p01), media (p02) y salida (p03). Cada punto provisto de cuatro plantas de igual altura y tamaño en la unidad sembrada. El sistema se alimenta con agua residual doméstica proveniente de un tratamiento primario (laguna anaerobia). Todos sometidos a una carga hidráulica de $3.5 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$, que equivale a un tiempo nominal de retención hidráulico de 1.8 días. Fueron realizadas caracterizaciones fisicoquímicas de DQO, ORP, pH, temperatura. El gas se esti-



Figura 2. Unidades experimentales.

mó utilizando la técnica de la cámara cerrada (CE) (Wang *et al.* 2008a) (Figura 2).

Estimación GEI. Para estimar los GEI en los humedales construidos se utilizó la metodología de cámaras estáticas (CE) (Wu *et al.* 2009), que permitió determinar la variación de la concentración de los gases emitidos en cada punto de muestreo. De esta manera, se construyeron tres CE en acrílico de forma cilíndrica (0.40 m de diámetro y 1.7 m de altura). En su interior se ubicó un ventilador a 0.30 m de altura del medio de soporte y sello hidráulico del humedal, esto para favorecer la mezcla y homogenización del gas, y en la parte superior se colocó un termómetro y una manguera de plástico con una llave de paso de tres vías, formando el puerto de medición. Las cámaras se ubicaron de forma vertical y en simultáneo en los puntos (p01) de muestreo de cada unidad experimental. Una vez fijadas, se procedió a las mediciones.

Estas se realizaron del 18 al 25 marzo del 2009, entre las 7 am y 9 pm bajo características similares de las condiciones ambientales. Las muestras se recolectaron, en rangos de tiempo (0, 30, 60 minutos) por cada punto de muestreo para permitir la acumulación de los gases al interior de la cámara y luego extraer manualmente por medio de una jeringa muestras del gas, que se inyectaron a un vial con el fin de ser analizadas (cualificadas y cuantificadas) en un cromatógrafo de gases de marca Shimadzu GC-14^a, en el laboratorio de Isótopos Estables del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ubicado en el municipio de Palmira, Valle del Cauca.

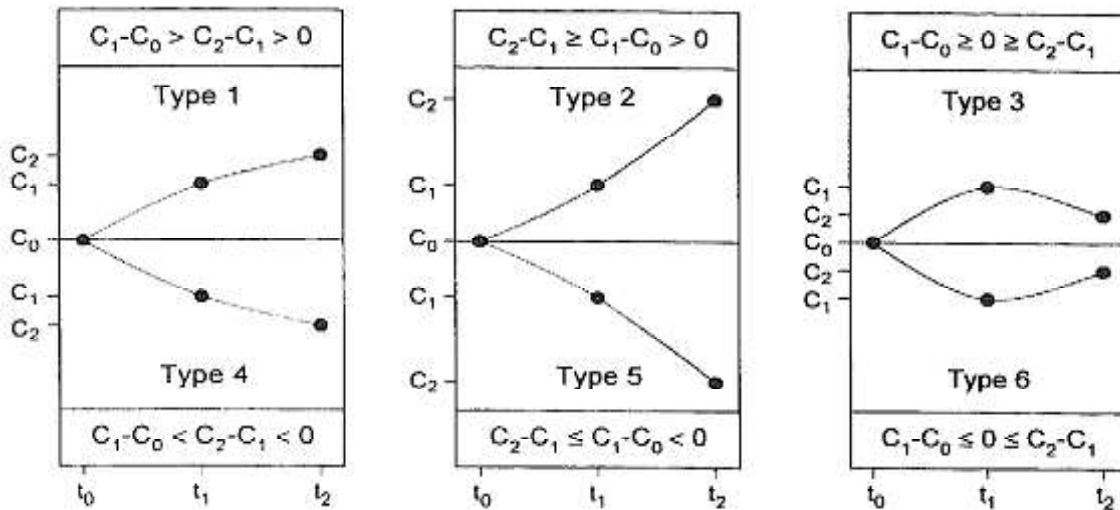
Tendencia de GEI. Para determinar la tendencia de los GEI se grafican los datos de concentración vs. tiempo de cada muestreo obtenido. Son lineales los que se generaron a una tasa constante y no lineales aquellos donde la tasa de concentración dentro de la cámara con respecto al tiempo, variaron debido a posibles fenómenos de difusión. De esta forma, la tendencia lineal es considerada ampliamente por diferentes autores (Wu *et al.* 2009), para estimar el flujo bajo la siguiente ecuación (Ec. 1). Por otra parte, el flujo de los no lineales se determina cuando el cambio de la concentración se mide en intervalos de tiempos iguales por medio del modelo exponencial (Anthony *et al.* 1995) donde se pueden obtener tendencias de seis tipos de gráficas, según la Ec. 2 y Gráfica 1.

Análisis estadístico. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS Versión 17.

RESULTADOS

Estimación GEI (N_2O). Se estimó la emisión del gas de efecto invernadero (N_2O) y se comparó entre los tratamientos plantados (*Phragmites*) y sin plantar (control).

Óxido nítrico (N_2O). En la Gráfica 2 se observa un diagra-



Fuente: Anthony *et al.* 1995

Gráfica 1. Tendencias de curvas modelo exponencial.

$$f = \frac{M \cdot P_c \cdot V_c}{A_c \cdot T_c \cdot R} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta t} \cdot \frac{1440 \text{ min}}{d} \quad \text{Ec. 1}$$

$$f = \frac{V \cdot U \cdot (C_1 - C_0)^2}{A \cdot t (2C_1 - C_2 - C_0)} \ln \left[\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1} \right]$$

$$\text{donde: } \left[\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1} \right] > 1 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- f = flux ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), M el peso molecular ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)
- P_c : la presión en la cámara (atm)
- V_c : volumen en la cámara (L)
- A_c : área transversal de la cámara (m^2)
- T_c : temperatura al interior de la cámara en (K)
- R : es la constante universal de los gases ideales ($0.082 \text{ atm} \cdot \text{L} / \text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$)

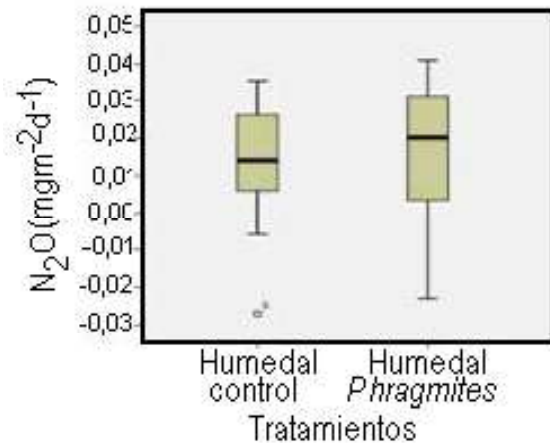
$\frac{\Delta C}{\Delta t}$: Gradiente de concentración con respecto al tiempo

($\text{ppmv} \cdot \text{min}^{-1}$).

U =Factor de conversión $1.44 \text{ (m}^3 \cdot \text{min} / \text{L} \cdot \text{d)}$

$C_{(t)}$ =Concentración de gas en un tiempo t

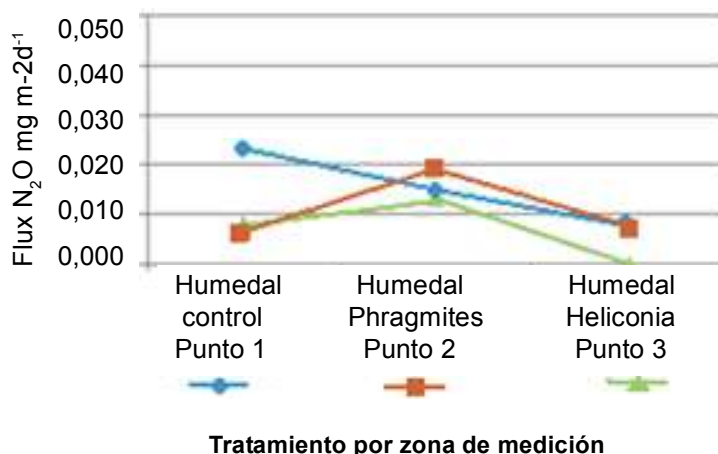
ma de caja con la distribución de los resultados obtenidos. En consecuencia, la variación promedio de los flujos de óxido nitroso estimados fueron de 0.013 y 0.015 , $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ para el humedal control y *Phragmites*, respectivamente. Además,



Gráfica 2. Emisión promedio (flux N_2O) en cada humedal.

se obtuvo un $p=0.180$ en el que no se encuentran diferencias estadísticas significativas de los flujos obtenidos.

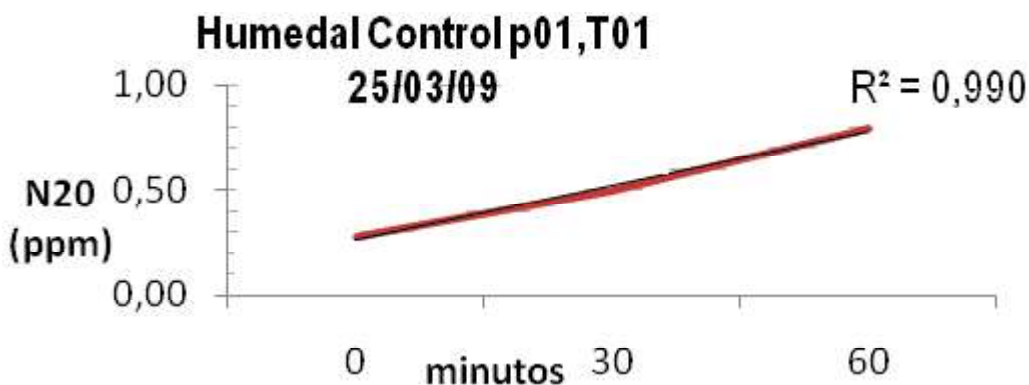
De igual manera, en la Gráfica 3 se presentan las estimaciones y variaciones de los flujos de óxido nitroso obtenidos en las zonas o puntos de medición, a la entrada (p01), media (p02) y salida (p03) de cada unidad de tratamiento. En la zona de entrada (p01), la estimación promedio fue de 0.024 y 0.03 . En la media (p02) de 0.007 y 0.008 y en la salida (p03) de 0.008 y 0.008 , de N_2O $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ para los tratamientos, *Phragmites*



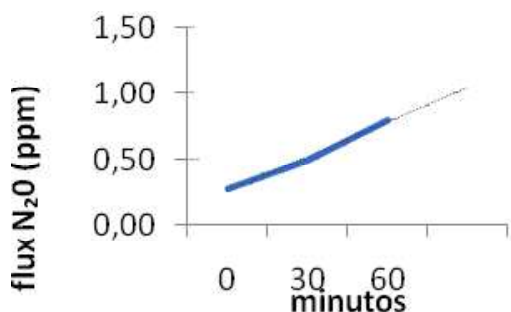
Gráfica 3. Comparación del flux N₂O entre puntos.

y control respectivamente. Esto indica que tanto en la zona de entrada como en la salida la tendencia del sistema fue de emisor de óxido nítrico. Adicionalmente, no existen diferencias significativas entre las zonas de medición en una misma unidad de tratamiento.

Por otra parte, de los 193 datos analizados, se rechazó 52% por no presentar comportamientos similares a los tipos de flujo reportados por Anthony, mientras del 48% restante, 9% representan la distribución de la tendencia de tipo lineal en los sistemas control y phragmites (Gráficas 4 y 5) y 39% la tendencia exponencial, respectivamente (Gráfica 6).



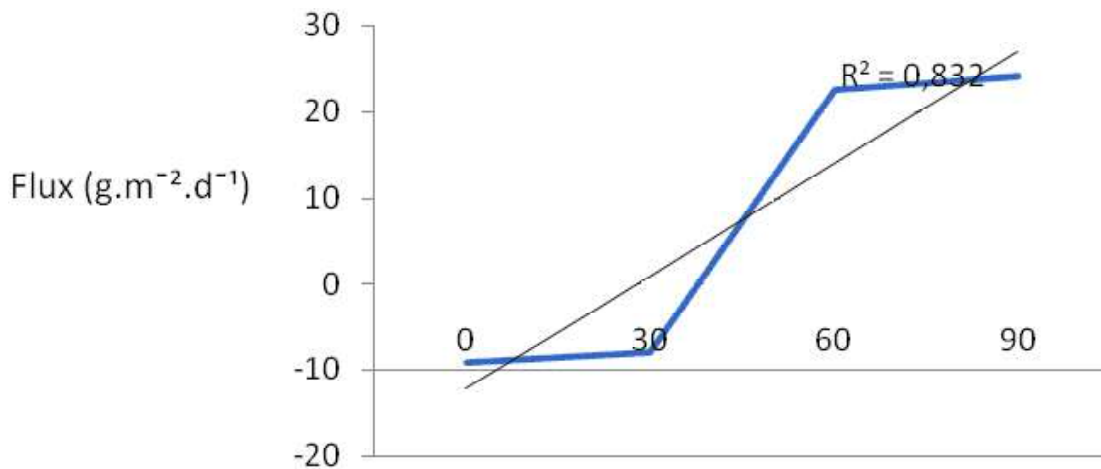
Gráfica 4. Linealidad en sistema control.



Gráfica 5. Linealidad en sistema *Phragmites*.

DISCUSIÓN

La especie sembrada para este estudio (*P. australis*), creció bien bajo condiciones controladas y produjo una cubierta vegetal de apariencia agradable y ornamental para zonas verdes. En consecuencia, se demostró que las macrófitas crecen y se reproducen vegetativamente sin dificultad en sustratos de gravas construidos. Al igual, intervienen en los procesos biológicos, así como el balance hídrico de



Gráfica 6. Sistemas no lineales.

los sistemas controlados donde, intervienen los procesos físicos, químicos y biológicos, en la nitrificación y desnitrificación respectivamente. Por tanto, se cree que las diferencias encontradas en la degradación y transformación de la materia orgánica y emisión de óxido nitroso, entre el sistema plantado y sin plantar se debe a la presencia radicular del sistema sembrado, en comparación con el no sembrado. Situación similar a la de este estudio se encontraron en Inamori *et al.* (2007), en Maltais-Landry *et al.* (2009) y en Wang *et al.* (2008b).

CONCLUSIONES

Se obtuvo eficiencia del 66% y 88% en la reducción de la DQO en las unidades sin plantar (Control) y sembradas (*P. australis*), respectivamente. Por igual, se evidencia la influencia de la vegetación en la emisión de GEI.

El sistema tiende a comportarse como emisor de N₂O, sin diferencias estadísticas significativas en la emisión de GEI entre los puntos o zonas de medición de este sistema.

Las emisiones de óxido nitroso obtenidas en este estudio son consecuentes con las reportadas en la literatura. Sin embargo, algunos autores no detectaron óxido nitroso en humedales construidos (Picek *et al.* 2007).

LITERATURA CITADA

- Anthony WH, Hutchinson GL, Livingston GP. 1995. Chamber measurement of soil-atmosphere gas exchange: linear vs. diffusion-based flux models. *Soil Sci Soc Am J.* 59 (1): 1308-45.
- Ascuntar D, Toro AF, Peña MR, Madera CA. 2009. Changes of flow patterns in a horizontal subsurface flow constructed wetland treating domestic wastewater in tropical regions, *Ecol Engin.* 35: 274-80.
- Bani-Shahabadi M, Yerushalmi L, Haghghat F. 2010. Estimation of greenhouse gas generation in wastewater treatment plants-Model development and application. *Chemosphere.* 78: 1085-92.
- Botero LA, Montiel ML, Romero MA, Quintero WE, García MC. 2011. Evaluation of water quality of Santa Rosa de Agua. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia.* 18: 21-31.
- Guerrero T, Rives C, Rodríguez A, Cervantes SV. 2010. El agua en la ciudad de México *Ciencias.* 94: 16-23.
- Inamori R, Matsumura M, Kondo TE. 2007. Investigating CH₄ y N₂O emissions from eco-engineering wastewater treatment processes using constructed wetland microcosms. *Proc Biochem.* 42: 363-73.
- Karki, KB. 2007 Greenhouse gases, global warming and glacier ice melt in Nepal. *J Agricult Environ.* 8: 1-7.
- Keddy PA. 2010. *Wetland ecology: principles and conservation.* New York: Cambridge University. p. 427.
- Maltais-Landry G, Maranger R, Brisson J, Chazarenc F. 2009. Greenhouse gas production and efficiency of planted and artificially aerated constructed wetlands. *Environ Pollution.* 157: 748-54.
- Pérez M. 2010. El agua en la vida y la historia de San

- Pedro del Pinatar. *Rev Murciana Antropol.* 14: 539-66.
- Picek T, Cozkovo H, Dusek J. 2007. Greenhouse gas emissions from a constructed wetland-Plants as important sources of carbon. *Ecol Engin.* 31: 98-106.
- Préndez M, Lara-González S. 2008. Application of strategies for sanitation management in wastewater treatment plants in order to control/reduce greenhouse gas emissions. *J Environ Manage.* 88: 658-64.
- Vymazal J. 2009. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecol Engin.* 35: 1-17.
- Wang Y, Inamori R, Kong H, Inamori KT. 2008a. Influence of plant species y wastewater strength on constructed wetland methane emissions and associated microbial populations *Ecol Engin.* 32: 22-9.
- Wang Y, Inamori R, Kong H, Xu K, Kondo T, Zhang J. 2008b. Nitrous oxide emission from polyculture constructed wetlands, effect of plant species. *Environ Pollut.* 152: 351-60.
- Wu J, Zhang J, Jia W, Xie H, Gu RR, Gao B. 2009. Impact of COD/N ratio on nitrous oxide emission from microcosm wetlands and their performance in removing nitrogen from wastewater. *Bioresour Technol.* 100: 2910-7.